2021-2022 CHINA
BIOMEDICAL ENGINEERING CONFERENCE &
MEDICAL INNOVATION SUMMIT

2021-2022 中国生物医学工程大会暨创新医疗峰会

2022年4月10-12日

线上会议

主办单位：中国生物医学工程学会



和义广业

开放实验平台研发与检测服务







- 可满足生物材料、无源医疗器械、有源医疗器械等产品的开发需求。
- 通过对共性设备的前期投入，降低初创企业的研发成本，快速实现从概念到样品的转化。

CMO工厂生产性服务

为医疗器械企业提供全面的CMO服务:

有源产品组装生产线 — 无源医疗器械生产线 — 生物医用材料制备车间 — ISO 13485生产质量管理体系

- 拥有万级、十万级标准的无菌车间，IVD产品的CMO服务规划中，可提供项目各阶段的生产服务。
- 基于纳通集团对医疗器械开发、生产与合规的深刻认识，以及丰富的产品加工、体系管理经验，通过建设中试车间，降低初创企业的技术转化综合成本。

咨询电话：+86-10-83022307/2409　邮箱：harmogalaxy@163.com

2021-2022
中国生物医学工程大会暨
创新医疗峰会

2022年4月10-12日

线上会议

主办单位:中国生物医学工程学会

目录 CONTENTS

第一部分　会议信息

欢迎辞 2

组织机构 3

会议日程 4

第二部分　会议日程及摘要

主旨报告 19

专题报告 37

分论坛日程 47

分会场日程 69

分论坛摘要

F01：青年学者论坛 142

F02：研产互联 擎动未来 迈进“十四五”的学科发展与产业融合论坛 149

F03：BME 教育论坛 151

F06：第三届 BME 她论坛 155

F07：机械循环支持转化医学论坛 160

F08：NGS 临床常规化的工程之路论坛 164

分会场摘要

S01：脑机交互与神经工程 168

S02：生物医学检测、处理与分析 217

S03：生物医学成像与图像处理 260

S04：生物医学传感与可穿戴系统 301

S05：生物医学光子学 327
S06：第四届医工韶光创新 352
S07：医学影像工程与技术 367
S08：主动健康前沿技术与创新应用 384
S09：生物制造 388
S10：康复工程 407
S11：智慧医院与健康医疗大数据 428
S12：生物力学与人类健康 444
S13：治疗计划、导航与机器人辅助 466
S14：纳米医学与工程 473
S15：医用生物材料与仿生材料 487
S16：组织工程与再生医学 498
S17：中医诊疗装备创新与发展 516
S18：主动睡眠健康 525
S19：血液净化工程创新论坛暨人工器官 534
S20：类器官与器官芯片 537

第三部分　黄家驷生物医学工程奖

中国生物医学工程学会“黄家驷生物医学工程奖” 555

第四部分　第十届理事会单位会员名录

理事单位会员名录 567
单位会员名录 567

第一部分

会议信息

2021-2022

中国生物医学工程大会暨创新医疗峰会

欢迎词

尊敬的各位同道、各位代表：

因为新冠疫情防控的需要，中国生物医学工程学会主办的 2021-2022 中国生物医学工程大会暨创新医疗峰会（BME2021-2022），终于以线上会议的形式向大家呈现。我谨代表中国生物医学工程学会，向线上参会的各位来宾表示热烈的欢迎！向长期以来对中国生物医学工程学会给与支持和帮助的各界人士表示衷心的感谢！在此特别感谢广东医学科学院（广东省人民医院）、南方科技大学、深圳科技大学、国家高性能医疗器械创新中心、中国科学院深圳先进技术研究院、深圳大学等承办单位的大力支持！

学会自 2017 年创立中国生物医学工程大会暨创新医疗峰会，此次已是第 4 届。大会主题“医工融合发展，创新引领未来”日益深入人心。我们非常荣幸地邀请到数位院士和知名学者为我们做大会主旨报告，邀请知名企业家阐述产业发展理念，从基础研究、临床转化、产业促进等方面，全链条地展示生物医学工程的进步和所面临的挑战。此次大会与中国生物医学工程联合学术年会联合举办，除主旨报告，还设有知名专家专题报告、11 个分论坛和 20 个分会场，聚焦基础前沿、关键核心技术、产业发展等领域，汇聚多方人才，分享生物医学工程领域前沿进展，探讨自主创新的中国医疗器械发展之路。

学会致力于搭建的产学研医管融合交流平台，契合了中国科协“科创中国”科技经济融合号召。学会作为中国科协创新驱动助力工程首批参与学会，重点以服务国家长江经济带发展、京津冀协同发展战略、粤港澳大湾区及中国科协科创中国试点城市为重点，建立学会服务站，院士专家工作站，同时积极构建开放共享的产学融合服务平台，建立京津冀创新医疗器械发展中心。同时作为科创中国牵头学会，联合 15 家全国学会成立“医药健康服务团”，众多院士和学者开展科技服务，为企业解决技术需求，助力企业达成合作项目。此外，所推荐的“如何开发针对老龄化疾病的医用人工植入材料？”和“如何开发融合软体机器人与智能影控集成技术的腔道手术机器人产品？”两个问题，在 70 余个参评项目中脱颖而出，入选中国科协“2021 十大产业技术问题”。

中国生物医学工程学会于 2021 年 12 月获批中国科协“中国特色一流学会建设项目”，更加增强了学会以人民健康为中心，不断提升在学科和医疗器械创新发展的学术引领方面的信心和决心。学会学术工作坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻落实党的十九大和十九届历次全会精神，聚焦靶心增强引领、开放协同求突破，守正创新、稳中求进，攻坚克难、砥砺奋进，为推进高水平科技自立自强、支撑高质量发展凝聚人心汇聚力量。

通过竞选，成功申办 2023 年 IFMBE 亚太地区医学生物工程学术会议（APCMBE2023），会议将于 2023 年 5 月 18 日 -21 日在黄浦江边的上海国际会议中心、与 2023 中国生物医学工程大会暨创新医疗峰会联合举行。

期望各位与会代表多有收获。我们今年在“云”上相会，明年上海见！

曹雪涛

中国工程院 院 士

中国生物医学工程学会 理事长

南开大学 校 长

2022 年 4 月

会议组织机构

大会主席： 曹雪涛

大会副主席

程　京　　池　慧　　顾晓松　　韩金祥　　胡盛寿　　李德玉　　万遂人　　王国胜　　王广志
尧德中　　郑海荣　　赵毅武

大会学术委员会主席： 程　京　王广志

学术委员会（按姓氏拼音排序）

毕晓君　　曹征涛　　常　津　　陈　昕　　陈　勋　　陈维毅　　陈玮琳　　陈思平　　崔亚洲
丁明跃　　冯前进　　付　峰　　高上凯　　葛均波　　顾　宁　　顾晓松　　顾忠泽　　郭兴明
韩忠朝　　侯晓彤　　季葆华　　季林红　　康静波　　康熙雄　　李德玉　　李劲松　　李兰娟
李路明　　林康平　　凌沛学　　刘　刚　　刘昌胜　　刘澄玉　　刘志成　　卢虹冰　　骆清铭
马长生　　马振鹤　　欧阳宏伟　　彭　屹　　沙宪政　　唐晓英　　田　捷　　田　伟　　万　涛
万明习　　万遂人　　阮双琛　　王　平　　王士斌　　韦孟宇　　魏勋斌　　邬堂春　　吴书林
夏　灵　　徐　刚　　徐学敏　　杨　力　　杨华元　　尧德中　　张　明　　赵　强　　郑玉峰
周长忍

大会组织委员会主席： 胡盛寿　余学清　樊瑜波

组织委员会（按姓氏拼音排序）

曹谊林　　陈文娟　　池　慧　　戴建荣　　董建增　　方　全　　高小榕　　韩金祥　　韩之波
贺震旦　　黑飞龙　　胡俊青　　胡学娟　　黄　钢　　黄曼雪　　黄子嵩　　蒋　华　　蒋协远
蒋欣泉　　蒋兴宇　　荆　涛　　康　雁　　孔德兴　　李　斌　　李　涛　　李　彤　　李鹏程
李贻梅　　李长缨　　李宗金　　梁　军　　廖洪恩　　刘　晖　　刘　洋　　刘　忠　　刘宏伟
刘嘉馨　　刘力文　　刘丽华　　刘清侠　　刘声远　　刘亚军　　陆祖宏　　吕　滨　　吕　凌
吕启涛　　茅伟明　　明　东　　欧阳晨曦　　蒲　放　　齐颖新　　邱　杰　　沈　柱　　史伟云
宋　涛　　苏冬梅　　唐其柱　　唐卫民　　万　涛　　万明习　　王　磊　　王　莘　　王国胜
王一飞　　王正昕　　王智彪　　汪天富　　温居一　　翁　杰　　吴　旭　　伍贵富　　夏顺仁
相韶华　　许海燕　　杨　俊　　杨　阳　　曾思予　　翟剑庞　　张　强　　张贵民　　张继武
张利剑　　张敏鸣　　张启明　　张送根　　赵毅武　　郑海荣　　朱　平

大会执行委员会：蒋兴宇　康　雁

委　员（按姓氏拼音排序）

HO Chun Loong　陈放怡　陈玲玲　郭琼玉　韩林波　金大勇　李　凯　李　玮
李依明　刘　超　刘泉影　吕梦叶　邱惠玲　唐　斌　唐建波　吴德成　吴长锋
奚　磊　姚明曦　张　博　张明明　郑亚莉

大会秘书长：池　慧

秘书处：（按姓氏拼音排序）

杜海艳　范俊芳　高　岩　康亚文　李　莉　刘　洋　宋品明　王　辉　王新丽
王金新　郑　群　郑小丽　张海春

会议日程

4 月 10 日 星期日 开幕式和大会主旨报告		
开幕式	主持人：池 慧 韩金祥	
08:30-09:00	**领导致辞**	
09:00-09:15	黄家驷生物医学工程奖颁奖仪式	**曹雪涛** 南开大学
09:15-09:30	2020-2021 生物医学工程学科发展报告	**王广志** 清华大学
09:30-09:45	2021 年全国大学生生物医学工程创新设计竞赛颁奖仪式	**骆清铭** 海南大学
09:45-10:00	**会间休息**	
主旨报告	主持人：曹雪涛 程 京	
10:00-10:30	微型双光子成像开启脑科学研究新范式	**程和平** 北京大学
10:30-11:00	我国抗体药物的研发进展	**王军志** 中国食品药品检定研究院
主旨报告	主持人：胡盛寿 郑海荣	
11:00-11:30	脑空间信息学	**骆清铭** 海南大学
11:30-12:00	IgA 肾病遗传学研究现状及展望	**余学清** 广东省人民医院
12:00-13:30	**午间休息**	
主旨报告	主持人：李德玉 赵毅武	
13:30-14:00	Bioelectronics to Diagnose and Treat Neurodegenerative Diseases	**Mohamad Sawan** 西湖大学
14:00-14:30	创新生物材料：支撑人类医疗方式变革	**刘昌胜** 上海大学
14:30-15:00	医工企协作创新研制骨科手术机器人	**田　伟** 北京积水潭医院
15:00-15:20	**会间休息**	
主旨报告	主持人：刘昌胜 余学清	
15:20-15:50	老龄化、穿戴设备和人工智能与心脑血管疾病防治	**顾东风** 南方科技大学
15:50-16:20	生物医药商业化之路	**郑坚雄** 广州医药股份有限公司
16:20-16:50	医疗器械企业的创新研发之路	**赵毅武** 纳通科技集团
16:50-17:20	血管修复与再生	**孔德领** 南开大学

4 月 11 日 星期一		
08:30-12:00	分论坛和分会场交流	
12:00-13:30	**午间休息**	
13:30-18:00	分论坛和分会场交流	
4 月 12 日 星期二		
08:30-12:00	分论坛和分会场交流	
12:00-14:00	**午间休息**	
专题报告	主持人：万遂人 顾忠泽	
14:00-14:10	CSBME 联合学术年会致辞	**阮双琛** 深圳技术大学
14:10-14:35	从抗疫看医疗器械的挑战与发展	**唐其柱** 武汉大学
14:35-15:00	脑机接口发展与挑战	**明　东** 天津大学
专题报告	主持人：唐其柱 康 雁	
15:00-15:25	仿生传感技术与智能感知仪器的研究	**王　平** 浙江大学
15:25-15:50	器官芯片的挑战与进展	**顾忠泽** 东南大学
15:50-16:10	**会间休息**	
专题报告	主持人：蒋兴宇 明 东	
16:10-16:35	类脑计算	**冯建峰** 复旦大学
16:35-17:00	生物医学工程人才培养与国际工程认证	**万遂人** 东南大学
闭幕式	主持人：尧德中 陆祖宏	
17:00-17:10	颁发青年优秀论文奖	
17:10-17:15	闭幕词	**郑海荣** 中国科学院深圳先进技术研究院

分论坛

编号	主题	
2022 年 4 月 9 日　星期六		
F04	心血管创新医学转化论坛	08:25-17:30
F05	心律论坛	08:30-17:30
2022 年 4 月 11 日　星期一		
F01	青年学者论坛	08:30-17:30
F02	研产互联 擎动未来迈进“十四五”的学科发展与产业融合论坛	08:30-17:20
F03	BME 教育论坛	08:30-17:30
F07	机械循环支持转化医学论坛	13:30-16:30
F08	NGS 临床常规化的工程之路	08:30-12:00
F09	医学人工智能协同创新发展论坛	08:30-17:40
F10	产学研医合作呼吸专科救治 (一)	08:30-17:10
2022 年 4 月 12 日星期二		
F06	第三届 BME 她论坛	09:00-12:00
F10	产学研医合作呼吸专科救治 (二)	08:30-11:00
F11	生物医用材料临床转化论坛	13:00-16:30

分会场

编号	主题	
2022 年 4 月 9 日　星期六		
S19	血液净化工程创新论坛暨人工器官	08:30-12:00
2022 年 4 月 11 日　星期一		
S01	脑机交互与神经工程（一）	08:30 - 17:52
S02	生物医学检测、处理与分析 (一)	08:30-17:30
S03	生物医学成像与图像处理（一）	09:00–18:00
S04	生物医学传感与可穿戴系统	08:30-18:10
S05	生物医学光子学（一）	08:30-20:40
S07	医学影像工程与技术	08:30-17:30
S08	主动健康前沿技术与创新应用	13:30 - 18:10
S09	生物制造	09:00-17:30
S10	康复工程	08:30-17:30
S11	智慧医院与健康医疗大数据	08:30-17:40
S12	生物力学与人类健康（一）（二）	08:30-21:10
S13	治疗计划、导航与机器人辅助	08:30-15:45
S14	纳米医学与工程	08:45-17:15
S15	医用生物材料与仿生材料	08:30-12:00
S16	组织工程与再生医学	08:25-17:35
S17	中医诊疗装备创新与发展	13:30-17:30
S18	主动睡眠健康	08:30-12:00
S20	类器官与器官芯片	08:30-17:30
2022 年 4 月 12 日　星期二		
S01	脑机交互与神经工程（二）（三）（四）	09:00 - 12:30
S02	生物医学检测、处理与分析（二）（三）	09:00-12:10
S03	生物医学成像与图像处理（二）（三）	09:00 -12:30
S04	生物医学传感与可穿戴系统（二）	09:00-13:30
S05	生物医学光子学（二）	09:00-12:00
S06	第四届医工韶光创新	08:30-11:55

特别贡献

华润广东医药有限公司
China Resources Guangdong Pharmaceutical Co., Ltd.

华润广东医药有限公司

廣州醫藥股份有限公司
GUANGZHOU PHARMACEUTICALS CO., LTD.

广州医药股份有限公司

纳通科技集团
NATON TECHNOLOGY GROUP

北京纳通科技集团有限公司

特别鸣谢

大翔医药集团有限公司

国药控股广州有限公司

北京谊安医疗系统股份有限公司

上海纽脉医疗科技股份有限公司

上海联影医疗科技股份有限公司

安进生物医药 (上海) 有限公司

北京诺华制药有限公司

杭州杰毅生物技术有限公司

深圳市富途锐科技发展有限公司

深圳市赛麦斯科技有限公司

北京华龛生物科技有限公司

苏州影睿光学科技有限公司

广州采芝林药业有限公司

广州柏视医疗科技有限公司

碧迪医疗器械（上海）有限公司

鼎科医疗技术（苏州）有限公司

西安天隆科技有限公司

博睿康科技（常州）股份有限公司

微岩医学科技（北京）有限公司

上海阅尔基因技术有限公司

弗锐达（北京）科技有限公司

第二部分

会议日程及摘要

2021-2022

中国生物医学工程大会暨创新医疗峰会

公司简介
COMPANY INTRODUCTION

华润集团

华润（集团）有限公司是国务院国资委直接监管的国有重点骨干企业，业务涵盖大消费、大健康、城市建设与运营、能源服务、科技与金融五大业务领域，华润集团是世界500企业。



华润医药集团

华润医药集团有限公司是中国领先的综合医药公司，业务范畴覆盖医药及化学药品、中药、生物制剂、保健产品的研发、生产、分销及零售。旗下拥有多家医药行业及驰名品牌，包括“三九”、“东阿阿胶”、“双鹤”、“江中”及“紫竹”。

华润医药商业集团

华润医药商业集团有限公司是华润集团一级利润中心，华润医药集团下设大型综合性医药流通平台，在中国医药流通行业排名前三强。

华润广东医药有限公司

华润广东医药有限公司作为华润医药商业集团的广东省医药流通战略发展平台，下设汕头、佛山、珠海、中山、深圳、东莞、惠州、茂名地市子公司及广东德信行大药房、华润（广州）医械两家专业化子公司，布局于粤港澳大湾区核心城市。公司建立以广州为中心，辐射广东省所有地市的医疗终端网络，分销平台覆盖全国各省市地区，业务规模位居广东省医药流通行业前列。经营范围涵盖：药品进口贸易、医疗终端销售、零售连锁、医疗器械、院外分销、新零售、线上商城及供应链相关增值服务，并作为广州药品集团采购委托集中议价平台，为医疗机构提供集中议价、采购、配送及供应储备等服务。

引领商业进步，共创美好生活，公司不断创新商业模式，提供优质产品和服务，致力于为大健康事业发展贡献智慧。



华润广东医药有限公司网络布局图

广东德信行大药房连锁有限公司

德信行大药房作为华润旗下医药零售品牌，自创立以来实现了稳健快速发展，在全国各地已布局近千家药房，在广东省成立区域连锁药房——广东德信行大药房连锁有限公司，已在粤港澳大湾区各地市设有多家分店。广东德信行大药房是广东首家实施“药品价格零加成、与医院同价”的零售连锁药店，本着“以德为本 以信取胜”的经营理念，全力构建专业化的服务体系、多元的产品组合、完善的质量管理体系、高效的配送团队、提供 24 小时全天候的服务。顺应时代发展，广东德信行大药房广泛运用自动化管理设备及系统应用、开展“DTP（Direct To Patient）”服务模式等创新实践。



互联网医院的院外合作药房

2018 年，广东省互联网医疗服务监管平台全面启用，同时首批 22 家互联网医院正式上线。互联网医院平台将优质的医疗资源与强大的互联网技术相结合，形成优势互补，打通网上预约、健康咨询、在线复诊、在线处方、送药到家等医疗流程中的各个环节，实现诊前、诊中、诊后全覆盖，快速形成线上线下的服务闭环，构建一个全新的医疗服务业态。

广东德信行大药房作为互联网医院的院外合作药房，充分发挥自身优势，与广东省人民医院等互联网医院布局相结合，在药品供应、物流配送等方面为互联网医院的发展提供强有力的支撑，实现专业医疗服务资源与药品供应配送能力的有效对接。

患者可通过互联网医院线上发起续方申请，处方经过医师和审方系统双重审核后，在线支付药品费用，即可选择到广东德信行大药房现场取药，或选择由华润广东医药物流将药品配送到家，真正实现以患者就医为根本。

构建患者服务闭环

通过互联网平台打通线上线下，利用药企配送网络完成患者线上续方、合理用药、线上支付、配送到家、用药监控、持续服务的患者服务闭环。



广东德信行大药房门店



广东德信行大药房已布局城市：广州|中山|佛山|东莞|珠海|深圳|惠州|汕头|茂名



华润广东医药有限公司

地址：广州市越秀区沿江中路298号中区10、18、31楼

电话：（020）83283288

网址：www.crgdpharm.com

微信公众号

华润广东医药有限公司
China Resources Guangdong Pharmaceutical Co., Ltd.

关怀备至的美好



廣州醫藥股份有限公司
GUANGZHOU PHARMACEUTICALS CO., LTD.

“广州医药股份有限公司（下称“广州医药”）是1951年由广东省卫生厅任命军代表成立的具有红色基因以医药供应链服务为主导的医药流通企业,是中国制药工业百强榜首广药集团大商业板块的领军企业（广药集团控股80%），也是世界500强企业沃博联（Walgreens Boots Alliance）的成员企业。”

广药集团

Walgreens Boots Alliance

多年来，广州医药一直保持华南地区龙头企业地位，稳居医药流通行业全国前五之列。



广州医药在全国拥有

27家 成员企业 | **5000+** 名员工

四大主要业务板块

批发业务 | 零售业务
医疗器械 | 创新业务



在全国拥有规模化的医药批发分销配送网络

广州医药储备单位资质：

- 广东省省级 短缺药品储备单位
- 广州市 药品储备单位
- 广州市麻精药品 定点供应单位
- 广东（广州） 药品及医疗器械 保障动员中心
- 总后勤部药材 供应代储单位

在重大灾情疫情期间，坚持“稳定价格，确保供应”挽救无数生命



主旨报告



程和平

中国科学院院士，北京大学未来技术学院教授，北京大学国家生物医学成像科学中心主任，北京大学分子医学南京转化研究院院长，国家十三五“多模态跨尺度生物医学成像设施”首席科学家。

研究领域为细胞生物学及高端成像装备的自主创制。发现了细胞“钙火花”、“线粒体炫”等重要细胞信号事件；率领团队成功研制 2.2 克微型化双光子荧光显微镜，该项成果获评“2017 年中国科学十大进展”和 Nature Methods“2018 年度方法”。

曾获国际心脏学会“研究成就奖”（2016）、国家自然科学奖二等奖（2017）、何梁何利基金科学与技术进步奖（2020）等。



王军志

王军志，研究员 / 博士生导师，中国工程院院士，中国食品药品检定研究院生物制品检定首席专家。长期从事生物药质量评价关键技术研究，研究建立的多项技术方法和标准纳入《中国药典》和国际技术指南。在重大突发传染病防控、重大药害事件查处、国家生物制品批签发、国家疫苗监管体系建设及药品监管决策中均发挥了重要的技术支撑作用。为保障公众用药安全、促进创新生物药成果转化及参与国际竞争发挥了重要作用。以第一或通讯作者在 NEJM，Lancet，Nature，Science 等杂志发表 SCI 论文 120 余篇，获国家科技进步二等奖 3 项、国家技术发明二等奖 1 项。先后获得白求恩奖章、全国优秀科技工作者、中国药学发展奖创新药物奖特别贡献奖、首届全国创新争先奖等荣誉。



骆清铭

骆清铭，男，中国科学院院士，中国医学科学院学部委员，海南大学校长，海南省科协主席，教育部高校生物医学工程类专业教指委主任。曾当选国际医学与生物工程学院（IAMBE）、美国医学与生物工程院（AIMBE）、国际光学工程学会（SPIE）、英国工程技术学会（IET）、美国光学学会（Optica）和中国光学学会 (COS) Fellow。曾荣获第七届中国青年科技奖（2001），以第一完成人，其研究成果曾荣获国家自然科学二等奖（2010）、国家技术发明二等奖（2014）和黄家驷生物医学工程奖（技术发明类）一等奖（2021），入选中国科学十大进展（2011）。

他长期致力于生物医学光子学和生物影像学新技术新方法研究。他率领团队发明的显微光学切片断层成像（Micro-Optical Sectioning Tomography）系列技术成为“全脑定位系统”（Brain-wide Positioning System）的重要手段，开创了脑空间信息学（Brainsmatics）学科，创建了“亚微米体素分辨率的小鼠全脑高分辨三维图谱”，并“首次展示了小鼠全脑中单个轴突的远程追踪”。他在光学分子成像、激光散斑成像（LSI）及其与光学本征信号成像（ISI）的结合、荧光扩散光学层析成像（fDOT）与微型 CT 结合的双模态小动物成像、以及近红外（NIR）光学功能成像等方面也做出了创新性贡献。

脑空间信息学

骆清铭

海南大学生物医学工程学院

脑是一个极其复杂的巨系统。脑联接及脑活动是在不同时间—空间尺度上演化和变化的，其物质、能量和信息高度耦合，具有空间位置、空间关系以及时域特征的动态可塑性等。如何在大跨度的时间—空间尺度上研究脑联接及脑活动的演化和变化规律是脑科学研究面临的重大挑战。很多研究表明，特定脑功能，如视觉、运动、甚至意识等，会对应特定的脑网络。在全脑范围内解析神经网络结构与功能对于理解脑并进而发展类脑智能技术至关重要。本报告将详细介绍以显微光学切片断层成像（micro-optical sectioning tomography, MOST）系列技术为标志的全脑定位系统（brain-wide positioning systems, BPS），同时结合多种前沿脑科学研究技术，讨论如何标记、获取、分析和可视化具有明确空间尺度和位置的精细脑网络结构与功能信息，以高的体素分辨率，如细胞 / 轴突 / 毛细血管分辨水平，在全脑范围测量（surveying）与绘制（mapping）脑结构和功能信息的三维空间分布及其动态变化，如神经元投射、神经 / 血管分布、基因组 / 蛋白组 / 代谢组 / 转录组分布等，从而获取三维精细的脑联接图谱、建立标准化的数据体系。



余学清

余学清，教授，主任医师，博士生导师。教育部长江学者特聘教授，国家杰出青年基金获得者。

现任广东省人民医院院长、党委副书记，广东省医学科学院院长。

国际学术任职：国际腹膜透析学会主席，国际肾脏病学会常务理事，亚太肾脏病学会常务理事兼 CME 主席，亚洲肾脏病防治联盟主席。

国内学术兼职：国务院学位委员学科评议组成员、中华医学会肾脏病学分会第十届主任委员、中国医师协会肾脏内科医师分会第二任会长、中国肾脏病防治联盟主席、广东省医学会副会长、广东省肾脏病学会主任委员。

美国肾脏病杂志《Am J Kidney Dis》编委，国际肾脏病杂志《Kidney International》编委，亚太肾脏病杂志《Nephrology》主题编委，《中华肾脏病杂志》总编辑，《中国慢性病和转化医学杂志》副总编 。

在国际杂志包括《Nat Genet》，《 Nat Communications》，《 Science Translational Medicine》，《 Cell Metabolism》等杂志发表论文 190 多篇。获国家“百千万工程”有突出贡献的中青年专家，教育部跨世纪优秀人才、卫生部有突出贡献中青年专家等称号。获国家科技进步二等奖、教育部科技进步一等奖、广东省科技进步一等奖、广东省自然科学一等奖、教育部自然科学二等奖等奖励。接受《Lancet》杂志专访，被誉为“中国肾脏病发展的引擎”。创建了具有国际领先水平的腹膜透析中心，被誉为“广州模式”并向世界推广。

IgA 肾病遗传学研究现状及展望

余学清

广东省人民医院

IgA 肾病（IgA nephropathy, IgAN）是我国临床上最常见的原发性肾小球疾病，已有的研究表明，IgAN 是多个基因和环境因素共同作用的结果。近几十年来，IgAN 的遗传学研究在连锁分析和候选基因的关联分析研究上取得了一定的进展，但均未发现明确的易感基因。余学清教授团队在国家自然科学基金杰出青年基金、科技部“十一五”关键支撑领域项目和国家重点研发计划精准医学专项等资助下，在 IgAN 遗传学发病机制研究方面取得重要学术成果。研究团队开展了 IgAN 的一期及二期 GWAS 研究，发现了两个中国汉族人群特有的遗传易感位点（17p13 和 8p23），在国际上填补了中国人的资料。同时，对 GWAS 发现的 DEFA 位点进行拷贝数变异研究，揭示 DEFA 基因的低拷贝数与 IgAN 易感性及其肾功能损害密切相关，并获得相关的专利授权。2020 年进一步开展了 IgAN 的 GWAS-Meta 研究，发现了 3 个新的易感位点（1p36.13，1q23.1 和 6p25.3），揭示了中国人群和欧洲高加索人群间的遗传异质性。

余学清教授是教育部长江学者特聘教授和国家杰出青年基金获得者，IgAN 遗传研究的系列结果多次在国际学术大会进行特邀讲座及口头报告，并因此荣获 2014 年度美国 NKF 国际杰出研究者奖和 2018 年广东省医学领军人才的称号。《Lancet》杂志刊登余学清教授人物专访，高度评价他在 IgAN 遗传学发病机制中的重大发现及其卓越贡献。研究成果通过国内外学术会议及全国县级医院培训班进行展示和推广，显著改进和提高了中国 IgAN 的临床诊治水平。系列成果为 IgAN 的精准治疗提供理论依据和物质基础，取得了良好的社会效益和经济效益。



Dr. Mohamad Sawan

School of Engineering, Westlake University, Hangzhou, China

Mohamad Sawan is Chair Professor in Westlake University, Hangzhou, China, and Emeritus Professor in Polytechnique Montreal, Canada. He is founder and director of the Cutting-Edge Net of Biomedical Research and Innovation (CenBRAIN) in Westlake University, Hangzhou, China. He received the Ph.D. degree from University of Sherbrooke, Canada. Dr. Sawan research activities are bridging micro/nano electronics with biomedical engineering to introduce smart medical devices dedicated to improving the quality of human life. For almost three decades, he was focusing on building wearable and wirelessly powered implantable microsystems to restore lost sensory abilities and mitigate malfunctioning organs through monitoring healthcare parameters (signals, images, pressure, etc) and neuromuscular electrical/optic stimulation. He is Co-Founder, Associate Editor and was Editor-in-Chief of the IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems (2016-2019). He is founder of the Polystim Neurotech Laboratory, and Co-founder of the International IEEE-NEWCAS and the International IEEE-BioCAS Conference. He was General Chair of both the 2016 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, and the 2020 IEEE International Medicine, Biology and Engineering Conference (EMBC). He was awarded the Canada Research Chair in Smart Medical Devices (2001-2015), and was leading the Microsystems Strategic Alliance of Quebec, Canada (1999-2018). Dr. Sawan published more than 900 peer reviewed papers, two books, 13 book chapters, and 12 patents and 15 other patents are pending. He received several awards, among them the Zhejiang Westlake Friendship Award, the Qianjiang Friendship Ambassador Award, the Shanghai International Collaboration Award, the Queen Elizabeth II Golden Jubilee Medal, and the Medal of Merit from the President of Lebanon. dr. Sawan is Fellow of the IEEE, Fellow of the Canadian Academy of Engineering, Fellow of the Engineering Institutes of Canada, and "Officer" of the National Order of Quebec.

Bioelectronics to Diagnose and Treat Neurodegenerative Diseases

Mohamad Sawan

Westlake University, Hangzhou, China

Neurodegenerative diseases are calling research authorities not only to find out causes but to improve detection mechanisms ahead of time before any new disease can emerge. In particular, the diseases that are refractory to conventional solutions such as medicine administration and/or surgical treatment. Smart medical devices intended for the diagnostic, treatment and prediction of neurodegenerative diseases are becoming most effective way to bring solution to such complex health conditions. However, treatment remains much less developed including drugs, and surgery. It is then a multidisciplinary race to bring breakthroughs in mimicking brain when designing learning algorithms and corresponding hardware implementation. Regular machine/deep learning algorithms are occupying large parts of emerging healthcare chipsets. The later are intended to run either wearable or implantable medical devices intended for the diagnostic, treatment, and prediction of neurodegenerative diseases. This talk covers circuit and system techniques as well as artificial intelligence algorithms, intended to implement brain-microsystem interfaces dealing with multidimensional design challenges such as power management, low-power high-data rate wireless bidirectional communication, and reliable harvesting energy methods. These are system-on-chip based medical devices which include building blocks (RF front-end, various load interfaces, active rectifiers, etc) integrated in application-specific system architectures. Experimental results will be demonstrated through a few main projects, such as the visual cortical stimulation to recover vision to the bind, the implantable microdevice to detect the onset of epileptic seizures and to stop their progression through direct electrical stimulation. Also, artificial intelligence methods are integrated to predict the emergence of seizures. In addition, microsystem-based architectures for building brain–machine interfaces that could be used to monitor the interconnections between neural cells through neurotransmitters. On the other hand, the bladder controller to aid the recovery of urinary retention and voiding functions, following spinal cord injury, as well an electronic artificial urinary sphincter to manage to avoid incontinence. Also, learning technique are embedded to monitor the fullness of the urinary bladder. More specific, case studies will be shown which include neurorecording integrated devices intended for learning about the intracortical vision mechanism, and for spike onset detection of epileptic seizure for foci localization, intracortical microstimulation to recover vision to the blind, and for seizure abortion, as well as for seizure prediction intended to inform patient about the emergence of epileptic seizures. Also, biosensors-based on lab-on-chip using dielectrophoresis and magnetophoresis techniques to manipulate ions and characterize them with differential capacitors, biotransistors, impedance and or optic sensors will be summarized.



刘昌胜

刘昌胜，男，1967 年 6 月出生于湖北大冶，教授，上海大学校长，中国科学院院士、国家杰出青年基金获得者、教育部“长江学者”特聘教授、国家自然科学基金委创新研究群体学术带头人。国家自然科学基金委第八届全委会委员，国家“纳米科技”专项总体专家组成员，教育部科技委材料学部委员、国防学部委员，中国生物材料学会理事长，中国生物医学工程学会常务理事等。

刘昌胜教授长期从事生物材料研究，包括组织修复与再生材料、纳米生物材料、可注射生物材料、药物 / 生物活性因子控释等。发展了多种活性骨修复材料以及生长因子制备和材料活化新技术；在国内率先研制出自固化磷酸钙人工骨，于 2000 年获得此类产品首张注册证，并实现临床广泛应用。采用基因工程技术，利用原核生物生物制造骨生长因子 - 骨形态发生蛋白 -2（BMP-2），并制备出具有高成骨活性的骨修复体，现已开始临床应用。申请发明专利 69 项，其中授权发明专利 50 项（美国授权专利 4 项）。发表 SCI 收录论文 290 余篇，出版中英文专著（教材）4 本。先后获得国家自然科学奖二等奖、国家科技进步二等奖（均排第一），何梁何利基金创新奖，上海市青年杰出贡献奖等，以及国际生物材料学会联合会会士（Fellow）、美国医学与生物工程院会士（Fellow）、全国优秀科技工作者、上海市科技精英等荣誉称号，入选“新世纪百千万人才工程”国家级人选。

创新生物材料：支撑人类医疗方式变革

刘昌胜

上海大学

用于诊断、治疗、修复或替换人体组织、器官或增进其功能的生物医用材料是保障人类健康、提高生命质量的重要物质基础，关系到民生幸福和国家稳定，是重要的战略新兴材料。我国目前面临严峻的人口老龄化问题，对生物材料的需求剧增，并呈现出井喷式的增长。生物材料已成为决定国家未来核心竞争力的支柱产业之一。

传统生物材料的时代正在过去，与生物技术相结合、赋予材料生物活性和更多功能，使材料能与人体组织产生可控的相互作用，帮助机体实现组织修复和再生，已成为未来生物医用材料的发展方向。在新型材料支撑下，越来越多的材料生物学新效应正逐渐被发现。例如，通过钙磷盐的体内外转化机制，可实现自固化磷酸钙人工骨材料准确塑形、生物相容、降解吸收、可注射等特性的统一，已成功应用于骨修复及椎体成型，并推动了椎体成型微创治疗技术的发展；以骨形态发生蛋白为代表的生长因子在可控制备、高效固载和缓控释技术上的突破，为大段组织损伤患者带来福音，使原本不愈合或延迟愈合的患者能正常愈合，改善患者的生活质量；基于生物材料的微针技术为类风湿性关节炎的治疗提供了新技术；利用材料的生物学效应，有望为缓解骨衰老和骨质疏松，促进衰老下的骨修复提供新方案。这些新材料的研发都推动了临床治疗新技术的进步，提高医疗水平，甚至对医疗方式产生深远的影响。

同时，应该看到，大多数现有材料临床应用远未达到令人满意的效果。一方面，新型医用材料不断涌现，另一方面，经典的生物相容性理论正在受到挑战，已难以解释临床应用过程中的实际问题。近年来提出“材料生物学（ Materiobiology）”这一新学科概念，这是采用材料学的理论和方法研究生命现象、探索材料所产生的生物学效应。开展材料生物学研究，建立材料生物学理论体系，揭示材料的理化参数对材料生物学功能的影响及其规律，并集成出材料生物学效应的数据库，对于新型生物材料的构建及其临床应用具有重要的指导意义。



田伟

中国工程院院士 原北京积水潭医院院长，现任北京积水潭医院首席科学家。北京大学及清华大学教授，法国国家医学科学院外籍院士，英国爱丁堡皇家外科学院名誉院士，北京学者。第十八届国际计算机辅助骨科学会主席，中国科学技术期刊编辑学会理事长。国家手术机器人临床应用管理专家委员会主任委员。第十届中华医学会骨科学分会主任委员。中国医师协会医学机器人分会会长，吴阶平医学基金会创新骨科学部主任委员。

田伟院士是著名脊柱外科专家，北京积水潭医院脊柱外科创建者。长期致力于骨科诊疗精准化、微创化、智能化研究应用，是我国骨科手术导航机器人领域的奠基者和开拓者。主持制定国际指南 1 项（国际组织 CAOA2018）、国家卫生行业标准 3 项、国内指南 5 项。主编专著 12 部。先后主持国自然重点项目、863 计划、国家重点研发计划等 37 项。发表论文 400 余篇，其中 SCI 论文 161 篇。自主研发国际首台通用型骨科手术机器人等产品，并在临床广泛应用。获美国产品注册证 FDA 1 项、中国产品注册证 CFDA 3 项。获国际专利 4 项、国内发明专利 15 项、实用新型专利 230 项。首创计算机辅助微创脊柱手术理念（CAMISS），创新 5 种新术式，成为国际手术金标准。

以第一完成人获国家科技进步二等奖 1 项、北京市科学技术一等奖 2 项。获何梁何利奖、全国创新争先奖奖章。

医工企协作创新研制骨科手术机器人

田　伟

北京积水潭医院

骨科手术长期存在无法精准操作的难题，其本质原因是人眼和手存在生理极限，这是造成术中神经血管损伤的主要原因，已成为制约骨科手术发展的瓶颈。针对这一难题，田伟教授率医工企研发团队，历经 15 年艰苦攻关，将丰富的骨科临床经验与导航和机器人技术深度融合，2016 年成功研制国际首台通用型骨科手术机器人（天玑）。该机器人突破基于在线标定的机械臂与光学导航手眼协同、兼容骨科多模影像的导航手术机器人注册两大关键技术，有效解决骨科复杂手术体位和入路难适配、多模骨科医学影像难兼容等临床难题。突破国际同类产品适用部位单一的局限，实现人体 13 个以上部位应用。定位精度 0.82mm，获国内首个医疗器械 III 类注册证。

骨科手术机器人成果受到政府和行业高度重视，实现成果转化和大规模临床应用。田伟教授任工信部和国家卫健委“骨科手术机器人应用中心”技术指导委员会和国家卫健委“手术机器人临床应用管理专家委员会”主委，项目辐射全国 306 家医院。机器人产品获评国家重点新产品、中国医药生物技术十大进展，是 2018 年中国国际进口博览会中国馆唯一医疗产品。

医学与工程技术的深度融合发展，正逐渐受到大家的重视。在医工融合过程中，需要加强医工之间的跨学科合作。未来需要继续探索新型医工协同创新机制，建立基于临床场景、数据驱动的智能医学研发体系，提高诊疗技术的智能化水平，从而推动我国智能医学技术的创新与发展。



顾东风

顾东风，中国科学院院士，南方科技大学代理副校长、讲席教授。曾任国家心血管病中心副主任、中国医学科学院阜外医院副院长。现为中华预防医学会副会长、中国医疗保健国际交流促进会副会长、世界卫生组织心血管和慢性病防治专家、国家“健康中国行动”专家委员、中国医学科学院学术咨询委员会医学学部执行委员会委员、中国医学科学院学术咨询委员会药学 - 卫生健康与环境 - 生物医学工程与信息学部副主任。

预防心脏病学与流行病学家。长期从事心血管等慢性病的流行病学、人群防治和遗传病因研究。先后承担国内外多个重大项目，牵头大型队列研究，揭示我国心血管病流行趋势、创建我国心脑血管病风险预测模型，制定指南提出防治策略和措施。构建高脂血症和冠心病遗传特征谱，创建了冠心病基因组风险评估模型，推进了冠心病精准医学研究。

获得国家 16 项发明专利授权、2 项国家科技进步奖二等奖。发表 SCI 论文 330 余篇，研究成果被国内外防治指南和权威教科书及世界卫生组织专著等广泛引用。

老龄化、穿戴设备和人工智能与心脑血管疾病防治

顾东风

南方科技大学

随着社会经济的快速发展，我国已经逐步进入老龄化社会。据估计，2030 年，我国 60 岁以上人口总数将高达 3.64 亿。心脑血管疾病（Cardiovascular Disease，CVD）是我国居民的首要死因，且随着年龄的增长，CVD 发病率显著升高。此外，年龄还与血压、膳食营养、体力活动、环境因素等多种 CVD 危险因素存在显著的交互作用。研究表明，CVD 死亡减少能够有效增长居民预期寿命。因此，老年人群的 CVD 防治意义重大。

然而，老年人存在诊疗需求高但不便于就医、自我管理能力不足等现实问题。现有研究表明，人工智能及可穿戴设备可以应用于老年人群 CVD 诊断、预测、监测和管理等方面，实现生理指标的持续检测、及时预警和高危人群的健康管理，让老年人生命体态和心血管健康状态数据化，有助于提高 CVD 的防控效率、筛查检出率和预测能力；同时降低监测、管理的人工成本。例如，人工智能可以用于超声心动图的快速判读及心律失常的诊断；预测 CVD 发病风险及老年心肌梗死患者的预后；监测血压水平及房颤发作情况；管理房颤患者并指导 CVD 的药物治疗等。

目前，我国正在积极从上而下地推动医疗可穿戴设备和人工智能技术在老年人群中的应用，其在心血管疾病防治中的应用机遇和挑战并存。



郑坚雄

广东医药学院药学专业 1993 届校友
中山大学工商管理专业硕士研究生学习

现职务：

- 广州白云山医药集团股份有限公司 副总经理
- 广州医药股份有限公司 党委书记、董事长、法定代表人
- 广州白云山一心堂医药投资发展有限公司、广东百源堂医药连锁有限公司 董事长
- 广州采芝林药业有限公司、广州医药进出口有限公司、广州白云山医疗器械投资有限公司、广州众成医疗器械产业发展有限公司 董事
- 中国医药职工思想政治工作研究会、中国医药企业文化建设协会副会长、中国共产党广州市第十一次代表大会代表

曾获荣誉：

- 广东省医药行业市场开拓先进个人、广州市产业发展和创新产业高端人才、广州企业创新贡献奖、全国国企管理创新成果二等奖 (创造人)
- 广州国资系统优秀党务工作者、广州地区出版物十佳主编奖



赵毅武

赵毅武，全国政协委员，北京纳通科技集团有限公司董事长。国际儒学联合会副会长、中国生物医学工程学会副理事长、中国宗教界和平委员会委员、中国生物材料学会副理事长、中国工业经济联合会主席团主席、中华全国工商业联合会医药业商会常务副会长、中国中小企业协会副会长、全国卫生产业企业管理协会副会长。荣获：全国抗击新冠肺炎疫情民营经济先进个人、首都精神文明建设奖。带领科研团队首次阐述了高强韧生物活性玻纤增强聚乳酸复合材料及其制品的体外降解机理，验证了其体内成骨能力，突破了可吸收医用材料在高承重部位的应用限制，掌握了这一领域具备国内外领先水平的核心技术。



孔德领

孔德领，南开大学生命科学学院教授，科学技术研究部部长。国家杰出青年基金获得者，教育部创新团队带头人，国家自然科学基金委创新研究群体带头人，入选国际生物材料科学与工程联合会 Fellow。任中国生物材料学会常务理事，中国生物医学工程学会理事。研究方向为心血管生物材料与组织工程，聚焦组织器官损伤中的血管修复与再生。研究血管再生的科学问题，研制小口径人工血管，用于病变血管的修复与替代，用于血管搭桥或肾透析治疗中的血管通路。研究缺血性疾病治疗的新材料和新技术，研制活性水凝胶、纳米材料、工程化修饰干细胞或人工干细胞，用于修复损伤组织的血管系统。主持国家重点研发计划项目“环境响应智能活性水凝胶”和“构建血管化胰岛类器官及其代谢与应用”，主持多项国家自然科学基金重点项目。发表论文 400 余篇，获授权发明专利 30 余项。获得天津市自然科学一等奖、二等奖，指导博士研究生获得第五届中国“互联网 +”大学生创新创业大赛金奖，一项人工血管专利技术以作价入股方式实施了转化，成立了联合研发企业。

血管修复与再生

孔德领

南开大学生命科学学院，药物化学生物学国家重点实验室，天津

E-mail: kongdeling@nankai.edu.cn

血管病变导致组织器官的损伤，如心肌梗死、脑卒中、糖尿病足、急性肾缺血等。另一方面，组织器官病变也会造成血管的损伤，如心脏和四肢缺血引起继发性血管损伤。血管修复与再生对组织器官乃至机体的健康状态至关重要。

治疗心肌梗死、脑中风和下肢缺血需要血管搭桥，目前缺少小口径人工血管产品，只有依赖自体血管移植。人工血管的研究与开发需要深入认识血管再生的障碍与机制，科学合理的设计支架材料，与组织微环境具有良好的生物相容性，并能够诱导和激发血管原位再生的潜能，实现长期通畅性。对于缺血导致的组织坏死，应用间充质干细胞及其外泌体、可注射活性水凝胶、纳米生物材料等治疗，作用机制主要是调控了组织微环境，激活了组织细胞的迁移、增殖和分化，显著修复了损伤血管和诱导了血管新生，促进了肌成纤维细胞的增殖、细胞外基质的合成和肌肉组织的生长。对于器官层面的血管系统性损伤，借助器官灌注反应器在体外建立灌注通路，在灌注液中添加干细胞、活性因子、纳米药物等，靶向修复受损的血管内皮细胞，并通过微循环向损伤组织递送治疗性药物或因子，在循环治疗数小时或数日后，将经过治疗的器官回归机体。在以上血管修复与再生研究中，我们课题组发展了有特色的干细胞工程化修饰、干细胞外泌体微纳米化（人工干细胞）、活性多肽水凝胶、NO 控制释放材料、器官灌注反应器等新材料与新技术。

专题报告



阮双琛

2015 年 9 月起负责创办深圳技术大学，现为校长。毕业于天津大学物理电子学专业获工学博士学位，1994 年被中国科学院破格越级由助理研究员（讲师）晋升为研究员（教授），从事超快光学理论和器件的设计与研制工作，在新型固体激光器件、超快激光器件、光子晶体光纤激光器、THz 波研究领域取得一系列重要成果。获国家发明专利授权 27 项，美国发明专利 2 项，实用新型授权 66 项，获国家科技进步三等奖 1 次，省部级科技进步一等奖 1 次、二等奖 4 次，三等奖 2 次，省部级自然科学三等奖 1 次。曾荣获全国优秀教师、深圳市劳动模范、深圳市十大杰出青年、中国科学院十大杰出青年称号。荣获第六届中国青年科技奖、中国光学学会科技奖（王大珩光学奖），入选新世纪百千万人才工程国家级人选。



唐其柱

医学博士、教授、主任医师、博士生导师。现任武汉大学党委常委、副校长、医学部部长、党工委书记。“国家特支计划”领军人才、卫生部“有突出贡献中青年专家”、获第十一届中国医师奖。中国生物医学工程学会常务理事，教育部科技委员会委员、教育部生物医学工程教学指导委员会委员。先后主持国家重点研发计划、国家自然科学基金重点项目等科技攻关项目 10 余项。发表论文 300 余篇 (其中 SCI 收入 120 余篇) ；主编专著 7 部、参编专著 12 部，主持完成湖北省科技进步一等奖 2 项，参与完成国家科技进步二等奖 3 项。

生物医学工程在高端医疗装备关键核心技术中的使命

生物医学工程是综合了生命科学和工程学的理论、方法和手段，研究人体结构功能和其他生命现象的理、工、医相结合的交叉学科。既为医学、生物学提供技术与装备，又为医学、生物学的发展开辟新路，是变革医学和生物学本身的一支重要力量。其学科范畴主要包括生物力学、生物电学、生物磁学、生物医学材料学、生物系统建模与仿真学、物理因素的生物效应学、生物医学信号检测与传感器、生物医学信号处理、医学图像技术、组织工程学、人工器官、医学仪器和装备、临床工程学等。当前，在实现高端医疗装备关键核心自主可控的紧迫性面前，应大力发展生物医学工程学科。高端医疗装备的品种多、产业链长、技术含量高。新冠疫情充分暴露了我国在高端医疗装备领域关键核心技术方面存在的短板和弱项，如 ECMO 等高端医疗装备，我国还没有自主产品。为了加快高端医疗装备关键核心技术攻关，突破技术装备瓶颈，实现高端医疗装备自主可控，加强生物医学工程学科建设是必然的选择。医疗装备的设计和生产有其独特的物理学、生物学和化学等多学科综合的要求，生物医学工程的大跨度、多学科的综合性特征是传统学科所没有的。



明东

天津大学讲席教授，国家杰出青年科学基金获得者（医学科学部），首批国家优秀青年科学基金获得者（医学科学部），国家“万人计划”专家，科技部中青年科技创新领军人才，国务院政府特殊津贴专家，教育部科技委委员，天津大学科研院常务副院长、医学工程与转化医学研究院院长、卫健委国家健康医疗大数据研究院院长、教育部智能医学工程研究中心主任、天津脑科学与类脑研究中心主任；IFESS Life Member、中国生物医学工程学会青年工作委员会主委。获授权国家发明专利、PCT 国际专利及软著 100 余项；论文入选英国物理学会 IOP 高被引奖、JNE Highlight、JNER Highly Accessed、IEEE TBME Cover 等，并被 Science、Nature 专刊报道；相关成果入选国家“十三五”科技创新成就展。

无创脑机接口发展与挑战

明东

天津大学

脑 - 机交互是人 - 机交互的最高形态，是生物智能与人工智能融合的必经路径，脑 - 机接口技术作为脑 - 机交互的重要技术手段之一，已成为脑科学研究中的新“宠儿”，对现代医学发展意义重大。本次演讲首先对脑 - 机接口进行了基本概述，总结了侵入式脑 - 机接口和非侵入式脑 - 机接口发展的共同趋势；而后针对神经基础、传感方式、软硬件系统、关键技术、典型应用等脑 - 机接口的全技术链条，介绍了天津大学神经工程团队在脑 - 机接口领域的最新研究进展，最后总结了脑 - 机接口的发展趋势和未来方向。



王平

浙江大学生物医学工程与仪器科学学院生物医学工程系教授，博士生导师。国家杰青，入选国家百千万人才工程，全国优秀科技工作者，全国百篇优秀博士论文提名奖获得者导师，获国务院政府特殊津贴，浙江省新世纪学术技术带头人重点培养人员和 151 人才一层次，浙江大学求是特聘教授。现任生物医学工程与仪器科学学院生物传感器国家专业实验室主任、生物医学工程教育部重点实验室主任。

1984、1987、1992 年在哈尔滨工业大学电气工程系电磁测量与仪器专业分别获得学士、硕士和博士学位；1987-1989 年在哈工大该专业留校工作。1992-1994 年浙江大学仪器仪表博士后流动站生物医学工程与仪器专业博士后；2002 和 2005 年分别获国家留学基金委留学基金和包兆龙包玉刚奖学金资助在美国凯斯西方储备大学和阿肯色大学以及美国加州理工学院和加州大学伯克利分校作访问学者。

担任国际生物传感器与生物电子学会议组织委员会委员、国际嗅觉与化学传感技术学会成员、国际化学传感器会议亚太区组织委员会委员、亚洲化学传感器会议国际组织委员会委员；全国高校传感技术研究会副理事长、中国仪器仪表学会传感器分会副理事长、中国生物医学工程学会生物医学测量分会主任委员、中国生物医学工程学会生物医学传感技术分会副主任委员、中国电子学会离子敏生物敏专业委员会副主任委员等。

国际刊物《Microsystems & Nanoengineering (Nature 子刊)》副主编、《Chemosensors》、《Scientific Journal of Microelectronics》等编委；《Biosensors & Bioelectronics》、《Sensors & Actuators A，B》、《IEEE Sensors Journal》、《Sensors Letters》、《Sensors and Materials》等客座编辑和审稿人；国内刊物：《传感技术学报》副主编，《中国生物医学工程学报》、《国际生物医学工程杂志》及《仪表技术与传感器》等编委。

发表学术论文 400 余篇，出版中英文著作：《人工嗅觉与人工味觉》、《细胞传感器》、《现代生物医学传感技术》、《生物医学传感与检测》、《Cell-based Biosensors: Principles and Applications》、《Biomedical Sensors and Measurement》、《Bioinspired Smell and Taste Sensors》、《Micro/Nano Cell and Molecular Sensors》等。

仿生传感技术与智能感知仪器的研究

王平

浙江大学 生物医学工程与仪器科学学院，生物传感器国家专业实验室
生物医学工程教育部重点实验室
Email: cnpwang@zju.edu.cn

仿生传感与智能感知技术是传感技术与生命科学和人工智能技术相结合，模仿生物体的感官功能实现信息获取的技术，包含了敏感机理与传感功能的仿生技术以及信息处理和智能识别技术，其中模拟生物感官的敏感机理和智能识别是发展仿生传感与智能感知的核心。

生物感官机制的仿生是通过采用生物敏感材料与仿生敏感材料制造仿生传感器，智能感知技术是模拟生物体的感知识别功能和原理设计人工的智能识别与分析系统。仿生传感与智能感知技术包括模拟生物体的五大感官功能，即生物体的视觉、听觉、触觉以及嗅觉与味觉功能，研制人工视觉、听觉、触觉以及人工嗅觉与味觉系统或装置仪器。研究模拟生物体五大感官的分子、细胞和组织功能的仿生传感技术以及智能识别算法等。本文简要介绍了仿生传感智能感知技术发展和我们的一些研究进展。



顾忠泽

长江学者特聘教授、国家杰出青年基金获得者、美国医学与生物工程院 fellow、英国皇家化学会 fellow、英国东英吉利大学名誉教授。1989 年毕业于东南大学生物医学工程系，1998 年毕业于日本东京大学应用化学系获博士学位。现任东南大学生物科学与医学工程学院院长、江苏省产业技术研究院生物材料与医疗器械研究所所长。曾任日本神奈川科学技术研究院研究员、日本理科大学客座教授、生物电子学国家重点实验室主任等。从事人体器官芯片等研究。研究成果在国际核心刊物上发表论文 300 余篇，他引 1 万余次，获数十项专利授权，其中 7 项专利获得转化。曾获教育部自然科学一等奖、江苏省科学技术一等奖等。主持国家重点研发计划变革性技术关键科学问题等项目。

器官芯片的挑战与进展

顾忠泽 [1,2]

[1] 东南大学生物科学与医学工程学院，江苏省南京市鼓楼区四牌楼 2 号，邮编 210096，中国

[2] 东南大学苏州医疗器械研究院，江苏省苏州市高新区锦峰路 8 号 1 号楼，邮编 215163，中国

Email: gu@seu.edu.cn

器官芯片是采用干细胞、再生医学、生物材料学、组织工程学、微流控、自组装等技术，来制作在微型芯片上生长的微型人工器官，以实现对人类器官的模拟。本次报告将综述本团队近年来在器官芯片研发方面的若干进展，包括构建的具有自主知识产权的基于双光子 / 多光子器官芯片快速高精度打印系统，解决了器官芯片跨尺度加工的难题；通过组织工程和微加工技术手段制作的由人类细胞构成的十余种器官芯片模型，解决了器官芯片在药物筛选和疾病构建中的若干关键技术难题；采用基于深度学习算法的人工智能系统以及结合了自研的高灵敏生物医学电子设备仪器，完成了可应用于器官芯片精准检测测量的自动化、一体化仪器，解决了器官芯片使用中操作复杂、难于定量观测分析的难题。通过以上技术和体系的成功构建，我们实现了可供药物筛选的器官芯片模型，并在恒瑞、先声、正大天晴等药厂，以及多家三甲医院完成药物筛选和评价。我们的仪器系统已提供给疾控中心等相关单位服务，开展了包括为辉瑞、BioNTech、复星、国药、华西医院等十余种新冠疫苗的中和抗体的评价。综上，本团队和相关合作单位在人体器官芯片领域的系列工作，推动了我国器官芯片的科学研究和产业化的进展。



冯建峰

长江学者特聘教授，现任上海数学中心首席教授、复旦大学类脑人工智能科学与技术研究院院长、复旦大学大数据学院院长、上海脑科学与类脑研究中心副主任，英国皇家学会沃夫森研究功勋奖获得者，2019 年作为三十年来的首位华人受邀在剑桥大学作 Paykel Lecture 年度冠名讲座。

冯建峰教授在计算脑疾病和类脑人工智能领域，发展了一系列数学、统计与计算机的理论和方法，并原创性地将它们应用于解决神经科学、各类脑疾病和自动驾驶中的具体问题。通过对来自神经科学和脑疾病的不同尺度海量数据的分析、挖掘和理论研究，提出和发展了非线性因果关系的方法和理论，并成功应用于发现抑郁症、精神分裂症和自闭症病灶及其临床诊疗中。在单神经元和神经元网络的动力学研究、机器学习算法的设计和分析、随机控制理论、因果关系分析等方面都做出过杰出工作。共发表三百多篇文章，其中几十篇研究成果作为通讯或第一作者发表在 Nature 子刊，Science 子刊，JAMA Psychiatry，America J Psychiatry, 和 IEEE TPAMI 及 Brain，PNAS 和 PRL 上。曾入选爱思唯尔 2019 年中国高被引学者神经科学领域榜单、爱思唯尔 2020 年中国高被引学者数学领域榜单、美国斯坦福大学发布的 2020 年度全球前 2% 神经科学领域顶尖科学家榜单等重要学术榜单。

类脑计算

基于遗传、影像和行为数据，张江国际脑库（ZIB）目前已收集了六千多例样本。首先介绍基于这些样本开展的研究，结合 UK Biobank、ABCD、IMAGEN 国际共享数据库，介绍在青少年和老年大脑健康百科全书方面的工作。基于对脑数据的处理和理解，进一步发展了一些类脑算法和数字孪生脑（DTB），并把它们应用于脑科学研究中。



万遂人

东南大学生物科学与医学工程学院教授，博士生导师。中国生物医学工程学会副理事长，医学人工智能分会主任委员。生物医学工程类专业工程教育认证工作委员会主任。教育部高等学校生物医学工程类教学指导委员前主任委员。教指委-人民卫生出版社生物医学工程类专业“十三五”规划教材编著委员会主任。教指委-电子工业出版社生物医学工程类专业“十三五”规划教材编著委员会主任。《中国生物医学工程学报》编委。《中国医疗器械杂志》编委。2000 — 2004 年美国麻省理工学院（MIT）访问科学家。研究领域：医学电子学；医学成像；生物医学仪器；小波在生物医学工程中的应用；磁共振波谱在诊断中的应用。主讲本科专业主干课《波动理论》、《医学成像系统》。研究生学位课程《信号分析与处理的小波方法》、《成像理论与技术》。参编《医学成像原理》教材（科学出版社，2012.1.）。承担课程改革和课程建设。自 1990 年以来获得省部级科技进步奖 6 项；优秀教学奖 12 项。发表 SCI 论文几十篇。

推动工程教育认证建设一流本科专业

工程教育认证是高等教育质量把控的重要环节。中国高等教育提出建设一流本科专业的目标，实际上，对于工科专业而言，工程教育认证合格之时，就是一流本科专业建设达成之日。本报告介绍了中国工程教育的现状；我国工程教育改革发展方向；工程教育认证的目的；工程教育认证的内涵；工程认证与工程教育质量保障；工程教育认证通用标准；工程教育认证标准的体系架构；如何做工程教育认证。本报告给大家一个关于工程教育认证的全方位的介绍。

分论坛日程

F01

青年学者论坛



主席：明　东

2022年4月11日　08:30-17:30		
开幕及特邀报告（主持人：明东）		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
08:30-08:40	开幕式	**明　东** 天津大学
08:40-09:10	分子影像探针设计、构建及临床转化研究	**刘　刚** 厦门大学
09:10-09:40	自供能电子医疗器件和电刺激治疗	**李　舟** 中科院北京纳米能源与系统研究所
09:40-10:00	面向非侵入式脑 - 机接口的高精度脑电采集芯片：挑战与实现	**陈铭易** 上海交通大学
10:00-10:20	基于神经网络结构搜索的时 - 空共变脑网络分析算法	**邬　霞** 北京师范大学
10:20-10:40	高梯度弥散磁共振成像与脑结构的在体解析	**范秋筠** 天津大学
10:40-11:00	智能医学图像处理	**雷柏英** 深圳大学
11:00-11:20	小鼠前庭功能检测方法	**陈放怡** 南方科技大学
11:20-11:40	基于模型压缩的脑电情绪识别	**李　畅** 合肥工业大学

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
11:40-12:00	百年心电 -- 新技术、新趋势、新应用	**刘澄玉** 东南大学
12:00-14:00	**午休**	
14:00-14:20	虚拟现实环境下人机交互的行为特征及神经响应	**刘笑宇** 北京航空航天大学
14:20-14:40	Noninvasive optical monitoring and modulation in deep tissue: from bench to clinics	**李　婷** 中国医学科学院生物医学工程研究所
14:40-15:00	ICU 的多模态监测及个性化治疗 : the past and the future	**刘秀云** 天津大学
15:00-15:20	大数据驱动下的健康医疗知识图谱建设	**程龙龙** 中国电子信息产业集团
15:20-15:40	医工协同助推医疗器械产业创新发展	**赵　鹏** 国家高性能医疗器械创新中心
15:40-16:00	脑机接口中的迁移学习	**伍冬睿** 华中科技大学
16:00-16:20	基于电生理检测的听觉功能评估与应用研究	**陈世雄** 中科院深圳技术研究院
16:20-16:40	人类视觉专家知识的中枢表征研究	**董明皓** 西安电子科技大学
16:40-17:00	运动皮层重复经颅磁刺激的脑电响应研究	**邱　爽** 中国科学院自动化研究所
17:00-17:20	基于脑机智能相关技术的数字诊疗研究	**文　冬** 北京科技大学

F02

研产互联 擎动未来
迈进“十四五”的学科发展与产业融合论坛



主席：顾晓松



主席：赵毅武

2022年4月11日 08:30-17:20		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
9:00-9:05	开幕致辞	**赵毅武** 中国生物医学工程学会副理事长、科技创新与产业促进工作委员会主任委员、北京纳通科技集团有限公司董事长
主持人：卢爱丽		
9:05-9:35	主题分享一：《粤港澳大湾区——以制度创新推动医疗器械技术创新》	**刘　斌** 国家药监局医疗器械技术审评检查大湾区分中心 主任
9:35-10:05	主题分享二：《微纳米机器人 – 从细胞手术到细胞内部操作》	**孙　钰** 加拿大工程院、皇家科学院院士
10:05-10:35	主题分享三：《心脑血管介入手术机器人系统技术——成果转化进程中的机遇和挑战》	**郭书祥** 日本工程院外籍院士、2021 年度 IEEE 会士
10:35-11:05	主题分享四：《从脑起搏器到脑机接口》	**李路明** 清华大学航天航空学院院长
11:05-11:35	主题分享五：《开放式研发助力医械创新》	**董 骧** 纳通科技集团副总裁
11:40-13:00	**午餐**	
13:00-13:20	分享：《源于临床应用的创新与有组织转化》	**孙建奇** 上海交通大学生物医学工程学院副院长

2021-2022 医疗器械创新创业大会		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
13:30-13:35	开幕致辞	**赵毅武** 中国生物医学工程学会副理事长、科技创新与产业促进工作委员会主任委员、北京纳通科技集团有限公司董事长
项目路演　　主持人：郝红伟		
13:35-16:55	**路演项目：共 8 组** 每个 25 分钟（20 分钟路演、5 分钟提问），共 200 分钟 **评委专家团：** • 刘　斌　国家药监局医疗器械技术审评检查大湾区分中心主任 • 樊瑜波　北京航空航天大学生物与医学工程学院院长 • 陆　遥　广州柏视医疗科技有限公司 CEO • 王　宁　科创资本董事长 • 张　强　联想创投董事 • 张　彦　道彤资本投资总监	
16:55-17:05	综合点评	
17:05-17:15	评审：最具潜力项目、最具市场项目、最具创新项目等共 6 组	
17:20	**结束**	

F03

BME 教育论坛



主席：骆清铭



主席：万遂人

2022年04月11日　08:30-17:30		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
上半场 主持人：万遂人、付 玲		
08:30-09:00	全国大学生生物医学工程创新设计竞赛 承办单位赛旗交接仪式	**骆清铭**　海南大学 **张　超**　中山大学 **张　宏**　浙江大学
09:00-09:30	中国生物医学工程教育现状及展望	**骆清铭** 海南大学
09:30-10:00	医工融合跨界人才“五维五贯”双创教育模式的探索与实践	**尹光福** 四川大学
10:00-10:30	“科学与技术、工程与医学、创新与转化”三融合一贯通高端人才培养改革实践	**顾忠泽** 东南大学
10:30-11:00	医工深度融合　提高核心能力——BME专业课程的改革与实践	**李德玉** 北京航空航天大学
11:00-11:30	BME 交叉创新人才培养探索	**王广志** 清华大学
11:30-12:00	突出行业特色的“平行课堂”新工科人才创意创新创业能力培养模式探索与实践	**李　勤** 北京理工大学
12:00-13:30	**午餐**	

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
	下半场 主持人：王广志、刘 谦	
13:30-14:00	OBE，普通教师做什么	**曾周末** 天津大学
14:00-14:30	生物医学工程专业虚拟教研室建设	**陆祖宏** 东南大学
14:30-15:00	企业究竟需要什么样的人才	**黄海涛** 深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司
15: 00-15:30	生物医学工程专业认证及基于OBE的培养体系建设	**童善保** 上海交通大学
15:30-16:00	面向工程认证的生物医学工程实验教学模式探索	**汪天富** 深圳大学
16:00-16:30	开放式暑期学校经验分享	**康　雁** 深圳技术大学
16:30-17:00	BME工程教育认证与当前工作重点	**万遂人** 东南大学
17:00-17:30	**讨论 & 总结**	

F04

心血管创新医学转化论坛



主席：胡盛寿

2022 年 4 月 9 日　08:25-17:30		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
08:25-08:30	主持人开场	
08:30-08:40	主席致辞	**胡盛寿** 中国工程院院士 中国医学科学院阜外医院院长
08:40-09:05	心血管介入器械创新——从实验室到临床	**王云兵** 四川大学国家生物材料中心
09:05-09:30	小口径血管移植物支架材料生物制造的几个技术关键点	**林展翼** 广东省人民医院
09:30-09:55	主动脉弓部病变的微创治疗选择	**舒　畅** 中国医学科学院阜外医院
09:55-10:20	主动脉腔内修复技术：我们距世界之巅还有多远?	**郭　伟** 解放军总医院
10:20-10:45	一体化免缝合带支架人工血管的临床应用中期结果	**于存涛** 中国医学科学院阜外医院
10:45-11:10	聚氨酯复合人工血管阶段性临床研究的结果分析	**欧阳晨曦** 中国医学科学院阜外医院
11:10-11:35	血管腔内介入机器人进展	**陆清声** 上海长海医院
11:35-12:00	经外周血管植入心衰急救系统研发	**柳光茂** 中国医学科学院阜外医院
13:30-13:55	RDN 治疗的当下和未来	**沈　雳** 复旦大学附属中山医院
13:55-14:20	生物可降解聚乳酸支架植入后的血管损伤修复研究	**王贵学** 重庆大学

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
14:20-14:45	D-Shant 心房分流器在心力衰竭中的应用	**尚小珂** 华中科技大学附属协和医院
14:45-15:10	全降解房间隔封堵器	**丁建东** 复旦大学聚合物分子工程国家重点实验室
15:10-15:35	新型血管支架材料 -- 从研发走向应用	**杨　柯** 中国科学院金属研究所
15:35-16:00	功能型仿生人工血管的工程化制备及再生动脉的效果	**朱同贺** 上海工程技术大学医药前沿技术研究院
16:00-16:25	机械瓣表面梯度浸润性改性及其抗凝血性能研究	**万怡灶** 华东交通大学 / 天津大学
16:25-16:50	仿生抗粘附高分子人工心脏瓣膜材料	**张　兴** 中国科学院金属研究所
16:50-17:20	圆桌讨论	
17:20-17:30	闭幕致辞	

F05

心律论坛



主席：吴书林



主席：马长生

2022 年 4 月 9 日　08:30-17:30		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
上午		
Session1　08:30-10:10 主持人：吴书林 丁燕生 马长生 龙德勇 李康		
08:30-08:50	全国心血管疾病管理能力评估与提升工程：进展及目标	**马长生** 首都医科大学附属北京安贞医院
08:50-09:10	《2021EHRA 房颤患者 NOACs 应用实践指南》解读	**吴书林** 广东省人民医院
09:10-09:30	心脏的神经属性 - 神经递质工作模式的泛化意义	**陈义汉** 同济大学附属东方医院
09:30-09:50	房颤导管消融未来发展方向探讨	**陈明龙** 江苏省人民医院（南京医科大学第一附属医院）
09:50-10:10	心室假腱索的致心律失常机制，电生理特点及导管消融	**王祖禄** 中国人民解放军北部战区总医院
Session2　10:10-11:50 主持人：薛玉梅 于海波 王新华 刘元伟 孙雅逊		
10:10-10:30	人工智能在房颤临床研究中的作用	**杜　昕** 首都医科大学附属北京安贞医院
10:30-10:50	植入设备相关并发症的预防和管理	**李学斌** 北京大学人民医院

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
10:50-11:10	高效消融治疗心房颤动：利与弊	**蒋晨阳** 浙江大学医学院附属邵逸夫医院
11:10-11:30	左束支起搏的植入要点	**黄伟剑** 温州医科大学附属第一医院
11:30-11:50	基因编辑治疗人类遗传性疾病	**洪　葵** 南昌大学第二附属医院
下午		
Session1　14:10-17:30 主持人：杨新春 陶海龙 常栋 廖洪涛 邬小玫		
14:10-14:30	中国成人全国调查中的房颤患病率、知晓率和管理	**董建增** 首都医科大学附属北京安贞医院
14:30-14:50	致心律失常右室心肌病的导管消融策略	**姚　焰** 中国医学科学院阜外医院
14:50-15:10	左室特发性室速消融后 QRS 波电轴变化的意义	**刘少稳** 上海市第一人民医院
15:10-15:30	无导线起搏器的应用现状	**张　萍** 北京清华长庚医院
15:30-15:50	可穿戴心脏除颤器的临床应用	**方　全** 中国医学科学院北京协和医院
Session2　15:50-17:30 主持人：桑才华 邓海 尹晓盟 付华 郑黎晖		
15:50-16:10	脉冲导管消融治疗房颤的现状和临床应用	**江　洪** 武汉大学人民医院
16:10-16:30	房颤合并肿瘤患者的管理	**夏云龙** 大连医科大学附属第一医院
16:30-16:50	左心耳封堵：单纯造影评估是否可行	**何　奔** 上海交通大学附属胸科医院
16:50-17:10	左心耳隔离：是否应该同期封堵	**李毅刚** 上海交通大学医学院附属新华医院
17:10-17:30	左心耳封堵术后的抗凝策略	**鲁志兵** 武汉大学中南医院

F06

第三届 BME 她论坛



主席：许海燕



主席：卢虹冰

2022年4月12日 09:00-12:00		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
09:00-09:15	自组装型树形分子药物递送体系的设计	**刘潇璇** 中国药科大学
09:15-09:30	雄黄纳米晶对急性髓细胞白血病诱导分化治疗作用研究	**孟　洁** 中国医学科学院基础医学研究所
09:30-09:45	活血化瘀中药的生物力药理学研究	**游　云** 中国中医科学院中药研究所
09:45-10:00	ROS 清除功能生物材料在心血管疾病治疗中的应用研究	**杨　菁** 中国医学科学院生物医学工程研究所
10:00-10:15	柔性电路在电子血管的应用	**任　宁** 南方科技大学
10:15-10:30	**茶歇**	
10:30-10:45	基于 fMRI 脑功能信息的视知觉解码研究进展	**颜红梅** 电子科技大学
10:45-11:00	多模态医学影像智能诊断	**余锦华** 复旦大学
11:00-11:15	无标记多模态显微成像技术及生物医学应用	**刘丽炜** 深圳大学
11:15-11:30	脑网络分析：方法及应用	**李宝娟** 空军军医大学
11:30-11:45	基于科技情报视角的人工智能医疗器械发展	**欧阳昭连** 中国医学科学院信息所
11:45-12:00	标准食品模型和体外肠道模型在纳米药物安全性研究中的应用	**黎　燕** 上海理工大学

F07

机械循环支持转化医学论坛



主席：杨　明



主席：张锡文

2022年4月11日　13:30-16:30		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
主持人	**杨明，吴鹏**	
13:30-13:50	左心辅助血泵对冠脉灌注影响的仿真与体外模拟研究	**杨　明** 上海交通大学
13:50-14:10	经导管置入心室辅助装置的研发	**柳光茂** 中国医学科学院阜外医院
14:10-14:30	Impella 导管泵的研发及体外测试评价	**张锡文** 清华大学
14:30-14:50	机械循环辅助器械血液损伤机理研究	**陈增胜** 北京航空航天大学
14:50-15:00	**讨论**	
主持人	**杨明，吴鹏**	
15:00-15:20	机械辅助循环装置的第三方评测研究	**张　宇** 清华大学
15:20-15:40	体外磁悬浮人工心脏 MoyoAssist 研发进展	**徐嘉灏** 心擎医疗
15:40-16:00	磁悬浮离心式标准血泵的设计及优化	**吴　鹏** 苏州大学
16:00-16:20	Fontan 血泵研制及性能评价研究	**王　宇** 大连理工大学
16:20-16:30	**讨论**	

F08

NGS 临床常规化的工程之路论坛



主席：康熙雄



主席：刘志忠

2022年4月11日 08:30-12:00

第一部分：NGS 临床常规化在工程领域的进展

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
08:30-08:50	NGS 临床应用及自动化设计探讨	**王　珺** 杭州杰毅生物技术有限公司
08:50-09:10	BDA 转化之路：从技术到产品，推动常规化检测	**柴映爽** 阅尔基因
09:10-09:30	从“六化”角度谈高通量测序实验室建设	**林思远** 华大智造科技股份有限公司
09:30-09:50	高通量测序在辅助生殖领域的常规化和智能化之路	**杜仁骞** 苏州贝康医疗股份有限公司
09:50-10:10	国产测序平台在肿瘤 NGS 领域的应用	**杨　玲** 北京吉因加科技有限公司
10:10-10:30	微岩医学高通量 mNGS 本地化解决方案	**盖　伟** 微岩医学科技（北京）有限公司
10:30-10:50	临床 NGS 的自动化及常规化共识探讨	**汪　亮** 基因慧

第二部分：圆桌会议 主持人：康熙雄 教授		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
10:50-12:00	NGS 临床常规化工程学讨论 从产业发展历史角度讨论 NGS 应用存在的问题和解决思路	**顾卫红** 中日友好医院
		王　辉 北京大学人民医院
		鲁辛辛 首都医科大学附属北京同仁医院
		王学刚 北京金准基因科技有限责任公司
		张　媛 中华医学杂志
		郝向稳 北京基云惠康科技有限公司
		姜艳芳 吉林大学一附院

F09

医学人工智能协同创新发展论坛



主席：万遂人



主席：赵毅武

2022年4月11日 08:30-17:40		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
开幕式　　主持人：孔德兴		
08:30-08:35	领导致辞	**胡盛寿** 中国工程院院士 中国医学科学院阜外医院
08:35-09:00	国际视角下中国人工智能医疗器械发展报告》白皮书发布会	**陈　晨** 百度集团法律研究中心
医学人工智能监管协同创新 主持人：王广志 张继武		
09:00-09:20	医学人工智能的应用评估研究进展	**游　茂** 国家卫生健康委卫生发展研究中心
09:20-09:40	人工智能医疗器械监管研究进展	**彭　亮** 国家药监局医疗器械技术审评中心
09:40-10:00	数字疗法产品质量评价探讨	**王晨希** 中国食品药品检定研究院
10:00-10:15	交流讨论	
医学人工智能体系协同创新 主持人：田 捷 赵毅武		
10:15-10:35	AI 在影像诊疗全流程中的应用	**沈定刚** 上海联影智能医疗科技有限公司
10:35-10:55	AI 技术医学应用—伦理学视域	**翟晓梅** 北京协和医学院

10:55-11:15	临床应用场景下的人工智能研究	**陆 遥** 广州柏视医疗科技有限公司
11:15-11:35	中国医学人工智能概况	**万遂人** 东南大学
11:35-11:50	交流讨论	
医学人工智能技术协同创新 主持人：万遂人　刘志成		
13:30-13:50	数据驱动的智能磁共振成像	**郑海荣** 中国科学院深圳先进技术研究院
13:50-14:10	高质量医学数据库建设及应用	**孔德兴** 浙江大学
14:10-14:30	医疗大数据治理及深度利用	**李劲松** 之江实验室健康医疗大数据研究中心
14:30-14:50	智能外科与微创医疗器械的前沿技术	**宋成利** 上海理工大学医疗器械与食品学院
14:50-15:10	全栈式智能医学超声	**倪 东** 深圳大学
15:10-15:35	交流讨论	
医学人工智能临床协同创新 主持人：李增勇　商洪才		
15:35-15:55	人工智能正在改变心血管疾病的防控	**欧阳晨曦** 俄罗斯自然科学院外籍院士 中国医学科学院阜外医院
15:55-16:15	人工智能在放疗计划中的应用	**戴建荣** 中国医学科学院肿瘤医院
16:15-16:35	用于人工智能医疗器械研发与评估的皮肤影像数据质控	**林 彤** 中国医学科学院皮肤病医院
16:35-16:55	腔镜手术机器人技术与产业进展	**徐 凯** 北京术锐技术有限公司
16:55-17:15	感觉传入增强的神经响应及运动康复应用	**侯文生** 重庆大学
17:15-17:40	交流讨论	

F10

产学研医合作呼吸专科救治论坛（一）
线上会议



主席：陈荣昌



主席：李长缨



主席：康　雁

2022年4月11日 08:30-17:10		
主题一：体外膜肺氧合呼吸支持（ECMO）（主持人：刘晓青，康雁）		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
08:30-08:50	ECMO 的临床应用与未能满足的问题	**孙　兵** 北京朝阳医院
08:50-09:10	ECMO 核心技术与国产化实践	**刘日东** 江苏赛腾医疗科技有限公司
09:10-09:30	ECMO 系统现状与趋势	**樊瑜波** 北京航空航天大学
09:30-10:10	**集体讨论：**ECMO 设备研发、临床需要与技术交融	**陈荣昌** 及以上所有讲者
10:10-10:20	**茶歇**	
主题二：有创/无创呼吸支持（主持人：解立新，李德玉）		
10:20-10:40	无创通气、有创通气临床应用与未能满足的问题	**陈荣昌** 深圳市人民医院
10:40-10:55	国产呼吸机卡脖子技术关键部件之涡轮	**魏希盟** 杭州贝丰科技有限公司
10:55-11:10	高流量呼吸治疗设备发展趋势及创新	**夏金根** 中日友好医院

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
11:10-11:30	呼吸力学与呼吸通气技术创新	**李德玉** 北京航空航天大学
11:30-12:10	**集体讨论：**有创无创呼吸设备的研发、临床需要与技术交融，下次研讨关键问题和建议	**主持人** 及以上所有讲者
主题三：EIT关键技术与临床应用探讨（主持人：宋元林，李懋坤）		
13:30-13:50	EIT 技术在临床应用的显著前景与未能满足的问题	**解立新** 解放军总医院
13:50-14:10	人体胸腔液气含量多物理场实时监测方法研究	**李懋坤** 清华大学
14:10-14:25	EIT 设备发展概况	**张　昕** 北京华睿博视医学影像技术有限公司
14:25-14:55	**集体讨论：**EIT 技术的临床意义与技术交融	**主持人** 及以上所有讲者
14:55-15:05	**茶歇**	
主题四：睡眠呼吸监测 （主持人：韩芳，李长缨）		
15:05-15:25	睡眠医学概述	**韩　芳** 北京大学人民医院
15:25-15:45	呼吸中枢调节能力的客观测评	**张启明** 中国中医科学院
15:45-16:00	睡眠无创呼吸机研发：技术上的思考	**侯丙营** 北京谊安健康科技有限公司
16:00-16:15	极致、美学与睡眠监测	**翟　丰** 上海儿童医学中心
16:15-16:30	呼吸专科大数据平台技术创新与应用	**陈逸龙** 广州天鹏计算机科技有限公司
16:30-17:10	**集体讨论：**睡眠呼吸障碍诊疗技术医工融合	**主持人** 及以上所有讲者

产学研医合作呼吸专科救治论坛（二）



主席：陈荣昌



主席：李长缨



主席：康　雁

2022年4月12日 08:30-11:00		
主题五：呼吸影像技术创新研究探索（主持人：郭佑民，周欣）		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
08:30-08:50	呼吸系统影像学现状与挑战	**郭佑民** 西安交通大学附属第一医院
08:50-09:10	核磁共振在肺成像应用	**周　欣** 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院
09:10-09:30	呼吸运动仿真计算	**康　雁** 深圳技术大学
09:30-09:50	负重位三维 DR 动态成像	**郑　晗** 深圳市安健科技股份有限公司
09:50-10:00	**茶歇**	
10:00-10:20	肺部影像智能分析国际现状与挑战	**刘远明** 深圳市智影医疗科技有限公司
10:20-11:00	**集体讨论：**新冠、影像组学 /COPD 早期诊疗与量化评估	**郭佑民** 及专家组成员与企业研发人员

生物医用材料临床转化论坛

F11



主席：杨志英



主席：甘志华



主席：杨振忠

2022年4月12日 13:00-16:30		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
13:00-13:05	主持人开场	**王　浩** 国家纳米科学中心
13:05-13:15	主席致辞	**杨志英** 中日友好医院 **甘志华** 北京化工大学 **杨振忠** 清华大学
13:15-13:40	mRNA 药物用于肿瘤微环境重编程及免疫协同治疗的临床前研究	**林耀新** 国家纳米科学中心
13:40-14:05	胰腺肿瘤外科：外科学遇见肿瘤学	**虞先濬** 上海市复旦大学附属肿瘤医院
14:05-14:30	骨科用功能型丙烯酸酯类材料	**邱　东** 中国科学院化学研究所
14:30-14:55	生物源性心血管外科手术重建材料的未来之路	**宋江平** 中国医学科学院阜外医院
14:55-15:20	基于苯甲酰亚胺化学结构的动态响应材料及其在药物输送和组织工程中的应用	**屈小中** 中国科学院大学
15:20-15:45	纳米铂类药物在肿瘤治疗中的研究进展	**黄　笳** 中日友好医院
15:45-16:10	围绕临床应用的膀胱肿瘤灌注治疗纳米药物研发	**喻青松** 北京化工大学
16:10-16:25	线上讨论：生物医学材料的临床转化未来之路	全体与会者
16:25-16:30	致闭幕辞	**杨志英** 中日友好医院

分会场日程

S01

脑机交互与神经工程（一）



主席：尧德中



主席：明　东

2022年4月11日 08:30 - 17:52		
第一场 特邀报告 主持人：明东		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
08:30-08:40	主席致开幕词	
08:40-09:20	面向临床应用的脑机接口	**李远清** 华南理工大学
09:20-10:00	脑机交互的发展趋势	**尧德中** 电子科技大学
茶歇（10:00-10:10）		
第二场 神经调控及相关技术（专家报告） 主持人：童善保		
10:10-10:30	低频经颅超声神经调控及应用研究进展	**童善保** 上海交通大学
10:30-10:50	基于无创运动想象脑机接口的神经康复及调控技术	**杨帮华** 上海大学
10:50-11:10	个体化无创神经调控技术	**闫天翼** 北京理工大学
11:10-11:30	面向脑功能疾病治疗的磁性纳米药物介导脑区磁刺激技术	**孙剑飞** 东南大学

第三场 神经调控及相关技术（口头报告） 主持人：闫天翼		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
11:30-11:38	重复经颅超声刺激对大脑运动皮层的调控效应	**孙俊峰** 上海交通大学
11:38-11:46	The long-term Effects of electrical stimulation training on the hippocampal synaptic plasticity in vitro based on SWCNTs/PEDOT: PSS nanocomposites-modified microelectrode array	**刘瑶瑶** 中国科学院航天信息研究所
11:46-11:54	重复内嗅皮层电刺激促进正常小鼠的探索行为和海马神经发生	**孙雨伟** 重庆大学
11:54-12:02	比较 tDCS 和 tACS 对改善帕金森病的运动和认知功能效果的差异研究	**卜俊杰** 安徽医科大学
12:02-13:30	**午餐**	
第四场：脑机接口（专家报告） 主持人：王跃明		
13:30-13:50	基于孪生网络核回归的鲁棒解码模型	**王跃明** 浙江大学
13:50-14:10	基于脑机交互的共享控制技术及应用	**俞祝良** 华南理工大学
14:10-14:30	脑机交互与康复应用	**金　晶** 华东理工大学
14:30-14:50	基于脑电信号的驾驶疲劳评估研究	**孔万增** 杭州电子科技大学
14:50-15:10	弱磁场环境调制脑 - 机接口性能研究	**许敏鹏** 天津大学
15:10-15:30	稳态视觉诱发电位脑机接口系统优化及应用	**陈小刚** 中国医学科学院生物医学工程研究所
15:30-15:40	**茶歇**	

第五场：神经信号处理技术（专家报告） 主持人：李阳		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
15:40-16:00	医工深度融合关键技术研究进展	**李　阳** 北京航空航天大学
16:00-16:20	脑电信号降噪的若干探索	**陈　勋** 中国科学技术大学
16:20-16:40	儿童脑发育中微状态序列的无尺度和复杂度特性	**欧阳高翔** 北京师范大学
16:40-17:00	功能连接模式—数学超常大脑、脑龄预测浅议	**王海贤** 东南大学
17:00-17:20	脑电网络构建及其应用研究	**徐　鹏** 电子科技大学
第六场：神经信号处理技术（口头报告） 主持人：陈勋		
17:20-17:28	时间相关失匹配负波和频率相关失匹配负波的重测可靠性	**王婧仪** 上海交通大学
17:28-17:36	一种构建时变有向脑电网络的多元非参数动态格兰杰因果方法	**易婵琳** 电子科技大学
17:36-17:44	ADHD 儿童神经反馈训练任务脑电的特征分析	**张杜娟** 天津医科大学
17:44-17:52	基于模糊熵的精神分裂症时间变异性研究	**姜　林** 电子科技大学

脑机交互与神经工程（二）



主席：尧德中



主席：明　东

2022年4月12日 09:00 - 12:30		
第七场：脑器交互（专家报告） 主持人：洪波		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
09:00-09:20	语言神经解码	**洪　波** 清华大学
09:20-09:40	面向脑卒中康复评估的神经肌肉耦合分析	**谢　平** 燕山大学
09:40-10:00	基于逆强化学习的人机交互研究	**刘泉影** 南方科技大学
10:00-10:20	减重手术改善大脑认知功能的肠脑机制研究	**张　毅** 西安电子科技大学
10:20-10:30	**茶歇**	
第八场：人工智能与类脑智能（专家报告） 主持人：陈霸东		
10:30-10:50	熵学习理论及在脑信号分析与处理中的应用	**陈霸东** 西安交通大学
10:50-11:10	Inflammation Disrupts the Brain Network of Executive Function after Cardiac Surgery	**杨　旗** 首都医科大学
11:10-11:30	空间记忆决策神经环路的类脑算法	**张治国** 深圳大学
11:30-11:50	数字孪生脑 (DTB)：理论、平台及应用	**郭大庆** 电子科技大学

第九场：人工智能与类脑智能（口头报告） 主持人：郭大庆		
11:50-11:58	Representation and decoding of bilateral arm motor imagery using unilateral cerebral local field potential signals	**林佳帆** 浙江大学
11:58-12:06	PEDOT:PSS/rGO 修饰微电极阵列 用于检测激活海马神经元网络可塑性	**杨　燕** 中国科学院空天信息创新研究院
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
12:06-12:14	基于运动皮层场电位的步态冻结预测模型	**徐君宙** 复旦大学
12:14-12:22	基于多模特征融合的睡眠分期研究	**李存波** 电子科技大学
12:22-12:30	Silver nanowire immobilization on polymeric substrate for flexible and transparent electronic devices	**萨拉哈德米** 中国科学院深圳先进技术研究院

脑机交互与神经工程（三）



主席：尧德中



主席：明　东

2022年4月12日 09:00 - 12:30		
青年优秀论文（学者）竞赛（平行会场） 主持人：童善保，李阳，杨帮华，闫天翼，陈小刚，王海贤，欧阳高翔，张杨松		
09:00-09:10	基于生物可降解硅基光电薄膜的神经调控技术	**盛 兴** 清华大学
09:10-09:20	980nm 激光脉冲高空间选择性地抑制听觉中枢通路神经传导	**姜 彬** 重庆理工大学
09:20-09:30	结合测试样本无监督学习信息的 SSVEP 特征增强方法	**肖晓琳** 天津大学
09:30-09:40	高频 rTMS 对脑电功率谱密度影响的研究	**靳静娜** 中国医学科学院生物医学工程研究所
09:40-09:50	经颅磁刺激改善大鼠工作记忆的海马与前额叶跨脑区神经网络效应研究	**郭苗苗** 河北工业大学
09:50-10:00	P300 个体差异的网络机制及其在临床疾病中的应用研究	**李发礼** 电子科技大学
10:00-10:10	融合脑机接口与虚拟现实的空间认知训练与评估系统设计与验证	**文　冬** 北京科技大学
10:10-10:20	四分类时序编码主动式脑机接口特征分类研究	**王　力** 广州大学
10:20-10:30	**茶歇**	

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
10:30-10:40	磁声耦合刺激在类生物组织中的中的矢量电场检测	**周晓青** 中国医学科学院生物医学工程研究所
10:40-10:50	基于 Lp(0<p ≤ 1) 范数的格兰杰因果分析及其在运动想象脑电应用中的调查研究	**李沛洋** 重庆邮电大学
10:50-11:00	面向脑 - 机接口：新型柔性双网络水凝胶半干脑电电极研究	**李广利** 湖南工业大学
11:00-11:10	基于磁共振测温的植入式医疗器械 MRI 射频致热监测方法	**张　锋** 清华大学
11:10-11:20	基于脑电的决策机制研究	**司亚静** 新乡医学院
11:20-11:30	基于小波变换和并行 CNN 特征融合的 fNIRS 诊断重度抑郁症方法研究	**王　刚** 西安交通大学
11:30-11:40	不同程度的预测误差诱发可分的错误相关脑电特征	**孟佳圆** 天津大学
11:40-11:50	新生儿癫痫中的非线性动态规律	**叶建宏** 北京理工大学
11:50-12:30	**专家点评**	

脑机交互与神经工程（四）



主席：尧德中



主席：明　东

2022年4月12日 09:00 - 12:30

青年优秀论文（研究生）竞赛（平行会场）

主持人：金晶，许敏鹏，田银，孙俊峰，文冬，伏云发，徐舫舟，张锐

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
09:00-09:05	基于个体特异性经颅交流电刺激的情绪早期注意调控研究	**何雨晨** 天津大学医学工程与转化医学研究院
09:05-09:10	Predicting the public’ s moral elevation experience conveyed in danmaku comments using EEGs from a small group of people	**包宸昊** 清华大学
09:10-09:15	下肢截肢患者运动想象神经生理学证据：一项 ERP 的研究	**魏聪惠** 南昌大学第二附属医院
09:15-09:20	A Transfer Entropy Based Study of LFPs Functional Connectivity Changes during Working Memory	**李天翔** 河北工业大学
09:20-09:25	一种基于脉冲神经网络的新型小脑仿生模型	**刘　印** 大连理工大学
09:25-09:30	Study of Brain Activities under Visually Induced Motion Sickness with EEG Source Imaging	**周　璐** 南京航空航天大学
09:30-09:35	Enhancement of functional corticomuscular coupling after transcranial ultrasound stimulation in mice	**郝莹莹** 燕山大学
09:35-09:40	基于图的深度学习解码脊髓损伤患者的运动想象脑电信号	**李金城** 齐鲁工业大学(山东省科学院)
09:40-09:45	闭环深部脑刺激中的实时伪迹去除方法	**郭轩君** 复旦大学

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
09:45-09:50	基于逻辑分组的双重刺激脑 - 机接口的研究	**伍凌宇** 河北工业大学
09:50-09:55	经颅磁声电激励下 Fitzhugh-Nagumo 神经元模型放电特性分析	**徐亦豪** 河北工业大学
09:55-10:00	40Hz 光闪烁刺激对大鼠海马 - 前额叶交叉频率耦合影响的研究	**王龙龙** 河北工业大学
10:00-10:05	脑深部电刺激对临床前期阿尔茨海默症小鼠空间学习记忆和海马节律振荡的影响	**罗尹培** 重庆大学
10:05-10:10	相控阵列换能器参数对经颅磁声电刺激聚焦电场分布的影响研究	**由胜男** 河北工业大学
10:10-10:15	基于脑电的高频 rTMS 刺激初级运动皮层对帕金森病运动症状改善作用的研究	**李润泽** 河北工业大学
10:15-10:20	飞秒激光结构化的层级铂铱合金电极在体性能研究	**李霖泽** 清华大学
10:20-10:25	日常活动引致四款 IPG 植入位点加速度值的探究	**徐博亚** 清华大学
10:25-10:30	基于电路 - 概率理论的神经电刺激能量优化研究	**张亚鹏** 郑州大学
10:30-10:35	磁共振射频场的相位恢复方法研究	**桑宛萱** 清华大学
10:35-10:40	基于 EEG 和 EMG 的无线协作技术	**曹天傲** 哈尔滨工业大学
10:40-10:50	**茶歇**	
10:50-10:55	基于脉冲循环神经网络的猕猴 M1 皮层峰电位序列解码研究	**刘腾俊** 浙江大学
10:55-11:00	基于 B1+ 图像匹配构建磁共振系统中鸟笼射频线圈的数值模型——用于医疗植入物射频致热效应评估	**龙天罡** 清华大学
11:00-11:05	注意力缺陷多动症的静息态功能磁共振全脑分析	**唐　懿** 重庆邮电大学

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
11:05-11:10	sEMG Signal Detection and Cross-Individual Gesture Recognition Using Easy Transfer Learning	**钟小聪** 哈尔滨工业大学
11:10-11:15	基于脉冲神经网络的情绪识别研究	**张慧港** 河北工业大学
11:15-11:20	Age-Related Structural Alterations in Human Hippocampus: Reflections on White Matter Structure	**谭鉴玲** 重庆邮电大学
11:20-11:25	癫痫患者头皮脑电图中高频率振荡信号的分析研究	**赵思远** 沈阳工业大学
11:25-11:30	基于运动想象的场景个体差异性研究	**左皓鑫** 河北工业大学
11:30-11:35	基于变分相幅耦合的情感识别与分析技术	**张楚婷** 北京理工大学
11:35-11:40	癫痫颅内电刺激下脑电图高频振荡信号分析	**陈娜** 沈阳工业大学
11:40-11:45	面向步态障碍的帕金森病神经耦合研究	**金璐瑶** 北京理工大学
11:45-11:50	缺血性神经阻滞状态下神经肌肉电刺激诱发感觉皮层活动研究	**赵云** 重庆大学
11:50-11:55	运动想象中的 β 振荡非线性度研究	**徐文彬** 北京理工大学
11:55-12:30	**专家点评**	

S02

生物医学检测、处理与分析（一）



主席：郭兴明



主席：王　平

2022年4月11日 08:30-17:30		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
上午 08:30-11:50（口头报告） 主持人：郭兴明、王平		
08:30-08:55	基于无创多模态数据的心血管功能个性化建模	**徐礼胜** 东北大学
08:55-09:15	低温生物医学中的温度及热量精准测量	**刘宝林** 上海理工大学
09:15-09:35	脑创伤与脑卒中的电磁检测研究进展	**秦明新** 陆军军医大学
09:40-09:50	银包裹金纳米哑铃 SERS 基底的制备及其在福美双残留检测中的应用	**杜慧芳** 西安交通大学
09:50-10:00	多模态心肌细胞传感与调控器件、技术与系统	**胡　宁** 浙江大学
10:00-10:10	糖分子荧光检测及机理研究	**孙晓龙** 西安交通大学
10:10-10:20	用多种适配体修饰的 LAPS 用于同时检测多种海洋生物毒素	**田玉兰** 西安交通大学医学部
10:20-10:30	金银铂核壳纳米颗粒非特异性检测牛血清白蛋白	**孟利娜** 西安交通大学
10:30-10:40	基于银包覆金纳米双锥体刻蚀的 C 反应蛋白多色酶联免疫检测	**申　珣** 西安交通大学
10:40-10:50	用于视网膜神经信号检测的新型 3D 微电极阵列研究	**张　奎** 中国科学院空天信息创新研究院
10:50-11:00	全自动贝类毒素现场前处理及检测一体化仪器的研制	**孙先佑** 浙江大学
11:00-11:10	基于等离子体纳米材料的新冠病毒变异预防平台	**张　博** 南方科技大学

11:10-11:20	基于 CsPbBr3/Fe3O4)@MPSS@SiO2@Gelatin 钙钛矿纳米复合微球用于循环肿瘤细胞的高效分选和无损释放	**李　蕊** 新疆大学
11:20-11:30	基于多孔基底与离子液体的微型电化学气体传感器研究进展	**万　浩** 浙江大学
11:30-11:40	WMCNTs/PEDOT:PSS 修饰微电极阵列用于甘氨酸调控下的大鼠皮层神经元检测	**吕诗雅** 中国科学院空天信息创新研究院
11:40-11:50	基于电容耦合的呼吸检测	**殷圣童** 重庆理工大学
下午 14:00-16:50（口头报告） 主持人：高峰、殷涛		
14:00-14:25	细胞与分子传感器及其在生物医学中的应用	**吴春生** 西安交通大学医学院
14:25-14:45	单分子检测技术在临床诊断中应用	**张　威** 中国科学院苏州生物医学工程技术研究所
14:45-14:55	光谱法无创定量分析人体血液成分	**王　丹** 天津大学
14:55-15:05	基于 CiteSpace 图谱对表面肌电在康复医学领域应用热点及发展趋势的可视化分析	**徐利亚** 北京体育大学
15:05-15:20	神经元钙振荡的长时程监测与 CaV1.3 信号复合体	**耿金丽** 北京航空航天大学
15:20-15:30	A double-layered liquid metal-based electrochemical sensing system on fabric for wearable glucose detection in sweat	**胡　靓** 北京航空航天大学
15:30-15:40	Remote Photoplethysmography Methods Robust Against Spatially Uneven Illuminations	**宋仁成** 合肥工业大学
15:40-15:50	A Taste Bud Organoid-based Biosensor for Chemical Sensing via Microelectrode Array Recordings	**刘淑阁** 西安交通大学
15:50-16:00	Biochemical and genomic analysis of unique Paenibacillus agaridevorans strain isolated from murine host	**陈　君** 南方科技大学
16:00-16:10	卡巴胆碱介导 BK 通道在氧化应激与压力条件下对小梁网细胞的作用研究	**樊　攀** 哈尔滨医科大学附属第二医院
16:10-16:20	基于 EEG 和 fNIRS 信号的注意力状态识别方法研究	**尉增杰** 中国科学院深圳先进技术研究院
16:20-16:30	基于近场耦合频谱的缺血性卒中后脑水肿类型鉴别方法研究	**祝　睿** 重庆理工大学
16:30-16:40	微流控芯片上糖尿病患者中性粒细胞趋化迁移表型研究	**杨　逍** 中国科学院合肥物质科学研究院
16:40-16:50	基于正交旋转激励磁场的兔脑出血磁感应相移检测新方法	**贺中华** 陆军军医大学

生物医学检测、处理与分析（二）



主席：郭兴明



主席：王　平

2022年4月12日　09:00-12:10		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
口头报告 主持人：刘宝林、秦明新		
09:00-09:25	生物医学检测装备的研发和工程化探索	**周连群** 中科院苏州生物医学工程技术研究所
09:25-9:45	无创电磁神经调控技术与应用	**殷　涛** 中国医学科学院生物医学工程研究所
09:45-09:55	基于心电 - 心音耦合分析的冠心病严重程度评估研究	**董慧雯** 山东大学
09:55-10:10	Odor Induced Modification of Oscillations and Related Theta-Higher Gamma Coupling in Olfactory Bulb Neurons of Awake Rats	**朱　平** 西安交通大学医学部
10:10-10:20	铁氰化物对光电化学传感器中溶解氧的屏蔽	**安子建** 浙江大学
10:20-10:30	检测微生物代谢动态变化的微流控光寻址电位传感器系统的研究	**姜　楠** 浙江大学
10:30-10:40	格拉姆角场和卷积神经网络的电子鼻气味智能识别算法的研究	**熊忆舟** 浙江大学

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
10:40-10:50	Carbon Nitride-based Electrochemical Aptasensor for the Sensitive Detection of Okadaic Acid	**陈雅婷** 西安交通大学
10:50-11:00	基于纳米管电穿孔阵列的高效准确的细胞内递送传感系统	**方佳如** 中山大学
11:00-11:10	近红外光谱技术在颅脑损伤监测的应用	**魏梦林** 上海理工大学
11:10-11:20	基于主成分分析的 PPG 预处理方法及其在手势识别中的应用	**阮煜文** 中国科学技术大学
11:20-11:30	基于多时间序列融合的可穿戴呼吸率估测	**赵　艳** 电子科技大学
11:30-11:40	无袖带连续血压估计问题中因果关系的挖掘	**刘　磊** 电子科技大学
11:40-11:50	基于希尔伯特变换和自适应阈值的 R 波检测算法	**郭田雨** 上海理工大学
11:50-12:00	Two-zone GR-C electrochemical sensor based on the heparinase-linked differential time method for the detection of heparin potency in whole blood	**郑安然** 中国科学院苏州生物医学工程技术研究所
12:00-12:10	面向肠道器官平滑肌的肌张力测试系统设计	**倪伟杰** 上海理工大学

生物医学检测、处理与分析（三）



主席：郭兴明



主席：王　平

2022年4月12日　09:00-11:50		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
青年论文竞赛 主持人：王平、郭兴明		
09:00-09:10	基于纳米颗粒微调控突破热力学极限的动态分子传感	**曾　强** 上海交通大学
09:10-09:20	基于纳米棒微电极阵列的心肌细胞内外动作电位同步记录技术	**徐冬馨** 中山大学
09:20-09:30	检测呼出气体快速筛查牙周疾病的电子鼻技术研究	**薛莹莹** 浙江大学
09:30-09:40	基于单颗粒成像的小细胞外囊泡亚型分析方法	**翟春荟** 上海交通大学
09:40-09:50	磁纳米粒子非线性磁化信号二次谐波检测方法研究	**武　明** 沈阳工业大学
09:50-10:00	Detection of Pulmonary Hypertension Based on wavelet-scattering convolution network and LSTM Using Heart Sounds Recordings	**汪　淼** 大连理工大学
10:00-10:10	An Electrochemical Impedance Biosensor Based on Hybrid Nanomaterial UiO-66@Au NPs@FA for Label-Free and Sensitive Detection of Cancer Cells	**梁冬鑫** 西安交通大学第一附属医院
10:10-10:20	降温过程中兔子血液在 1Hz-100kHz 下电导率的变化规律	**王伟策** 中国人民解放军空军军医大学

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
10:20-10:30	发育水平对婴幼儿爬行运动关节运动协同影响的研究	**张　丽** 重庆大学
10:30-10:40	Reconstruction of Aortic Pressure Waveform Using a Two-level Adaptive Transfer Function Strategy	**杜　硕** 东北大学
10:40-10:50	视觉引导下的运动执行与运动想象 EEG 时频特征对比分析	**伍　彪** 南京航空航天大学
10:50-11:00	基于有限状态机引导去噪和谱峰追踪的心率估计研究	**郭景斌** 中国科学技术大学
11:00-11:10	基于改进型泰曼格林干涉仪的人眼眼轴长度测量	**皇甫胜男** 上海理工大学
11:10-11:20	基于脉搏波脉幅半宽的无袖式非侵入连续血压估计	**杨于民** 电子科技大学
11:20-11:30	基于视觉注意力机制和 LMCL 损失函数的手指静脉识别	**柏浩瀚** 电子科技大学
11:30-11:40	场效应管传感器快速灵敏检测结核分枝杆菌	**马金标** 天津大学
11:40-11:50	Muscle activation patterns and muscle synergies reflect different modes of coordination during upper extremity movement	**董晓娇** 燕山大学

S03

生物医学成像与图像处理（一）



主席：夏　灵



主席：康　雁

2022年4月11日　09:00 - 18:00		
第一场 特邀报告 主持人：夏 灵		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
09:00-09:10	主席致开幕词	**夏　灵** 浙江大学
09:10-09:40	基于多先验约束的光声断层成像系统性创新研究	**陈武凡** 南方医科大学
09:40-10:10	基于分子影像的“透明病理”	**张　宏** 浙江大学
10:10-10:30	**茶歇**	
第二场：特邀报告 主持人：邬 霞		
10:30-11:00	A new era of functional brain imaging: 7T MRI + MEG	**高家红** 北京大学
11:00-11:30	MRI-guided precise rTMS treatment of brain disorders	**臧玉峰** 杭州师范大学
11:30-12:00	Beyond Image: Radiomics in Oncology	**刘再毅** 广东省人民医院
12:00-13:30	**午餐**	

第三场：专家报告 主持人：冯衍秋		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
13:30-14:00	深度学习磁共振心脏电影成像	**梁　栋** 深圳先进技术研究院
14:00-14:30	猕猴全脑神经纤维束的病毒示踪与 11.7T 扩散张量成像	**王　征** 北京大学
14:30-15:00	脑血管易损斑块 MR 成像与智能分析	**赵锡海** 清华大学
15:00-15:10	**茶歇**	
第四场：专家报告 主持人：黄炳升		
15:10-15:30	癫痫网络脑成像	**张志强** 南京军区总医院
15:30-15:50	青少年抑郁症的形态学脑网络研究	**王金辉** 华南师范大学
15:50-16:10	基于人工智能与多模态脑影像的脑发育障碍研究	**隋　婧** 中科院自动化研究所
16:10-16:30	磁共振智能云重建	**屈小波** 厦门大学
16:30-16:40	**茶歇**	
第五场：专家报告 主持人：蒋明峰		
16:40-17:00	Deep learning in X-ray multimodality imaging	**牛田野** 深圳湾实验室
17:00-17:20	颈动脉超声平面波血流成像新方法研究	**郑音飞** 浙江大学
17:20-17:40	Mapping brain connectivity using higher-order streamline differential equation	**冯远静** 浙江工业大学
17:40-18:00	基于深度迁移学习的癌症病理图像分类方法研究	**李勇明** 重庆大学

生物医学成像与图像处理（二）



主席：夏　灵



主席：康　雁

2022年4月12日　09:00 -12:05		
第六场 ：口头报告 主持人：张 祎		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
09:00-09:05	鼻咽癌三维概率图谱分析及应用探索	**陈洪波** 桂林电子科技大学
09:05-09:10	Reconstructing four-dimensional atlas of the fetal brain based on diffusion MRI	**陈瑞可** 浙江大学
09:10-09:15	基于自监督深度学习的超声平面波双向动态聚焦成像方法	**陈胤燃** 厦门大学
09:15-09:20	基于彩色编码血管显像技术的主动脉夹层分支血流分析研究	**方　坤** 中国医学科学院阜外医院
09:20-09:25	基于光声显微成像的脑肿瘤研究	**宫辛睿** 南方科技大学
09:25-09:30	Inversion-recovery prepared 3D oscillating gradient sequence improves diffusion-time dependency measurements in the human brain	**李浩天** 浙江大学
09:30-09:35	基于悬浮染色的液基细胞无透镜显微彩色成像	**谢俊杨** 南京大学
09:35-09:40	侧脑室容量与阿尔茨海默病相关性验证	**李嘉欣** 浙江大学
09:40-09:45	MRI 图像中直肠癌区域分割的研究	**陈树超** 桂林电子科技大学

09:45-09:55	**专家点评**
09:55-10:05	**茶歇**

第七场：口头报告
主持人：高 毅

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
10:05-10:10	非病变乳腺组织的影像基因组学分析 : 一种可解释的深度学习框架	**梁健文** 深圳大学
10:10-10:15	受主磁场不均匀性影响下的化学交换饱和转移成像饱和方案的研究	**刘瑞斌** 浙江大学
10:15-10:20	LANDSCAPE 2.0: 基于脑网络的皮层复杂度对经颅电刺激电场影响的模拟研究	**路翰娜** 香港中文大学
10:20-10:25	改进边缘指示函数的 GAC 模型在肾脏 CT 图像分割中的应用	**全美霖** 四川大学
10:25-10:30	头部固定的清醒小鼠全脑超快光声成像	**任星星** 南方科技大学
10:30-10:35	基于肺区 CT 图像最大密度投影与深度卷积网络的 COPD 识别研究	**吴雅楠** 东北大学
10:35-10:40	移动 MRI 卒中单元于超早期卒中鉴别诊断的应用研究	**谭　亮** 陆军军医大学第一附属医院（西南医院）
10:40-10:45	化学交换饱和转移成像在结节性硬化症继发性癫痫中的优化应用研究	**温清清** 浙江大学
10:45-10:50	一种适用于颅脑 EIT 血管造影成像的电阻抗造影剂研究	**章伟睿** 空军军医大学
10:50-11:00	**专家点评**	
11:00-11:10	**茶歇**	

第八场：口头报告 主持人：赵 立		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
11:10-11:15	基于磁声效应的肌肉刺激电流无创分布检测	**张顺起** 中国医学科学院生物医学工程研究所
11:15-11:20	基于 BM 方程拟合的外插磁化转移在缺血性卒中的应用	**雍兴旺** 浙江大学
11:20-11:25	Anal Center Detection with Superpixel Segmentation	**王泽皓** 北京邮电大学
11:25-11:30	基于电磁拓扑结构的增强型微波致热超声成像研究	**刘　强** 南方科技大学
11:30-11:35	Free-breathing self-gated continuous-IR spiral T1 mapping: A comparison of dual flip-angle and Bloch-Siegert B1-corrected techniques	**周芮西** 北京邮电大学
11:35-11:40	基于正 - 未标记生成对抗网络与改进 U 形网络的磁共振图像智能重构方法研究	**原枕谋** 浙江理工大学
11:40-11:45	METSC: A Model-driven Transformer for Parameter Estimation in Diffusion MRI Models	**郑天舒** 浙江大学
11:45-11:50	3D Spatial Positioning by Binocular Infrared Cameras	**弓　艺** 北京邮电大学
11:50-11:55	腹部凸阵超声探头向量血流技术的测量与验证	**郝鹏慧** 深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司
11:55-12:00	Predicting Chemotherapy Response in Non-Small-Cell Lung Cancer via Computed Tomography Radiomic Features: Peritumoral, Intratumoral, or Combined?	**畅润笙** 东北大学
12:00-12:05	高功能儿童青少年孤独症谱系障碍患者的海马亚区体积研究	**孙芬芬** 绍兴文理学院
12:05-12:15	**专家点评**	

生物医学成像与图像处理（三）



主席：夏　灵



主席：康　雁

2022年4月12日　09:00 -12:30		
青年优秀论文竞赛（平行会场） 主持人：罗建文、吴 丹		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
09:00-09:10	一个面向大规模数字前列腺病理图像计算分析平台	**黄浩梵** 深圳大学
09:10-09:20	Forward model-based multiple aperture synthesis: a novel approach for aberration correction in optical coherence tomography	**葛　昕** 深圳湾实验室
09:20-09:30	基于引导滤波结合直方图均衡的数字乳腺图像增强方法	**刘明睿** 南京邮电大学
09:30-09:40	Opponent Coding of Sound Locations in Human Auditory “Where” Pathway	**孙立伟** 首都医科大学
09:40-09:50	融合多尺度卷积神经网络对乳腺超声肿瘤图像进行良恶性分类	**田荣辉** 东北大学
09:50-10:00	Ultrasound Speckle Dynamic Analysis-based Velocimetry	**唐建波** 南方科技大学
10:00-10:10	Motion Compensated Four-Dimensional Cone Beam CT Imaging from Single Routine Scan using Multiscale-Discriminator Generative Adversarial Network	**杨鹏飞** 浙江大学
10:10-10:20	Detection and Classification of Early Induced Pluripotent Stem Cells	**李明珠** 深圳大学
10:20-10:30	A Generalized Radiomic Feature Selection and Modelling Method in Predicting Different Clinical Outcomes	**杨　婧** 浙江大学
10:30-10:40	**茶歇**	
10:40-10:50	小脑皮层的三维数字重建：小叶厚度、表面积测量和层结构	**郑俊潇** 深圳大学

10:50-11:00	基于脑漂校正的脑深部电刺激电极术后标定方法	**何长耕** 清华大学
11:00-11:10	A generalized scatter correction strategy of cone-beam CT using multiple spectral CT labels in Pix2pix GAN	**江阳康** 浙江大学
11:10-11:20	An automatic redundant point deletion strategy for the registration of coronary arteries with missing data	**徐　部** Northeastern University
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
11:20-11:30	Coil Compression for MRI using Variable Augmented Invertible Network	**廖祥昊** 南昌大学
11:30-11:40	用于多频磁感应断层成像的脑部有限元模型构建与仿真	**张　涛** 空军军医大学
11:40-11:50	基于多任务学习的半监督脑胶质瘤自动分割和分级	**滕贷宇** 清华大学
11:50-12:00	LRSN：一个用于视网膜血管分割的轻量化深度网络模型	**谭玉博** 电子科技大学
12:00-12:10	A Novel Solution for the Inverse Problem based on UPEMD in Electrocardiographic Imaging	**张亚丹** 清华大学深圳国际研究生院
12:10-12:20	表征 COPD 分期演进的肺影像组学融合特征研究	**杨英健** 东北大学
12:20-12:30	**专家点评**	

生物医学传感与可穿戴系统（一）

S04



主席：沙宪政



主席：胡　勇

2022年4月11日　08:30-18:10		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
特邀报告 主持人：沙宪政、胡勇		
08:30-08:40	主任委员致辞	**沙宪政** 中国医科大学
08:40-09:00	微介入式生物传感	**谢　曦** 中山大学
09:00-09:20	新一代房颤监测：设备 - 算法 - 临床实践	**刘澄玉** 东南大学
09:20-09:40	适于长期佩戴的无线可穿戴织物肌电臂带及其运动意图预测方法研究	**胡　勇** 香港大学深圳医院
09:40-10:00	Noninvasive optical monitoring and modulation in deep tissue: from bench to clinics	**李　婷** 中国医学科学院生物医学工程研究所
10:00-10:20	**茶歇**	
专家报告 主持人：陈真诚、张合喜		
10:20-10:35	糖分子荧光识别及机理研究	**孙晓龙** 西安交通大学
10:35-10:50	The Early Diagnostic of Cancer Disease using Microfluidic Chip based Sensor	**高荣科** 中国石油大学
10:50-11:05	纳米通道生物传感器用于疾病早期诊断	**孙忠月** **湖北中医药大学**
11:05-11:20	检测神经炎症的活体检测装置	**刘国珍** 香港中文大学
11:20-11:35	Electrochemical Biosensor Design and Application based on Ferrocene Conjugates and Heme signal amplification	**韩国成** 桂林电子科技大学
12:05-13:30	**午餐**	

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
专家报告 主持人：吕斌、荆涛		
13:30-13:45	酶热传感技术在抗生素耐药菌快速检测研究中的进展	**孟庆来** 山西大学
13:45-14:00	基于石墨烯纸微波辐射光谱的碱金属离子的检测	**蒋文帅** 新乡医学院
14:00-14:15	柔性纸基压力传感系统在人体生理信号远程实时监测方面的应用	**杨　丽** 河北工业大学
优秀青年论文竞赛 主持人：李剑君，柯丽		
14:30-14:40	面向回转滑雪的双链式穿戴系统惯性传感模块的开发	**王　烨** 中国科学院深圳先进技术研究院
14:40-14:50	依托三维孔洞结构的肿瘤细胞培养与活性小分子原位监测	**陈大竞** 杭州师范大学
14:50-15:00	A Fully Integrated Closed-Loop System Based on Mesoporous Microneedles-Iontophoresis for Diabetes Treatment	**李湘凌** 中山大学
15:00-15:20	**茶歇**	
15:20-15:30	基于柔性神经电极阵列的在体嗅觉感知技术研究	**段　言** 浙江大学
15:30-15:40	基于 CNN-LSTM 的低压缺氧环境移动穿戴式呼吸频率预测方法	**张　羽** 西北工业大学
15:40-15:50	均匀激励场磁感应断层成像及其全变差滤波反投影算法研究	**王道平** 沈阳工业大学
15:50-16:00	基于卷积神经网络的脑血流阻抗信号分类方法研究	**张雪荣** 沈阳工业大学
16:00-16:10	基于心阻抗微分环的心功能状态分析与研究	**杨文卉** 沈阳工业大学
16:10-16:20	阿尔兹海默症早期筛查的嗅球细胞神经网络传感器的研究	**刘梦雪** 浙江大学
16:20-16:30	基于永磁阵列的磁粒子断层成像线型零磁场设计与研究	**温凯诚** 沈阳工业大学

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
优秀青年论文竞赛 主持人：常世杰、蒲江波		
16:30-16:40	基于注意力机制的 CNN-LSTM 脑神经活动生物阻抗检测方法研究	**郑雅文** 沈阳工业大学
16:40-16:50	基于多生物特征的活体身份识别技术	**王启松** 哈尔滨工业大学
16:50-17:00	基于血管形态特征的的视网膜识别技术	**李晓庆** 中国医科大学
17:00-17:10	基于二维 MXene 材料的可穿戴呼吸监测研究	**李　鑫** 浙江大学
17:10-17:20	用于多造影剂肿瘤分类性能评价的模糊 ROC 体系	**姚帅廷** 电子科技大学
17:20-17:30	基于离子配位的便携式半胱氨酸定量检测传感器	**刘　光** 浙江大学
17:30-17:40	用于原位口腔 pH 监测和按需给药的无线无源柔性电子贴片	**施政涵** 浙江大学
17:40-17:50	基于激光诱导石墨烯的可穿戴的高性能防水双模态应变 - 温度传感器	**陈　雪** 河北工业大学
17:50-18:00	经颅聚焦超声神经调控中换能器定位仿真研究	**高鹏皓** 沈阳工业大学
18:00-18:10	评审专家组会议	**沙宪政、胡勇、陈真诚、吕斌、张合喜**

生物医学传感与可穿戴系统（二）



主席：沙宪政



主席：胡　勇

2022年4月12日　09:00-13:30		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
联合学术年会（主持人：孙晓龙、高荣科）		
09:00-09:10	基于电感耦合技术的可穿戴非接触脉搏检测装置	**李铭彦** 重庆理工大学
09:10-09:20	Imperceptible metallic epidermal coating with mechanical stability and physiological homeostasis based on adhesive liquid metal microparticles	**丁　力** 中国医学科学院阜外医院
09:20-09:30	基于儿茶酚的导电聚合物用于高性能植入式生物电池	**贾晓腾** 吉林大学
09:30-09:40	3D 打印可穿戴超高灵敏柔性聚合物压力传感器	**宋岩华** 浙江大学
09:40-09:50	一种基于肌腱生理结构进行康复评定的柔性带状传感器	**王健翔** 浙江大学
09:50-10:00	一种面向高原环境的自适应供氧量控制方法	**任苗苗** 西北工业大学
10:00-10:20	**茶歇**	
联合学术年会（主持人：韩国成、蒋文帅）		
10:20-10:30	基于可穿戴 BT 网络的能量有效心电监测数据传输策略研究	**赵文娟** 西北工业大学
10:30-10:40	基于表面等离子体共振特性的金银合金纳米笼折射率灵敏度调控	**覃秋香** 西安交通大学
10:40-10:50	金纳米四角星折射率传感特性理论研究	**卢林昱** 西安交通大学

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
10:50-11:00	从熵测度视角进行基于穿戴式心震信号的二尖瓣反流评估	**杨晨熙** 东南大学
11:00-11:10	颅内局部水肿的多点近场耦合对称抵消检测方法研究	**曾令熙** 重庆理工大学
11:10-11:20	用于剧烈运动下生理电信号监测的柔软可拉伸干电极系统	**刘志远** 中国科学院深圳先进技术研究院
11:20-11:30	基于液态金属的弹性导线和应变传感器用于可穿戴设备的研究	**唐立雪** 首都医科大学
11:30-11:40	Development and Characterization of A Generic Wearable Single-Channel Ear-EEG Recording Platform	**刘　蓉** 大连理工大学
11:40-12:00	**会议总结（主任委员：沙宪政）**	
13:00-13:30	全体委员会议	

S05

生物医学光子学（一）



主席：骆清铭



主席：魏勋斌

2022年4月11日 08:30-20:40		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
08:30-08:55	Microglia modulation with 1070-nm light attenuates Aβ burden and cognitive impairment in Alzheimer's disease mouse model	**魏勋斌** 北京大学
08:55-09:20	小动物 - 人体的在体检测技术及应用研究	**黄国亮** 清华大学
09:20-09:45	分子影像探针的临床转化与挑战	**戴志飞** 北京大学
09:45-10:10	有机半导体荧光探针及生物成像应用	**吴长锋** 南方科技大学
10:10-10:30	光声脑成像技术及其应用	**奚　磊** 南方科技大学
10:30-10:50	光声分子影像学及其在生物医学应用	**聂立铭** 厦门大学
10:50-11:10	经颅光声人脑成像与聚焦的初步研究	**高　飞** 上海科技大学
11:10-11:30	光声成像技术在骨与关节及周围神经疾患诊疗中的应用	**胡　军** 汕头大学医学院第一附属医院
11:30-11:50	快速光声成像	**刘成波** 深圳先进技术研究院
12:00-13:00	**午餐**	

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
13:00-13:20	NIR-II dual-modal optical coherence tomography and photoacoustic imaging-guided dose-control cancer chemotherapy	**袁　振** 澳门大学
13:20-13:40	基于近红外光谱和超声剪切波成像的肿瘤微波消融疗效评估研究	**钱志余** 中国药科大学
13:40-14:00	激光散斑成像及其生物医学应用	**李鹏程** 华中科技大学
14:00-14:20	组织修复相关细胞亚群的靶向成像与功能鉴定	**史春梦** 陆军军医大学
14:20-14:40	眼底荧光血管造影图像生成方法研究与应用论证	**史国华** 中科院苏州生物医学工程技术研究所
14:40-15:00	应用于动脉粥样硬化在体诊断的全光学血管内超声成像系统	**王　璞** 北京航空航天大学
15:00-15:20	基于 SERS 纳米标签的多元免疫分析	**赵祥伟** 东南大学
15:20-15:40	活体光学显微成像与生物医学应用	**付　玲** 华中科技大学
15:40-16:00	非线性光学显微成像技术及应用	**刘丽炜** 深圳大学
16:00-16:20	线照明调制显微镜	**袁　菁** 华中科技大学
16:20-16:40	生物组织结构与功能的无标记定量成像	**刘智毅** 浙江大学
16:40-17:00	基于单细胞分析的单克隆抗体筛选新技术研究	**李　勤** 北京理工大学
17:00-17:20	Maximum Information Extraction for Super-resolution Microscopy Using Experimental PSF Models	**李依明** 南方科技大学
17:20-17:40	单个细胞形态、形变和动力学的光学检测研究	**周金华** 安徽医科大学
17:40-19:00	**晚餐**	

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
19:00-19:20	时域太赫兹光声：可调控的水传感与检测技术	**李　娇** 天津大学
19:20-19:40	基于空间频域成像的无标记非接触高分辨人体生理信息监测	**赵雁雨** 北京航空航天大学
19:40-20:00	声辐射力激励的光学相干弹性成像及其应用	**朱　疆** 北京信息科技大学
20:00-20:20	非接触式光声显微成像的技术研发	**陈松良** 上海交通大学
20:20-20:40	基于微流控芯片 - 表面增强拉曼光谱技术的血液外泌体膜蛋白表型分析	**王　静** 福建师范大学

生物医学光子学（二）



主席：骆清铭



主席：魏勋斌

2022年4月12日　08:30-12:00		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
08:30-08:50	构建仿生级联补氧纳米载药系统用于肿瘤光动力治疗	**李斯文** 中国药科大学
08:50-09:10	金属纳米簇的生物医学应用	**王　富** 上海交通大学
09:10-09:30	基于深度学习的血流动态成像	**王茗祎** 佛山科学技术学院
09:30-09:50	基于逐次线性迭代的漫射光相关血流成像技术	**尚　禹** 中北大学
09:50-10:10	扩散相关光谱血流血氧量化方法及其应用研究	**李　哲** 北京工业大学
10:10-10:30	Live cell anatomy study with multidimensional super-resolution microscopy and deep learning	**张　昊** 南方科技大学
10:30-12:00	**青年优秀论文竞赛**	
10:30-10:45	皮肤免疫应答中单核细胞迁移与活化的可视化研究	**刘　征** 华中科技大学
10:45-11:00	A microfluidic biosensor for rapid nucleic acid quantitation based on hyperspectral interferometric amplicon-complex analysis	**符荣鑫** 清华大学
11:00-11:15	猪肝微波消融过程中组织约化散射系数和杨氏模量的实时变化研究	**晋晓飞** 南京航空航天大学
11:15-11:30	Quantitative mapping of morphological features of cerebral blood vessels based on aggregation-induced emission dots	**孟　佳** 浙江大学

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
11:30-11:45	光清除技术在光学相干层析成像中的应用	**张　晓** 北京理工大学
11:45-12:00	基于深度学习的声学分辨率光声显微成像	**张雪婷** 曲阜师范大学

第四届医工韶光创新



主席：万遂人



主席：董　骧

2022年4月12日　08:30-11:55		
时间	**开幕式**	**主持人**
8:30-8:35	会议开始，领导致辞	**董　骧**
时间	**青年论文**	**评委**
8:35-8:45	一种计量电源线设计及其在医疗设备效益分析中的应用 **王威　中国人民解放军中部战区总医院**	**倪　东** **葛　云**
8:45-8:55	红外热成像驱动的人体运动姿态识别 **朱业安　重庆大学**	
8:55-9:05	A Novel Online Action Observation-Based Brain-Computer Interface That Enhances Event-Related Desynchronization **张鑫　重庆大学**	
9:05-9:15	Approach for Training, Storing and Compressing Neural Network Model at Memory Constrained Edge Devices **陈佳荣　中山大学**	
时间	**青年论文**	**评委**
9:15-9:25	基于 CT 图像和影像报告的多模态数据融合方法及应用研究 **郑智民　首都医科大学**	**徐　栋** **罗　琳** **陈　磊** **甄　浩**
9:25-9:35	基于多任务多注意力残差收缩卷积神经网络的可穿戴睡眠呼吸暂停检测方法 **沈奇　中山大学**	
9:35-9:45	基于深度强化学习的热消融适形规划 **梁利斌　清华大学**	
9:45-9:55	Classification of Dysarthria Speech for Parkinson's Disease with A Self-Supervised Learning Model **巩晨　清华大学**	

时间	青年论文	评委
9:55-10:05	A Local and Global Feature Disentangled Network: Toward Classification of Benign-malignant Thyroid Nodules from Ultrasound Image **赵世轩 电子科技大学**	徐 栋 罗 琳 陈 磊 甄 浩
10:05-10:15	Automatic Sleep Staging using Deep Convolutional Neural Network and Gated Recurrent Unit with EEG and PPG Signals **曾咏燊 深圳技术大学**	
10:15-10:25	Applying Cone-beam CT Radiomics for Predicting Treatment Response in Patients with Liver Tumors Treated by Stereotactic Body Radiation Therapy: a Pilot Study **杨鹏飞 浙江大学**	
10:25-10:35	Research on a System of Identifying Circulating Tumor Cells Based on Random Forest Algorithm **李欣 同济大学**	
10:35-10:45	基于生理模型与深度学习融合的连续无袖带动态血压估计 **王日琛 深圳技术大学**	
10:45-10:55	Using multi-scale information fusion residual network to predict the ISUP grade of ccRCC in digital pathology images **常世龙 河北大学**	

时间	口头报告	评委
10:55-11:05	面向智能病理的图像扰动物理建模及算法鲁棒性研究 **罗琳 北京协同创新研究院**	许 燕 包承龙
11:05-11:15	基于 CTE 图像和深度学习的克罗恩病肠壁纤维化分级预测：与影像组学方法及影像科医师诊断对比 **罗梓欣 深圳大学**	
11:15-11:25	Automatic classification of multi-type retinal lesions based on lightweight convolutional neural network and fundus images **鲁贞贞 北京工业大学**	
11:25-11:35	Computer-aided Diagnosis for CT Image of Spinal Tuberculosis Based on Fusion of Hand-crafted Features and Deep Learning Feature **李兆同 北京大学医学部**	
11:35-11:45	Automatic structuring of breast ultrasound reports in Chinese with natural language processing based on BI-RADS **刘晶焰 四川大学华西医院**	
11:45-11:55	PCXRNet: Condense attention module and Multiconvolution spatial attention module for Pneumonia Chest X-Ray detection **冯毅博 山东中医药大学**	

医学影像工程与技术

S07



主席：唐晓英



主席：马国林

2022年4月11日　08:30-17:30		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
8:30-8:40	开幕致辞	**万遂人** 东南大学
特邀报告 1　主持人：马国林 唐晓英		
8:40-9:05	基于人工智能和医疗大数据的影像组学及其临床应用	**田　捷** 北京航空航天大学
9:05-9:30	医学电子与抑郁障碍诊疗技术	**胡　斌** 北京理工大学
9:30-9:55	脑磁测量技术的现状和展望	**高家红** 北京大学
9:55-10:20	ASL 脑灌注成像技术应用与展望	**马国林** 中日友好医院
特邀报告 2　主持人：马国林 唐晓英		
10:20-10:45	Connectome-metabolism associations of the human brain	**贺　永** 北京师范大学
10:45-11:10	脑细胞外间隙与类淋巴组织液研究进展	**韩鸿宾** 北京大学医学部
11:10-11:35	认知功能个体差异以及酗酒影响	**唐晓英** 北京理工大学
11:35-12:00	医学影像国家新一代人工智能开放创新平台的建设与应用	**钱天翼** 腾讯医疗健康（深圳）有限公司
12:00-13:30	**午休**	

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
大会报告 1　　主持人：范应威		
13:30-13:40	基于残差网络的胃部癌变组织光学相干断层成像分类研究	**冉宇辰** 北京理工大学
13:40-13:50	时空间和多感觉注意加工过程中额顶网络的特定表征模式	**王璐瑶** 上海大学
13:50-14:00	基于深度学习的乳腺 DCE-MRI 肿瘤分割	**崔婧然** 电子科技大学
14:00-14:10	B0 and B1 inhomogeneities effect on selection of the optimal parameters of LIBRE（Lipid Insensitive Binomial Off-Resonant RF Excitation）at 3T	**刘泽萍** 广州医科大学
14:10-14:20	基于数值计算的系列医学影像仿真仪器研发与应用	**汪红志** 华东师范大学
14:20-14:30	Synergetic Ferroptosis-Gemcitabine Chemotherapy of the Carbonaceous Nanozyme (CNS@MnFe2O4) to Improve Treatment and Magnetic Resonance Imaging Monitoring of Pancreatic Cancer	**张高瑞** 山东大学齐鲁医院
大会报告 2　　主持人：牛金鹏		
14:30-14:40	Cerebral blood flow pattern changes in unilateral sudden sensorineural hearing loss based on Brainnetome Atlas	**陈　悦** 中日友好医院
14:40-14:50	Hemodynamic comparison in tandem pre-aneurysm models: A study on the potential mechanism for tandem aneurysms initiation	**姚韵楚** 北京理工大学
14:50-15:00	难治性癫痫患儿大脑半球切除术后运动功能的综合评估	**赵一霖** 深圳市儿童医院
15:00-15:10	精神分裂症同步 EEG-fMRI 的脑动态网络融合分析	**裴浩男** 电子科技大学
15:10-15:20	首发与复发因素对自杀倾向抑郁症患者大脑的影响：基于多模态磁共振成像技术的研究	**孙芬芬** 绍兴文理学院
15:20-15:30	**休息**	
大会报告 3　　主持人：陈悦		
15:30-15:40	Mixed Metal Metal-Organic Frameworks Derived Carbon Supporting ZnFe2O4/C for High-Performance Magnetic Particle Imaging	**蒋振奇** 北京理工大学
15:40-15:50	Altered inter-subject functional correlation of the default mode network in normal aging	**牛金鹏** 山东第一医科大学

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
15:50-16:00	White matter hyperintensities, APOE4 and cognitive aging: a mediation and interaction study in cognitively healthy population	**赵　翠** 首都医科大学
16:00-16:10	Alterations in dynamic functional connectivity in individuals with subjective cognitive decline	**陈　钱** 南京医科大学
16:10-16:20	A surface-based MRI study in post-stroke dementia	**李雯雯** 浙江大学
16:20-16:30	基于大样本深度学习研究男性和女性在大脑功能老化中的异同	**杜宇慧** 山西大学
大会报告 4　　主持人：蒋振奇		
16:30-16:40	阻塞性呼吸暂停中的母胎心率和睡眠情况分析	**刘力菲** 北京理工大学
16:40-16:50	Reduced Volume and Altered Functional Connectivity of Globus Pallidus in Pediatric Bipolar Disorders Type I	**张晓彤** 山东第一医科大学
16:50-17:00	非医学影像专业住院医师放射基地轮转 SPARK 教学模式初探	**韩志江** 杭州市第一人民医院
17:00-17:10	1.5T 磁共振成像过程中心脏植入物射频致热安全评估的组织模拟介质推导	**姚爱萍** 兰州大学
17:10-17:20	品管圈在提高新生儿幼儿磁共振检查成功率及效率管理中的应用	**陈晓惠** 武汉大学中南医院
17:20-17:30	CT 影像组学在新型冠状病毒肺炎诊断的应用初探	**皮之安** 安康市中心医院

S08

主动健康前沿技术与创新应用



主席：曹征涛



主席：王　磊

2022年4月11日　13:30 - 18:10		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
主持人：王 磊		
13:30-13:35	致欢迎辞	**曹征涛** 会议主席
13:35-13:55	主动健康是历史发展的必然	**李祥晨** 国家体育总局
13:55-14:15	基于可穿戴设备的数字生物标志物发掘	**周凯欣** 中国科学院生物物理研究所
14:15-14:35	异质传感技术与健康监测	**肖文栋** 北京科技大学
14:35-14:55	穿戴式心脏健康智能诊断及实时预警播报系统	**刘成良** 上海交通大学
14:55-15:15	危重疾病发病前的动力学特征	**张启明** 中国中医科学院
15:15-15:35	中医耳穴数字化诊疗研究	**李青峰** 杭州师范大学
15:35-15:55	基于动态血糖监测和中医药干预的二型糖尿病主动健康模式探索	**温川飙** 广州新黄埔中医药联合创新研究院
15:55-16:15	导引按跷临床试验探讨	**齐明思** 中北大学

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
主持人：吴 奇　上海交通大学		
16:15-16:35	主动运动健康从理论基础到临床慢病健康恢复实践	**孙兴国** 中国医学科学院阜外医院
16:35-16:55	基于个人健康助理终端 PHAT， 构筑全民主动健康体系	**李国翟** 天津大学
16:55-17:15	主动健康的一元多次方程模型	**刘承宜** 华南师范大学
17:15-17:35	穿戴智能及在糖尿病慢病管理中的应用探讨	**聂泽东** 中国科学院深圳先进技术研究院
17:35-17:45	基于 HBC 的人联网技术	**陈　宇** 北京理工大学
17:45-17:55	基于小波包分析的神经肌肉功能检测的主动健康应用的研究	**张紫珺** 遵义医科大学
17:55-18:05	基于深度学习算法对重症心梗患者预后情况预测的研究	**周星宇** 遵义医科大学
18:05-18:10	结束语	**王　磊** 会议主席

S09

生物制造



主席：杜亚楠



主席：席建忠

2022年4月11日　09:00-17:30		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
上午：09:00-12:00　主持人：杜亚楠、吴锦慧		
09:00-09:20	Cell Identity Conversion and Liver Regeneration	**惠利健** 中国科学院分子细胞科学卓越创新中心
09:20-09:40	力学正反馈信号回路介导的心肌成纤维细胞表型双稳态现象	**徐　峰** 西安交通大学
09:40-10:00	微纳静电生物打印：调控细胞 / 组织生长新途径	**贺健康** 西安交通大学
10:00-10:20	A novel 3D microscaffold promoted the generation of hematopoietic stem/progenitor cells from human pluripotent stem cells	**那　洁** 清华大学
10:20-10:40	Systemic immune responses to irradiated tumours via the transport of antigens to the tumour periphery by injected flagellate bacteria	**吴锦慧** 南京大学
10:40-11:00	基于核酸链置换的基因精准分析	**齐　浩** 天津大学
11:00-11:20	基于液滴微流控的模块化组织 3D 打印技术	**王华楠** 大连理工大学
11:20-11:40	Large-scale tissue fabrication and micro-scale cell movement	**顾　奇** 中国科学院动物研究所
11:40-12:00	微组织工程革新生物制造和再生医学	**杜亚楠** 清华大学

下午：13:30-17:30　主持人：郭琼玉		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
13:30-13:50	构建透明化肝癌模型评估多种化疗栓塞制剂	**郭琼玉** 南方科技大学
13:50-14:10	Accelerate wound healing by microscale gel array patch encapsulating defined SDF-1 α gradient	**许　振** 深圳大学
14:10-14:30	3D printed hydrogel scaffolds with macro pores and interconnected microchannel networks for tissue engineering vascularization	**罗永祥** 深圳大学
14:30-14:50	Surface-anchored framework for generating RhD-epitope stealth red blood cells	**王　本** 浙江大学
14:50-15:10	A novel electrospray system for cell encapsulation with high-throughput	**范泽军** 清华大学
15:10-15:30	基于 DLP-3D 打印的工艺研发及高精度微流控芯片的高通量制造与运用	**罗志明** 深圳大学
15:30-15:42	Dynamic and High Throughput Multi-spheroid Organoid-chip for Effective and Accurate Drug Screening	**朱宇瑄** 浙江大学
15:42-15:54	Application of Heart-on-a-chip with computer vision in drug toxicity detection	**赵　吉** 天津工业大学
15:54-16:06	In vitro micro-tissue model reconstructs expansion pattern in liver fibrosis progression and reveals cell communication through mechanical cues	**周　律** 清华大学
16:06-16:18	TGase-mediated matrix crosslinking is a marker of liver fibrosis and regulates cell behavior in hepatic microenvironment	**吕　丞** 清华大学
16:18-16:30	ECM-degradable endothelial cells for liver fibrosis treatment	**赵　鹏** 清华大学
16:30-16:42	三维蛋白支架对细胞生长状态的影响及应用研究	**邹晓敏** 深圳大学
16:42-16:54	Electrohydrodynamic printing of 3D vascularized multidirectionally-aligned cardiac tissue constructs for enhanced cardiac infarction repair	**韩　康** 西安交通大学
16:54-17:06	Engineering vascular model reveals mechanism of hepatic vascular microenvironment response to hydrostatic pressure in liver fibrosis progression	**龙　艺** 清华大学
17:06-17:18	丝光化细菌纳米纤维素 / 聚乙烯醇复合人工血管的研制与评价	**胡高铨** 东华大学
17:18-17:30	开发一种可折叠的两亲性的透明高分子薄膜植片用于治疗大泡性角膜病变	**李俊阳** 清华大学

上午 20 分钟的口头报告包含 17 分钟报告 +3 分钟提问；下午 20 分钟的口头报告包含 17 分钟报告 +3 分钟提问，12 分钟的口头报告包含 10 分钟报告 +2 分钟提问。

S10

康复工程



主席：张　明



主席：李光林

2022年4月11日 08:30-17:30		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
主持人：季林红、刘志成		
08:30-08:50	基于高密度肌电信息分析的神经肌肉功能康复研究	**李光林** 中国科学院深圳先进技术研究院
08:50-09:00	近红外脑功能成像在脑卒中康复中的临床应用	**李增勇** 国家康复辅具研究中心
09:00-09:10	Task-oriented rehabilitation techniques with robot-assisted information feedback	**张明明** 南方科技大学
09:10-09:20	康复工程的新靶点	**刘承宜** 华南师范大学
09:20-09:30	视触觉感知运动融合及在阿尔茨海默病神经功能评估中的应用	**李　可** 山东大学
09:30-09:40	肌电驱动的神经肌肉电刺激机器人促进脑卒中患者上肢功能恢复的 TMS 研究	**李　乐** 西北工业大学
09:40-09:50	面向复杂运动任务评估的帕金森步态时空参数模型研究	**孟　琳** 天津大学
09:50-10:00	肌肉疲劳对轮椅使用者上肢肌肉协调模式的影响	**齐莉萍** 大连理工大学
10:00-10:10	Trajectory Optimization with Musculoskeletal Integration Features for Fracture Reduction Orthopedic Robot	**李　剑** 国家康复辅具研究中心
10:10-10:20	**茶歇**	

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
10:20-10:40	生物真实假肢手的进展与挑战	**蓝　宁** 上海交通大学
10:40-10:50	基于 fNIRS 和虚拟现实技术的多模态柔性康复训练方法	**王丽珍** 北京航空航天大学
10:50-11:00	基于功能近红外的脑瘫儿童脑激活模式及功能网络特征研究	**张腾宇** 国家康复辅具研究中心
11:00-11:10	3D 打印技术在康复辅助器具中的应用 , 挑战及思考	**孟昭建** 广东省工伤康复中心
11:10-11:20	肌电信号中任务相关组分与个体相关组分的研究	**戴晨赟** 复旦大学
11:20-11:30	护膝对排球运动员单腿着陆的生物力学影响 : 一项实验研究	**刘海斌** 大连理工大学
11:30-11:40	基于肌电地形图评估腰部外骨骼对腰背部肌肉协同活动的作用研究	**姜乃夫** 中国科学院深圳先进技术研究院
11:40-11:50	气动压力疗法在糖尿病足溃疡防护中的应用研究	**任韦燕** 国家康复辅具研究中心
11:50-12:00	基于递归网络的脑卒中患者静止站立过程中多肌肉协调性研究	**李金萍** 苏州市立医院北区
12:00-13:30	**午餐&休息**	
主持人：李光林、蒲放		
13:30-13:50	基于流体静压原理的舌功能能障碍的评估与训练	**窦祖林** 中山大学附属第三医院

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
13:50-15:00	**快闪报告**	
	盛文飞 中山大学附属第一医院	**何　敏** 复旦大学
	徐梦娟 中国科学技术大学	**刘晓杰** 太原理工大学
	张　娜 山东大学	**康湘莲** 山东大学
	崔　希 山东大学	**白钟飞** 上海市养志康复医院
	王　宽 同济大学附属养志康复医院	**马纪德** 山东大学
	李　强 空军军医大学口腔医院	**胡元栋** 山东大学
	赖冬榕 浙江大学	**赵昊文** 中国科学技术大学
	张　静 内蒙古工业大学	**李文昊** 北京航空航天大学
	秦　华 太原理工大学	**王星月** 北京航空航天大学
	白明磊 上海交通大学	**周丽哲** 太原理工大学
	徐　攀 福州大学	**孙紫琦** 南方科技大学
	汪　洋 重庆大学	**王　萍** 遵义医科大学珠海校区
	高经纬 北京信息科技大学	
15:00-15:10	**茶歇**	

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
15:10-17:30	**青年优秀论文竞赛**	
	汉语声调版林氏六音的声调评估	**王　星** 重庆大学
	经颅磁刺激对尾吊小鼠行为认知和神经兴奋性的影响	**侯文涛** 河北工业大学
	基于 fNIRS 的任务导向性上肢训练对卒中患者脑功能的影响分析	**霍聪聪** 北京航空航天大学
	基于神经重塑特征的个性化脑机交互康复训练临床实验研究	**贾天宇** 清华大学
	降低的腘绳肌柔韧性可能会增加 Osgood–Schlatter Disease 的患病风险	**张雪英** 北京航空航天大学
	sEMG signals characterization and identification of hand-movements by machine learning considering sex-differences	**张瑞轩** 太原理工大学
	面向循环系统主动健康与康复工程的微流控芯片系统	**那景童** 大连理工大学
	上肢伸够运动中的肌肉协同收缩动态调节研究	**呼林涛** 重庆大学
	基于人 - 机 - 环智能越野马拉松救援系统	**叶　琳** 西安交通大学
	Evaluation of Perceptual Behaviors of Different Sensations for Coding Multiple Sensory Feedback in Hand Prosthesis	**张　洁** 上海交通大学
	Characterization of Bimanual Cyclical Tasks from Single-trial EEG-fNIRS Measurements	**江一川** 南方科技大学
	抑制上肢补偿运动的虚拟现实康复系统的设计	**肖博文** 重庆大学
	伸够运动中的上肢多自由度关节协同特征分析	**张　琳** 重庆大学
	基于 fNIRS 的长时程运动技能学习诱发的神经可塑性响应	**冯　帅** 重庆大学
	面向糖尿病足溃疡早期预警的两侧足底血流调节差异性研究	**段艺杰** 北京航空航天大学
	肌电评估：外部约束对单侧大腿截肢坐姿滑雪运动员伤病预防的影响	**刘凯奇** 清华大学
	神经肌肉电刺激诱发中指运动及其感觉运动皮层神经响应	**许陈莉** 重庆大学
	踝足矫形器人机耦合仿真刚度对步态生物力学影响的评价方法	**陈亚茹** 大连理工大学

S11

智慧医院与健康医疗大数据



主席：李劲松

2022年04月11日 08:30-17:40		
主持人：周毅、刘奇、田雨		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
08:30-08:40	开幕致辞	**李劲松** 浙江大学
特邀报告		
08:40-09:10	医学装备智能化发展与挑战	**王才有** 中国医院协会信息专业委员会
09:10-09:40	医学人工智能学科发展和眼科交叉创新人才培养	**林浩添** 中山大学中山眼科中心
09:40-10:10	学科交叉范式下的医学数据应用新实践	**梁会营** 广东省人民医院
10:10-10:20	**茶歇**	
10:20-10:50	医疗文本处理前沿进展	**汤步洲** 哈尔滨工业大学 (深圳)
10:50-11:20	老龄化科技应对的智慧医养模式与关键技术	**黄伟红** 中南大学湘雅医院
11:20-11:50	互联网 + 全病程管理与数字疗法	**应　莉** 微脉医疗
11:50-12:00	智慧医院院内管理探索	**马建聪** 国药控股广州有限公司
12:00-13:30	**午餐**	

青年优秀论文 - 青年学者口头报告		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
13:30-13:40	Dual-Task Motor Performance of the Upper Extremity Using Video Processing: Toward Tele-Assessment of Cognitive Function	**王昌宏** 中山大学
13:40-13:50	基于 PU Learning 的表型挖掘技术识别肺癌复发患者	**池胜强** 之江实验室
13:50-14:00	基于医学社交媒体数据的多模态知识图谱构建	**王华琼** 浙江传媒学院
14:00-14:10	伏立康唑肝毒性预测模型——基于真实世界的研究	**王　昱** 之江实验室
14:10-14:20	基层卫生器材小修及维护保养系统的设计研究	**袁　田** 药品仪器监督检验站
14:20-14:30	基于电子病历数据的伏立康唑肝毒性表型挖掘	**王宇清** 之江实验室
青年优秀论文 - 研究生口头报告		
14:30-14:40	基于任务分解策略的发热待查辅助鉴别诊断研究	**王执晓** 浙江大学
14:40-14:50	Multimodal Neuroimaging Reveals Aberrant Trajectory of Brain Age Occurring at Youth in Schizophrenic Patients	**黄家源** 华南理工大学
14:50-15:00	面向 OMOP CDM 的医疗数据规整与质量控制系统	**李润泽** 浙江大学
15:00-15:10	基于云 - 边 - 端架构的多中心医疗设备物联网云平台的构建及应用	**王瑞青** 中国人民解放军总医院
15:10-15:20	肺介电性质模型研究	**傅再扬** 浙江大学
15:20-15:30	便携式远程多参数监护仪的研制	**黄　惠** 深圳大学
15:30-15:40	**茶歇**	

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
15:40-15:50	新疆南疆四地州乙肝发病率时间趋势：年龄 - 时期 - 队列分析	**姬卫东** 中山大学
15:50-16:00	面向肝癌微坏死评估的弱监督深度学习交互工具	**叶前呈** 浙江大学
16:00-16:10	肝硬化专病数据库建设与应用研究	**刘迷迷** 中山大学
16:10-16:20	一种无标签胰腺影像的迁移学习分割方法	**朱　琰** 浙江大学
16:20-16:30	基于独立循环神经网络改进残差架构的癫痫脑电分类研究	**王　瑶** 中山大学
16:30-16:40	便携式无线心电采集系统开发	**林高藏** 深圳大学
16:40-16:50	基于推理子图的医学知识图谱实体预测方法研究	**刘强华** 浙江大学
16:50-17:00	基于 ANN+SVM 的癫痫脑电检测分类研究	**石雨菲** 中山大学
17:00-17:10	基于深度学习的多通道脑电癫痫发作实时检测研究	**冯毓琅** 浙江大学
17:10-17:20	可穿戴无线体温实时采集系统	**刘梓晨** 深圳大学
摘要快闪		
17:20-17:25	A Deep Learning Method for Atrial Fibrillation Detection from Paper-based ECG	**殷东明** 安徽心之声医疗科技有限公司
17:25-17:30	基于 U-Net 的超声乳腺肿瘤分割网络	**陈　曦** 四川大学
17:30-17:35	基于多通道循环神经单元的生物信号无损压缩技术	**吴文琪** 浙江大学
17:35-17:40	护理大数据在临床实践中的应用进展与启示	**李　靖** 中南大学湘雅医院

生物力学与人类健康（一）

S12



主席：陈维毅



主席：王丽珍

2022年4月11日 8:30-17:20		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
主持：陈维毅　王丽珍		
8:30-9:00	生物力学与医疗技术及器械创新 （特邀报告）	**樊瑜波** 北京航空航天大学
9:00-9:30	生物医用材料表面工程及其与细胞相互作用（特邀报告）	**蔡开勇** 重庆大学
9:30-9:50	软骨的生物力学与力学生物学相关研究	**张春秋** 天津理工大学
9:50-10:10	动态力学微环境调控纤维化进展的体外模型构建与机制研究	**徐　峰** 西安交通大学
10:10-10:30	整合素循环黏附通过骨架重组动力学过程介导干细胞分化的力学生物学机制	**林　敏** 西安交通大学
10:30-10:50	肝血窦内血流及白细胞迁移动力学的数值模拟与分析	**吕守芹** 中科院力学所
10:50-11:10	肿瘤细胞硬度调控致瘤及转移能力	**谭又华** 香港理工大学
11:10-11:30	鼻腔结构的变化对 NO 浓度分布的影响的生物力学研究	**于　申** 大连理工大学
11:30-11:50	视乳头生物力学：睫状肌收缩与视乳头变形	**王晓飞** 北京航空航天大学

主持：林敏　吕守芹		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
13:30-13:50	液体流动参与下的关节软骨损伤机制	**武晓刚** 太原理工大学
13:50-14:10	不同健康状态下骨小梁高分辨率动态力学性能的研究	**张作启** 武汉大学
14:10-14:30	Controlled mechanical loading ameliorates negative side effects of long-term medications in bone	**刘　超** 南方科技大学
14:30-14:50	短跑直道途中跑技术的生物力学原理	**范毅方** 福建师范大学
14:50-15:10	α- 突触核蛋白聚集及其与磷脂膜相互作用的分子调控机理研究	**李德昌** 浙江大学
15:10-15:30	皮肤类器官自组装过程中的形态相变	**雷明星** 重庆大学
15:30-15:50	基于生物力学原理的血管无创检测和仿生构建	**刘　肖** 北京航空航天大学
15:50-16:00	力敏感离子通道 Piezo1 分布与活性的力学调控及其与细胞转化态的关系	**姚明曦** 南方科技大学
16:00-16:10	核蛋白 Lap2β 传递力学信号入核直接激活基因表达依赖染色质的拉伸而非压缩	**陈俊威** 华中科技大学
16:10-16:20	矿化胶原纤维束的结构与断裂力学性质的关系	**安兵兵** 上海大学
16:20-16:30	微多孔结构对个性化口腔种植体影响的生物力学研究	**郑玲玲** 北京航空航天大学
16:30-16:40	前交叉韧带重建术中移植韧带尺寸选择的生物力学研究	**王慧枝** 上海交通大学
16:40-16:50	An Artificial PVA-BC Composite That Mimics the Biomechanics and Structure of the Natural Intervertebral Disc	**杨梦颖** 清华大学
16:50-17:00	单髁膝关节假体各种安装角度下的有限元分析	**赵鸣昕** 太原理工大学
17:00-17:10	螺孔非对称的解剖型万向锁定加压骨板的失效分析	**张宁泽** 北京航空航天大学
17:10-17:20	基于病人特异性模型的经导管主动脉瓣置换术的生物力学研究—球扩式介入瓣膜与自膨式介入瓣膜的对比	**黎健明** 复旦大学

生物力学与人类健康（二）



主席：陈维毅



主席：王丽珍

2022年4月11日 19:30-21:10		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
主持：王丽珍　李晓娜		
青年学者优秀论文评比		
19:30-19:40	Aligned Collagen Fiber Network and Mechanical Stretching Synergistically Drive Enhanced Myogenesis	**马玉菲** 西安交通大学
19:40-19:50	胸主动脉植入覆膜支架的生物力学影响	**乔永辉** 浙江大学
19:50-20:00	基于 HR-pQCT 在体胫骨小梁骨密度、结构与力学局部特异性分析	**杜　娟** 天津大学
研究生优秀论文评比		
20:00-20:10	基于计算流体力学的单侧狭窄冠脉内血流流场的数值模拟	**高　航** 内蒙古工业大学
20:10-20:20	镍钛合金下肢动脉支架在多种载荷下的疲劳特性和寿命预测	**张海潞** 内蒙古工业大学
20:20-20:30	髂静脉狭窄解剖结构对血流动力学的影响机制	**李长胜** 内蒙古工业大学
20:30-20:40	新型射频肠道焊接电极的设计与实验研究	**胡钟欣** 上海理工大学
20:40-20:50	Effect of Lumbar Muscle Atrophy on the Mechanical Loading Change on Lumbar Intervertebral Discs	**覃　兵** 南京航空航天大学
20:50-21:00	颈总动脉和椎动脉开口处血流动力学特性流固耦合分析	**赵洪明** 内蒙古民族大学
21:00-21:10	Mechanical loading alleviated the inhibition of β2-adrenergic receptor agonist terbutaline on bone regeneration	**王紫嫣** 南方科技大学

S13

治疗计划、导航与机器人辅助



主席：田　伟



主席：廖洪恩

2022年4月11日 08:30-15:45		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
08:30-10:00　特邀报告与学术报告　主持：廖洪恩		
08:30-08:35	分会场致辞	
08:35-09:05	特邀报告 手术机器人技术趋势与产业前景	**张送根** 北京天智航医疗科技股份有限公司
09:05-09:35	特邀报告 面向计算机辅助诊疗的无监督跨模态医学图像分割技术	**郑国焱** 上海交通大学
09:35-10:00	学术报告 经尿道前列腺切除手术机器人	**王君臣** 北京航空航天大学
10:00-10:15	**茶歇**	
10:15-11:45　青年论文竞赛（研究生）　主持：王君臣 （每人 15 分钟：12 分钟口头报告，3 分钟专家点评与现场提问）		
10:15-10:30	基于极少监督信息的颅内生殖细胞肿瘤放疗靶区自动勾画方法（ID: 772）	**王先玉** 清华大学
10:30-10:45	磁声耦合的电流分布与声场测量机器人设计（ID: 1168）	**王玉恒** 中国医学科学院生物医学工程研究所
10:45-11:00	基于 AI 的超声图像引导手术机器人系统研究（ID: 1473）	**吴　旭** 清华大学深圳国际研究生院
11:00-11:15	面向微创器械应用的新型气动柔性机器人系统（ID: 1582）	**陈佳琦** 清华大学

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
11:15-11:30	Development of an Ultrasound Image and Mixed reality Guided Surgical Navigation System with Continuous Soft Tissue Deformation Tracking（ID: 2038）	**涂朴勋** 上海交通大学
11:30-11:45	An Automatic Mandible Segmentation Network for Mandibular Reconstruction Based on Feature Optimization, Multi-Scale Search and Edge Supervision（ID: 2114）	**许江长** 上海交通大学
13:30-15:15　青年论文竞赛（青年学者）　主持：陈芳 （每人 15 分钟：12 分钟口头报告，3 分钟专家点评与现场提问）		
13:30-13:45	3D 打印技术辅助粒子精准植入治疗头颈部肿瘤的研究（ID: 634）	**梁晗格日** 内蒙古医科大学
13:45-14:00	基于高精度立体光学定位的机械臂手眼标定方法（ID: 871）	**刘积昊** 上海交通大学
14:00-14:15	基于强化学习的多自由度智能三维超声重建机器人系统（ID: 902）	**宁国琛** 清华大学
14:15-14:30	视觉模型与神经网络融合下的神经外科机器人手术场景理解（ID: 1407）	**李　亮** 南京医科大学
14:30-14:45	基于 U-net 网络的脑肿瘤光相干断层成像三维分割量化研究（ID: 1426）	**范应威** 北京理工大学
14:45-15:00	基于视点交互和裸眼三维显示的增强现实远程手术导航（ID: 1517）	**黄天琪** 清华大学
15:00-15:15	Task-autonomy Medical Robot for Both Incision Stapling and Staples Removal（ID: 1743）	**苏柏泉** 北京邮电大学
15:15-15:35	**茶歇**	
15:35-15:45	**专家点评**	

S14

纳米医学与工程



主席：常　津



主席：郑海荣

2022年4月11日　08:45-17:15		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
08:45-09:00	领导讲话	**常　津、郑海荣**
09:00-09:30	生理响应性递药系统	**顾　臻** 浙江大学
09:30-10:00	光学纳米探针的研发及临床转化	**程　震** 中国科学院上海药物研究所
10:00-10:20	**茶歇**	
10:20-10:35	仿生纳米药物递送载体系统的设计及性能研究	**刘　刚** 厦门大学
10:35-10:50	NPY 介导的纳米诊断治疗学	**吴爱国** 中国科学院宁波材料技术与工程研究所
10:50-11:05	可视化代谢分子边界导航胶质瘤手术	**李　聪** 复旦大学
11:05-11:20	小尺寸引出新效应：雄黄纳米晶对白血病的诱导分化治疗作用研究	**许海燕** 中国医学科学院基础医学研究所
11:20-11:35	新型半导体化合物纳米光热材料的研制及其在癌症诊疗上的应用探索	**胡俊青** 深圳技术大学
11:35-11:50	近红外二区成像技术进展与成像信噪比优化方法	**艾中凯** 上海恒光智影医疗科技有限公司
12:00-13:45	**午餐**	

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
13:45-14:00	微纳生物机器人的智能诊疗系统	**蔡林涛** 中国科学院深圳先进技术研究院
14:00-14:15	铁基纳米酶及诊疗应用	**张　宇** 东南大学
14:15-14:30	生物医用光学功能材料	**丁　丹** 南开大学
14:30-14:45	纳米放疗增敏剂研究	**刘鉴峰** 中国医学科学院放射医学研究所
14:45-15:00	原子精度团簇酶的构建及其对神经炎症的调控	**张晓东** 天津大学
15:00-15:20	**茶歇**	
15:20-15:30	纳米光遗传工程菌的生物医学应用	**王汉杰** 天津大学
15:30-15:40	肿瘤微环境特异性的 RNAi 技术	**吴玫颖** 中山大学
15:40-15:50	近红外光诊疗纳米探针与活体生物医学应用	**齐　迹** 南开大学
15:50-16:00	基于免疫细胞膜的仿生纳米材料用于肿瘤免疫治疗	**龚　萍** 中国科学院深圳先进技术研究院
16:00-16:10	智能多肽自组装纳米材料用于癌症诊疗	**张　路** 南方科技大学
16:10-16:20	铁基磁共振探针构建及其在疾病诊疗中的应用	**王志勇** 中山大学
16:20-16:30	基于 3,4- 丙二氧基噻吩给体单元的近红外二区分子染料的开发及成像应用	**刘春晨** 南方科技大学
16:30-16:40	自噬策略在肿瘤及纤维化疾病治疗中的探索	**李　楠** 天津大学
16:40-16:50	仿生纳米聚集体用于肿瘤诊疗研究	**张鹏飞** 中国科学院深圳先进技术研究院

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
16:50-17:15	**青年论文评选**	
16:50-16:55	Killing Seven Birds with One Stone: Oral Nanotherapeutics Based on Antheraea pernyi Silk Fibroin for Effective Treatment of Ulcerative Colitis	**肖　波** 西南大学
16:55-17:00	Self-assembly dual-responsive NO donor nanoparticles for effective cancer therapy	**顾国龙** 盐城师范学院
17:00-17:05	Tumor-Specific Activatable Nanocarriers with Gas-Generation and Signal Amplification Capabilities for Tumor Theranostics	**漆　超** 重庆大学
17:05-17:10	Controlling pyridinium-zwitterionic ligand ratio on atomically precise gold nanoclusters allowing for eradicating Gram-positive drug-resistant bacteria and retaining biocompatibility	**庞泽阳** 南方科技大学
17:10-17:15	PEDOT:PSS/AuNPs 作为新型神经界面用于神经元的记录与训练	**徐世弘** 中国科学院空天信息创新研究院

医用生物材料与仿生材料

S15



主席：周长忍



主席：翁　杰

2022年4月11日　08:30-12:00		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
08:30-08:50	邀请报告：心血管植入介入器械现状及发展趋势研究	**奚廷斐** 北京大学
08:50-09:10	邀请报告：光响应生物材料的设计及应用研究	**钱海生** 安徽医科大学
09:10-09:20	钾离子荧光传感器	**田颜清** 南方科技大学
09:20-09:30	NIR 激活的自反馈型纳米胶束用于化学 - 光热治疗乳腺癌	**刘鉴峰** 中国医学科学院放射医学研究所
09:30-09:40	新型光控气体载体材料及其生物应用	**俞思明** 暨南大学生物医学工程系
09:40-09:50	纳米人工神经营养因子逆转酒精引起的神经损伤	**薛　雪** 南开大学
09:50-10:00	仿生整流纳米孔道的分子理论研究	**黄　恺** 深圳湾实验室
10:00-10:20	**茶歇**	
10:20-10:40	邀请报告：硼硅酸盐调控软硬组织再生与应用研究	**潘浩波** 中国科学院深圳先进技术研究院

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
10:40-11:00	邀请报告：生物材料研究与转化：兰度生物十年经验总结	**谭荣伟** 广东省医用高分子植入材料工程技术研究中心 深圳兰度生物材料有限公司
11:00-11:10	3D 生物打印多功能生物活性玻璃复合自愈合水凝胶仿生骨支架的研究	**朱　卉** 西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室
11:10-11:20	光聚合贻贝仿生 ε - 聚赖氨酸水凝胶的构建及感染创伤修复作用	**金义光** 军事科学院军事医学研究院辐射医学研究所
11:20-11:30	可注射多糖水凝胶的结构调控与生物医学应用	**陈　静** 中国科学院宁波材料技术与工程研究所
11:30-11:40	基于表界面行为的超疏血快速止血材料	**李　哲** 中山大学
11:40-11:50	An Artificial PVA-BC Composite That Mimics the Biomechanical Properties and Structure of the Natural Intervertebral Disc	**杨梦颖** 清华大学
11:50-12:00	青年优秀论文：含血红蛋白氧载体（HBOC）的新型器官保存液在心脏灌停、心肌保护及离体心脏保存中的应用	**游可为** 中国医学科学院 北京协和医学院输血研究所

组织工程与再生医学



主席：李宗金



主席：赵 强

2022年4月11日　08:25-17:35		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
08:25-08:30	主席致辞	**李宗金** 南开大学医学院
08:30-08:50	间充质干细胞来源的外泌体在缺血性疾病中的治疗应用	**李宗金** 南开大学医学院
08:50-09:10	多能干细胞在心血管疾病研究中的转化应用	**胡士军** 苏州大学心血管病研究所
09:10-09:30	在 NAFLD/NASH 中利用肠道类器官研究 MTL-GPRC6A 途径对 GLP-1，Neurotensin 的调控作用	**任培根** 深圳先进技术研究院
09:30-09:50	心血管祖细胞编程与心脏修复	**曹　楠** 中山大学中山医学院
09:50-10:05	**茶歇**	
10:05-10:20	生物材料调控微环境促进创面修复与组织再生	**邓　君** 陆军军医大学
10:20-10:35	一种新的用于心脏再生研究的动物模型	**叶霖财** 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心
10:35-10:50	Single cell spatiotemporal analysis reveals cell fates and functions of transplanted mesenchymal stromal cells during bone repair	**杨成遇** 南方科技大学
10:50-11:05	富集 miR-381 的微小胞外囊泡通过负性调控 TAOK1 诱导间充质干细胞促软骨再生的研究	**何晓敏** 上海交通大学医学院

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
11:05-11:20	组织特异性成体微血管模型	**王　栋** 青岛大学
11:20-11:30	静电纺丝纳米纤维用于组织损伤的修复	**薛佳佳** 北京化工大学
11:30-11:40	人多能干细胞衍生心肌细胞的分化和成熟	**杨静思** 苏州大学
11:40-11:50	一种可注射双功能水凝胶通过调节 ROS/NO 平衡治疗心肌缺血再灌注损伤	**郝　天** 南开大学
11:50-12:00	单细胞 RNA-Seq 揭示前列腺素 E2 介导肾脏再生的 Sox9+ 祖细胞动力学和谱系示踪	**陈　尚** 南开大学
12:00-13:30	**午餐**	
13:30-13:50	Nitrate-Functionalized biomaterals For cardiovascular regeneration	**赵　强** 南开大学
13:50-14:10	基因编辑技术的开发和应用	**荣知立** 南方医科大学
14:10-14:30	干细胞药物的单细胞质控研究	**张英驰** 中国医学科学院血液病医院（中国医学科学院血液学研究所）
14:30-14:50	用于慢加急肝衰竭的间充质干细胞药物研发	**韩之波** 天津昂赛细胞基因工程有限公司
14:50-15:05	**茶歇**	
15:05-15:20	Partially demineralized cortical bone with stem cell-derived matrix promotes proliferation, migration and differentiation of stem cells in vitro	**何树坤** 浙江大学附属第一医院
15:20-15:35	Efficacy Remission of Rats with Premature Ovarian Failure by Systemic hUC-MSC Administration	**张磊升** 汉氏联合 (天津) 干细胞研究院
15:35-15:45	一氧化氮在心脏瓣膜钙化中的作用研究	**王志红** 中国医学科学院生物医学工程研究所
15:45-15:55	3D 生物打印光固化软骨脱细胞基质多孔水凝胶构建工程化人耳形态软骨	**贾立涛** 中国医学科学院整形外科医院
15:55-16:05	具有仿生内皮功能的人工血管及体内再生研究	**卫永禛** 南开大学

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
16:05-16:15	抗氧化防黏附水凝胶促进辐射诱导皮肤损伤修复	**张嘉敏** 中国医学科学院放射医学研究所
16:15-16:25	工程化间充质干细胞控释一氧化氮治疗急性肾损伤	**黄皓琰** 南开大学
16:25-16:35	多层级有序纳米纤维支架结合光热触发可控释放用于皮肤创伤的修复	**张馨丹** 北京化工大学
16:35-16:45	少突胶质细胞内外舌同象限现象的一种物理解释 以及电场对髓鞘生长的引导作用	**刘永泓** 中国科学院深圳先进技术研究院
16:45-16:55	内嵌包封 NGF 的壳聚糖纳米颗粒的氧化细菌纤维素神经导管	**韦　昭** 东华大学
16:55-17:05	载 fucoidan 纳米纤维支架调控退变纤维环微环境促进纤维环组织修复	**于启帆** 苏州大学附属第一医院
17:05-17:15	各向异性拓扑结构上共培养雪旺细胞和内皮细胞协同调节背根神经节生长行为的研究	**郑田田** 南通大学
17:15-17:25	Injectable conductive gelatin methacrylate / oxidized dextran hydrogel encapsulating umbilical cord mesenchymal stem cells for myocardial infarction treatment	**朱　平** 广东省人民医院

S17

中医诊疗装备创新与发展



主席：杨华元



主席：张启明

2022年4月11日 13:30-17:30		
第一场 专家报告（1） 主持人：陆小左 刘堂义		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
13:30-13:45	医疗器械创新模式探索与实践	**程云章** 上海理工大学
13:45-14:00	中医器械研发与应用中的问题与解决对策	**陆小左** 天津中医药大学
14:00-14:15	穿戴式医疗助力中医药现代化与健康中国战略	**刘澄玉** 东南大学
14:15-14:30	中医诊疗设备及其标准化	**杨华元** 上海中医药大学
14:30-14:45	中医形态学	**张启明** 中国中医科学院
14:45-15:00	中医器械发展与展望	**董玉舒** 天津慧医谷科技有限公司
15:00-15:15	自限性疾病的科学基础	**刘承宜** 华南师范大学
第二场 专家报告（2） 主持人：张启明		
15:20-15:35	基于多通道卷积神经网络的糖尿病中医方剂预测模型研究	**文天才** 中国中医科学院中医药数据中心
15:35-15:50	肠道菌群在慢病防控中的地位可能具有优先重要性	**张成岗** 北京中医药大学
15:50-16:05	未病测评原理	**王义国** 中国中医科学院
16:05-16:20	The monomer compound 2-chloro-1,3-dimethoxy-5-methylbenzene extracted and isolated from Hericium erinaceus has pharmacological effects against Candida albicans	**张　倩** 深圳大学

16:20-16:35	Dexamethasone-Loaded Injectable In-situ Thermal Crosslinking Hydrogel for Physiochemical Stimulation of Acupoint to Suppress Pain in Sciatica Rats	**卫　弯** 上海中医药大学
第三场　青年优秀论文（学者）竞赛报告　主持人：　王义国　徐 刚 （16:40-17:30）		
16:40-16:50	Investigating Prescriptions and Mechanisms of acupuncture and moxibustion for premature ovarian failure: An Association Rule Mining and Network Analysis Study	**余泽芸** 宜宾市第一人民医院
16:50-17:00	基于高精度力传感技术的针刺手法力学特征定量研究	**崔　晗** 中国科学院深圳先进技术研究院
17:00-17:10	基于共词和可视化分析的 ISO/TC249 中医药国际标准挖掘	**胡远樟** 宜宾市第一人民医院
17:10-17:20	智能型水凝胶在中医学的应用与展望	**董国启** 上海中医药大学
17:20-17:30	人工智能技术在中医诊断领域应用述评	**王俊文** 中国中医科学院
17:30-17:40	罐疗的客观化研究与中医药国际化的关系	**符美虹** 上海中医药大学

S18

主动睡眠健康



主席：张　远



主席：王长明

2022年4月11日 08:30-12:00		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
08:30-08:35	主动睡眠健康分会场开幕致辞	**王广志** 清华大学
08:35-09:05	人工智能和大数据分析在远程睡眠医学中的应用	**韩　芳** 北京大学人民医院
09:05-09:35	主动健康 - 从理念到模式	**李祥晨** 国家体育总局体育科学研究所
09:35-09:45	**休息**	
09:45-10:00	基于多视图卷积神经网络的半监督睡眠分期	**刘虹梅** 西南大学
10:00-10:15	基于深度学习的睡眠自动分期训练数据重新分段方法	**申　岩** 大连理工大学
10:15-10:30	基于多层次神经网络的睡眠分期 -- 探究眼电信号中脑电成分对睡眠分期的影响	**朱航宇** 复旦大学
10:30-10:45	基于残差学习和多粒度特征融合的睡眠分期	**张　岩** 北京工业大学
10:45-11:00	一种利用多分支特征提取的单通道脑电睡眠分期方法	**张　炎** 云南大学
11:00-11:10	**休息**	
11:10-11:20	靶向刺激帕金森病患者 SNr 核团对其睡眠影响的初步研究	**关凌霄** 清华大学

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
11:20-11:30	Single-channel EEG-based sleep staging in obstructive sleep apnea using a class-balanced deep learning method	**李　凡** 大连理工大学
11:30-11:40	Connectivity dynamics mediates the association between chronotype and aggressive traits	**段慧敏** 西南大学
11:40-11:50	基于 LSTM-Ladder Network 的自动睡眠分期	**李瑞晨** 华东理工大学
11:50-12:00	鼾声数据分析	**蔡亮明** 福州大学

S19

血液净化工程创新论坛暨人工器官



主席：陈江华



主席：顾汉卿

2022年4月9日　08:30-12:00		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
08:30-08:35	开幕致辞	**陈江华** 浙江大学附属第一医院
第一时段　创新与转化		
08:35-09:00	血透通路临床工作的痛点与材料、器械创新（特邀演讲）	**刘杨东** 深圳大学附属华南医院
09:00-09:25	中国青年心血管医生原始创新及项目落地的探索（特邀演讲）	**潘文志** 复旦大学附属中山医院
09:25-09:30	心室辅助装置领域的发明专利分析 （口头报告）	**张　婷** 中国医学科学院医学信息研究所
09:30-09:50	讨论：如何促进医学工程创新与转化？	主持、讲者、嘉宾
第二时段　应用与研究		
09:50-10:15	自动化腹膜透析机的应用现状及进展（特邀演讲）	**张晓辉** 浙江大学附属第一医院
10:15-10:40	心脏超声辅助定位 TCC 导管尖端位置 （特邀演讲兼口头报告）	**高　民** 东南大学附属中大医院
10:40-10:45	基于人体冠状动脉芯片的动脉粥样硬化发病机制研究 （口头报告）	**赵　鹏** 重庆大学

第三时段　质控和培训		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
10:45-10:50	终末期肾病患者透析通路质控指标及疾病负担的初步调查（口头报告）	**刘炳岩** 中国医学科学院北京协和医院
10:50:-11:15	透析通路质量提高工程的探索 （特邀演讲）	**蒋　华** 浙江大学附属第一医院
11:15-11:40	透析通路医生的培训模式初探 （特邀演讲）	**胡　波** 暨南大学附属第一医院
11:40-12:00	讨论：如何做好透析通路的质控	主持、讲者、嘉宾

S20

类器官与器官芯片



主席：顾忠泽



主席：李向宁

2022年4月11日　08:30-17:30		
时间	**演讲题目**	**演讲者姓名和单位**
上午 08:30-12:30		
邀请报告		
08:30-08:45	细胞 (类器官) 力学芯片研究进展	**熊春阳** 北京大学
08:45-09:00	3D Human Glioblastoma Tumoroid as a Tool for Evaluating the Deep-Tumor Penetration and Synergistic Anticancer Therapy of a Cascade Nanoreactor	**吴锡龙** 海南大学
09:00-09:15	面向肝腺泡体外模型的微流体混匀器研究	**马　梁** 浙江大学
09:15-09:27	用于药理毒理评价的微流控器官芯片技术	**张秀莉** 苏州大学
09:27-09:39	肺器官芯片	**黄　棣** 太原理工大学
09:39-09:51	纳米结构表面与循环肿瘤细胞在肿瘤类器官的应用	**王鹏元** 瓯江实验室
09:51-10:03	分化可控的人类鼻粘膜类器官模型的建立	**李　刚** 南方医科大学南方医院
10:03-10:13	人体肺器官芯片用于检测新冠病毒和炎症反应	**陈早早** 东南大学
10:13-10:23	基于微流控内皮细胞培养模型的纳米颗粒入侵动力学过程研究	**薛春东** 大连理工大学

10:23-10:33	医学导管超浸润复合涂层的仿生构筑	**刘慈慧** 南京师范大学
10:33-10:43	新型成体微血管模型用于微血管芯片研究	**王　栋** 青岛大学
10:43-10:53	血管器官芯片中血流动力学微环境的精准构建	**李泳江** 大连理工大学
10:53-11:03	分岔式胚胎干细胞球发育模型	**陈柯洁** 大连理工大学
口头报告		
11:03-11:11	类器官传感器评价肺癌类器官药物敏感性的研究	**蒋得明** 浙江大学
优秀青年论文竞赛		
11:11-11:19	基于不同生物材料方法的体外癌症模型构建与机理研究	**刘熙秋** 华中科技大学同济医学院
11:19-11:27	构建炎症性肠病芯片研究两岐双歧杆菌的特异性治疗作用	**刘　鋆** 重庆大学
11:27-11:35	Using sodium alginate scaffolds and hepatoma cells to bioprint artificial liver constructs	**潘韦彤** 郑州大学第一附属医院
11:35-11:43	基于曲面微腔的细胞球灌流培养	**孙帮勇** 重庆大学
11:43-11:51	构建具有皮髓功能的肾上腺三维培养体系	**郭雅婕** 广西医科大学
11:51-11:59	基于大脑类器官研究病毒感染诱导的 AD 相关神经病理和老药新用的表型挽救	**赵　稳** 武汉大学基础医学院
11:59-12:07	生物工程化构建均一性、功能性的人源诱导多能干细胞来源的肝脏类器官	**徐晓冬** 武汉大学
12:07-12:15	基于 hiPSC 来源的中脑类器官模型研究七氟醚促进多巴胺能 神经元的提前分化	**尚　佳** 武汉大学基础医学院
12:15-12:23	基于高通量微孔阵列芯片构建均一性功能化的人源诱导多能干细胞来源的肝脏类器官	**江善青** 武汉大学医学部

时间	演讲题目	演讲者姓名和单位
下午 14:00-17:30　主持人：顾忠泽　谢维		
分会场特邀报告		
14:00-14:10	致辞	**骆清铭** 海南大学
14:10-14:40	组织工程再生医学创新与产品研发	**顾晓松** 南通大学
14:40-15:10	人体器官芯片	**顾忠泽** 东南大学
15:10-15:20	**茶歇**	
15:20-17:30	类器官与器官芯片分会成立大会及选举	

分论坛摘要

F01
青年学者论坛

分子影像探针设计、构建及临床转化研究

刘刚
厦门大学
Email：gangliu.cmitm@xmu.edu.cn

分子影像学为二十一世纪新兴交叉学科，在细胞分子水平实现生理病理变化的实时、无创、动态、活体成像，能更准确地诊断疾病和疗效评价。报告人 10 多年来一直紧紧围绕肿瘤精准诊疗关键科学和技术问题，在分子影像探针领域进行深入系统研究，设计了系列新型的高灵敏多模态分子影像探针，提高细胞 / 分子成像示踪监测的精确性；应用基因工程及原位组装技术制备了多功能生物医用载药体系，建立了基于仿生细胞分子定向锚定的肿瘤靶向药物递送系统和诊疗一体化新策略，首创超稳定药物均相混合精密仪器及相关新技术并应用于临床转化研究，为个体化医疗模式提供条件。

自供能电子医疗器件和电刺激治疗

李舟
中国科学院北京纳米能源与系统研究所 / 中国科学院大学
E-mail: zli@binn.cas.cn

电活动是人体生命活动的基础，调控电活动就可以改变细胞、组织和器官的兴奋和抑制状态，从而实现疾病的治疗。纳米发电机是一种可将低频机械能转换为电能的新型能源转换器件，并且因为器件结构多样、可柔性化、可纺织、可选择的材料多种多样、输出电压高等优点，获得了研究者的关注。我们通过纳米发电机将人体运动的机械能高效的转换为电能并给电刺激器件和生物传感器供电，构建自供能的电子医疗器件和医疗传感器，开展了较系统的研究工作。比如利用心跳发电，可驱动心脏起搏器长期工作，构建了能与人体共生的心脏起搏器，并首次在大动物实验中完成了提升心率和治疗心律失常的研究；构建了可降解自供能电刺激器件，用于调控神经细胞生长方向、增强心肌细胞间的电整合、促进成骨细胞增殖和分化、加速皮肤伤口愈合，而且在完成治疗过程以后器件可被机体完全吸收；还有可微创植入，生物相容性好的自驱动心血管生物传感器件的研究等。这些研究工作围绕自供能电子医疗器件和电刺激治疗，具有转化为临床使用的电子医疗器件和医疗传感器的重要潜力。

面向非侵入式脑 - 机接口的高精度脑电采集芯片：挑战与实现

陈铭易
上海交通大学
Email：mychen@sjtu.edu.cn

人类对于大脑的探索从未停止，近年来随着集成电路、超级计算机、成像设备等技术的突飞猛进，为探索大脑提供了种类更多、功能更为强大的工具，引发了脑神经科学研究的蓬勃发展。作为脑神经科学研究的重要领域，脑 - 机接口是 21 世纪的一项颠覆性技术，其研究成果将会对未来人类生产生活方式产生颠覆性影响。以德州仪器公司 ADS1299 为代表的脑电采集芯片被美国出口管制，亟需研制自主可控的国产化脑电采集芯片，以满足我国自主脑 - 机接口技术发展之需。脑 - 机接口从形态上可以分为侵入式和非侵入式两大类，其中非侵入式脑 - 机接口具有无创、便携、可穿戴等优势，然而面临信号微弱、噪声大、易受伪影干扰等问题，因此对脑电采集芯片带来诸多困难与挑战。报告人依托于上海交通大学团队，成功研制了国内首款面向非侵入式脑 - 机接口的八通道 24 位脑电采集芯片。芯片采用国产 0.18 m 标准 CMOS 工艺流片，测试性噪比达到 117dB，峰峰值输入噪声仅为 0.6 VPP，共模抑制比 112dB，有效位数高达 21 位。基于自主芯片的八通道脑电采集系统已完成 SSVEP 测试，八指令的在线准确率达到 90% 以上，与 ADS1299 达到相同水平，并成功实现对脑控无人车的控制。该成果标志着具有完全自主知识产权的国产化多通道脑电采集芯片与系统的首次实现。

基于神经网络结构搜索的时 - 空共变脑网络分析算法

邬霞
北京师范大学
Email：wuxia@bnu.edu.cn

大脑功能网络是人脑在静息状态或完成认知任务时，各个功能脑区相互作用、相互协调的拓扑结构，是揭示大脑机制的重要理论基础之一。如何构建认知任务特异性算法模型结构，实现对时 - 空共变脑功能网络的精确分析，是当前人工智能与脑科学融合领域面临的重要课题。神经网络结构搜索算法作为一种先进的脑启发框架，能够对深层算法模型结构进行搜索优化，实现针对特异性认知任务的算法结构构建。本报告面向时 - 空共变脑功能网络，介绍基于脑功能数据特点的系列神经网络结构搜索算法，以期双向推动面向脑功能网络的智能算法与大脑认知功能的深入研究。

高梯度弥散磁共振成像与脑结构的在体解析

范秋筠
天津大学
Email：fanqiuyun@tju.edu.cn

弥散磁共振成像通过探查水分子的弥散运动来获取组织的微观结构信息，是目前唯一的无创在体的全脑结构连接测量工具。磁场梯度强度对于提升弥散分辨率和图像信噪比至关重要。作为美国人脑连接组计划（Human Connectome Project, HCP）的核心成果之一，配备在脑连接组磁共振仪（the Connectome scanner）

上的梯度系统可获得 300mT/m 的磁场梯度，是迄今为止用于人类在体成像的最高梯度强度。报告围绕高磁场梯度强度下的弥散磁共振成像，介绍相关技术进展和领域发展动态。

智能医学图像处理

雷柏英
深圳大学
Email:leiby@su.edu.cn

智能医学图像处理是智能医疗的重要分支，也是医疗机构、科研、产业和政府共同关注的焦点。然而，医学图像具有“样本量小”、“特征维度高”、“特征表达性差”等局限性，增加了智能医学图像处理在临床应用的难度。本报告以医学图像为切入点，基于人工智能方法，重点介绍智能筛查、智能检测和智能诊断三个方向的研究工作。1）针对超声工作流程难以标准化、标准切面提取困难、不利于疾病筛查等问题，提出将传统特征和深度特征相结合的方法，构建超声图像质量评估、分割和识别的模型，提高超声筛查效率及检测效果。2）针对临床上疾病检测耗时费力、自动化程度低等问题，提出基于深度学习的高精度智能检测模型，实现对宫颈癌、黑色素瘤、眼科疾病等的临床辅助检测。3）针对大多数脑疾病临床诊断标准模糊、主观性强、患者特异性高、个体差异性大、数据维度高等难题，结合传统机器学习和深度学习的方法，通过时空约束和纵向分析等挖掘大脑的生物标记物，实现脑疾病智能诊断。

小鼠前庭功能检测方法

陈放怡
南方科技大学
Email：chenfy@sustech.edu.cn

近年来很多听觉相关的研究，包括毛细胞再生和基因治疗等，都采用了前庭器官作为靶标，因此对于小鼠前庭功能的检测需求迫切。目前小鼠前庭功能评价主要依靠检测一些运动功能相关行为，如旷场、转动棒和游泳等。这些行为前庭特异性不强，所以检测精度差。由于前庭和听觉的感受器都是毛细胞，而且前庭毛细胞再生和修复更容易调控。本报告将介绍一套基于眼动检测的，集成了前庭眼动反射（VOR）和偏竖轴旋转（OVAR）两种小鼠前庭功能测试方法的仪器系统。VOR 和 OVAR 能够分别对前庭的半规管和耳石系统功能分别量化，而且我们还设计了用于清醒状态小鼠的固定方法。采用 IDPN 造了前庭损伤小鼠模型，并采用这套系统对两种不同药物浓度的损伤进行了评价。

基于模型压缩的脑电情绪识别

李畅
合肥工业大学
Email：changli@hfut.edu.cn

近年来，深度学习方法在基于脑电的情绪识别研究中得到了广泛的关注。然而，深度学习方法有大量的参数，推理速度也很慢，在计算资源和存储资源有限的移动设备上，这个缺点更为明显。为了解决这个问题，

我们提出了一种简单而有效的二值胶囊网络（Bi-CapsNet），可以在移动设备上显著提高模型的推理速度和降低内存占用。在 Bi-CapsNet 中，我们将 32 位浮点型的权重和激活值二值化为 1 位，然后浮点运算被高效的位运算所取代，这将显著提高模型的计算速度。然而，在训练过程的反向传播中，二值化会导致梯度的不连续，因此，我们使用连续函数 tanh 来近似二值化过程。我们在脑电数据集 DEAP 和 DREAMER 对我们的模型进行了验证。在 DEAP 上，Bi-CapsNet 在 Valence、Arousal 和 Dominance 三个情绪维度上的准确率分别为 98.20%、98.38% 和 98.30%。在 DREAMER 上，Bi-CapsNet 在 Valence、Arousal 和 Dominance 三个情绪维度上的准确率分别为 94.52%、94.95% 和 94.81%。我们将 Bi-CapsNet 部署到了移动端设备上，在两个数据集上都实现了大约 5 倍的推理加速。

百年心电 -- 新技术、新趋势、新应用

刘澄玉

东南大学

Email：chengyu@seu.edu.cn

自 1903 年荷兰生理学家威廉 · 爱因托芬首次记录到心电图至今，心电研究及临床应用已经走过了近 120 年发展历程，先后出现了心电图机、心电 Holter、穿戴式心电等不同阶段应用。近年来，随着新的材料、信息、临床医学技术的发展，特别是大数据和 AI 技术的应用，心电研究焕发出新的生机，产生了一大批新技术、新趋势和新应用，大大拓展了心电分析范围，必将在健康中国战略中发挥重要作用。本报告系统回顾了心电技术发展历程，重点对心电技术未来的发展愿景提出了自己的展望和分析。

虚拟现实环境下人机交互的行为特征及神经响应

刘笑宇

北京航空航天大学生物与医学工程学院 / 北京市生物医学工程高精尖中心 / 生物力学与力生物学教育部重点实验室

Email：x.y.liu@buaa.edu.cn

虚拟现实（Virtual Reality, VR）技术通过构建具有沉浸感的虚拟世界，实现使用者与虚拟环境在视觉、听觉、触觉等多感觉上的双向交流。当前，虚拟现实在生物医学工程领域得到了广泛的应用，包括虚拟手术训练、手术仿真规划和虚拟康复等。尽管 VR 具有沉浸感、交互性和想象性三大优势，但它同真实的物理世界还是存在较大的差异。VR 环境提供的多感觉刺激是否会对人体的行为（包括运动和认知）活动和神经表征造成正面或负面的影响，对于设计虚拟场景、优化多感觉输入的权重是十分重要的。本报告将介绍课题组关于虚拟现实人机交互的相关工作，包括超沉浸环境下深度线索对神经振荡的调制；视觉 - 运动觉冲突下的感觉漂移以及虚拟导航任务下的认知能力筛查等。

Noninvasive optical monitoring and modulation in deep tissue: from bench to clinics

李婷
中国医学科学院生物医学工程研究所
Email：liting@bme.cams.cn

介绍报告人围绕深层人体组织光学无创检测与调控开展的从理论、技术、仪器集成和临床应用展开的系统性工作，包括光在体素化组织中传输的精准计算模型与软件、面向神经重症监护与康复的深层血氧血流检测技术与仪器化、创新应用范式与派生功能指标体系建设等。

ICU 的多模态监测及个性化治疗 : the past and the future

刘秀云
天津大学
Email：xiuyun_liu@tju.edu.cn

ICU 是一个瞬息万变的地方，患者需要全天候的实时监测和密切关注，也是设备齐全，监测指数繁多的科室，如何利用现代多模态监测技术，对 ICU 的患者实现精准个性化治疗，改善患者预后是临床科研工作者一直努力的方向。我们将与大家分享在脑创伤、脑积水、蛛网膜下腔出血、中风、心脏搭桥、脓毒症及缺氧缺血性脑病方面的一些初步研究工作，包括如何用多模态监测实现个性化最佳动脉压的评估、如何利用灌注实验实现脑积水病人的术前精准评价，如何利用颅内压波形的变化实现对脑血管收缩舒张的实时显示等。

医工协同助推医疗器械产业创新发展

赵鹏
国家高性能医疗器械创新中心
Email：wind_lenny@126.com

为加快补齐高端医疗装备短板，实现高端医疗装备自主可控。创新中心紧密围绕预防、诊断、治疗、康复等领域的需求，聚焦医学影像、体外诊断、先进治疗、植介入器械、生命体征监测、康复与健康信息等重点方向，着力打通原理和技术、关键材料、关键器件、系统和产品等研发和产业化链条。吸纳聚集医疗器械生产企业、高校院所、医疗机构、行业协会、学术团体、投资机构等，通过资源整合、优势互补和医工协同，促进行业研发供给、技术转移扩散、标准制定、人员培训、企业孵化和投融资，构建贯通创新链、产业链、资本链的医疗器械制造业创新生态系统，以期扎实推进医疗器械领域创新体系建设，提升我国高端医疗设备生产制造和整体产业水平。

大数据驱动下的健康医疗知识图谱建设

程龙龙
中国电子信息产业集团
Email：chenglonglong@cecdat.com

依托国家试点工程健康医疗大数据平台，通过知识建模、抽取、挖掘等技术学习医学专家诊断知识，基于知识图谱构建包含疾病、症状、治疗、部位等实体和关系在内的智能医学知识体系，开发以知识计算和逻辑推理为核心的智能医学计算引擎，为辅助诊疗、分诊导诊、健康咨询提等智能医学应用提供支撑。

脑机接口中的迁移学习

伍冬睿
华中科技大学
Email：drwu@hust.edu.cn

脑机接口是人脑与外部设备的直接交互通道。因为个体差异与脑电信号的非平稳性，脑机接口系统经常需要针对新用户或新任务进行个性化校准，费时费力。先进的机器学习算法可以帮助减少甚至完全消除校准，提高系统准确度和用户友好性。本报告将介绍无创脑机接口中迁移学习新进展，包括数据对齐方法、迁移学习的完整流程、及可保护源域用户数据隐私的假设迁移学习。

基于电生理检测的听觉功能评估与应用研究

陈世雄
中国科学院深圳先进技术研究院
Email：sx.chen@siat.ac.cn

听力损失是导致儿童聋哑的首要原因，也是困扰老年人健康的第二大问题。听力损失的早期检测可为后续治疗和康复提供重要依据。耳声发射（OAE）和听觉诱发电位（ABR）检测是临床广泛使用的无创听力损失早期检测方法，然而目前的检测方法仍存在信号失真、检测时间过长、对测试环境要求过高等问题。针对这个问题，本报告主要介绍基于扫频方法、新材料电极、非接触电极、主动屏蔽、自适应卡尔曼滤波等最新 OAE 和 ABR 检测技术，实现无失真、无约束的听力损失快速检测。

人类视觉专家知识的中枢表征研究

董明皓
西安电子科技大学
Email：dminghao@xidian.edu.cn

视觉专长（visual expertise）是指在特定领域视觉识别任务中的持续优异表现。视觉专长的获得归因于在特定领域长期积累的视觉经验，表现为广泛的神经活动，涉及视觉系统和多个自上而下的因素，如语义知识、注意力和任务相关性之间的功能交互。目前许多视觉专家模型被用来研究视觉专长的中枢神经机制，揭示了

与视觉专长有关的大脑网络的功能重组、分割和整合，但很少有研究阐明视觉专家经验如何调节静止状态下的全脑连接动态。本研究基于数据驱动的聚类方法进行功能连接分析探索与放射影像视觉识别经验有关的大脑功能连接模式的微妙变化，选择合适的聚类方法和聚类尺度将大脑按功能划分为子区用于后续的功能连接分析、用 Ledoit-Wolf 收缩估计法生成相关矩阵、用 Graphical Lasso 估计法生成逆协方差矩阵、用二者的残差矩阵进行组间差异分析。我们的研究结果显示：放射影像视觉经验可能伴随着负责感知的脑区之间、负责认知的脑区之间较高的功能同步性，认知功能之间较高的功能耦合，和感知和认知功能之间的功能解耦。.

运动皮层重复经颅磁刺激的脑电响应研究

邱爽
中国科学院自动化研究所
Email：shuang.qiu@ia.ac.cn

重复经颅磁刺激（Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, rTMS）康复技术被认为是一种有效的卒中运动功能康复治疗方法。但是，其神经康复机制仍不明确。因此，本研究对 rTMS 诱发的大脑响应进行局部 / 全局多维度解析，首先，提取了运动区低频 rTMS 刺激后的神经振荡特征，发现了 rTMS 引起的神经振荡活动呈现频率特异性和区域特异性；其次，构建了刺激前后多个时间点的静息脑网络，计算并比较脑功能网络特征参数，发现了低频 rTMS 作用于运动区后，同侧节点集聚系数显著降低，对侧运动区节点度显著增加，证明了运动区低频 rTMS 对大脑存在同侧抑制、对侧增强的作用，脑功能网络特征有望被用于 rTMS 的康复疗效评价中；再次，在脑电微状态方面，确定了与运动皮层 cTBS 的特异性神经响应状态是微状态 B，rTMS 刺激对微状态 B 具有长持续的抑制作用。这些研究结果不仅拓展了 rTMS 诱发的大脑响应机制，并且为推进 rTMS 的临床应用和康复评估提供了新的理论依据。

基于脑机智能相关技术的数字诊疗研究

文冬
北京科技大学人工智能研究院
Email：wencangdong@163.com

本报告将从脑机智能与数字诊疗两个角度介绍我们在“中国脑计划”领域的研究工作。其中，脑机智能角度包括智能神经信息处理、脑机接口及其范式、多模态智能脑机接口应用、脑机接口系统应用性能评价等方面的研究，属于“中国脑计划”的认知脑范畴；数字诊疗角度包括智能 VR 及其训练评估应用、健康医疗大数据管理平台与分析系统、专病大数据平台、中风监测平台、MoCA 认知评估系统等方面的研究，属于“中国脑计划”的保护脑范畴。期望本报告能引起我国相关领域人员的广泛关注，进而助推“中国脑计划”稳步向前发展。

F02
研产互联 擎动未来 迈进“十四五”的学科发展与产业融合论坛

《粤港澳大湾区——以制度创新推动医疗器械技术创新》

刘斌
国家药品监督管理局医疗器械技术审评检查大湾区分中心
Email：liubin@cmde.org.cn

医疗器械产业的创新发展对人民健康具有重要支撑作用。为鼓励医疗器械技术创新发展，促进医工结合，加速成果转化，本报告阐述了新发展理念和创新驱动发展战略、鼓励创新的相关政策制度及审评阶段具体举措，并从动力、物质基础、思维体系、良好成果评估等方面对医疗器械转化科学展开研究讨论，体现了“创新驱动、政策引领 、协同发展”的重要意义，为医疗器械研究转化提供参考。

报告进一步介绍了国家药品监督管理局医疗器械技术审评检查大湾区分中心建设和业务开展情况。作为落实中央部署、深化医疗器械审评审批制度改革鼓励医疗器械技术创新的重要制度创新，分中心立足新发展阶段，积极探索将审评重心向产品研发阶段前移的创新制度——从产品研发阶段提前介入，加快创新性医疗器械上市，助推医疗器械产业技术创新和高质量发展，满足人民对安全有效创新医疗器械的更高需求。

《心脑血管介入手术机器人系统技术——成果转化进程中的机遇和挑战》

郭书祥
北京理工大学
Email：guoshuxiang@bit.edu.cn

近年，手术机器人技术快速发展，规范化的机器人平台成为医生的智能工具，应用于神经介入外科、心脏外科等复杂外科手术中，为患者带来极大福音。

心脑血管介入手术机器人突破人手极限，灵活智能，末端器械采用智能设计原理，充分考虑自由度、刚度和操作力等因素，更有高效主从控制算法、神经网络学习算法的加入，能为手术操作精度保驾护航，实现精准、直观、智能的控制。

本报告重点就心脑血管介入手术机器人技术和虚拟现实训练系统的开发现状，阐述心脑血管介入手术机器人的前沿理论和关键技术，分析介入手术机器人在医疗临床领域的广泛应用前景。最后就技术成果转化进程中遇到的困难，机遇和挑战，解决的经验、创新研发如何与产业结合、后期公司产业化运营如何取得效益等方面进行实例介绍。

《微纳米机器人——从细胞手术到细胞内部操作》

孙钰
加拿大多伦多大学
Email：yu.sun@utoronto.ca

对微纳米尺度的物体（如细胞和纳米材料）进行精准操控对于变革机器人手术、疾病诊断和精密制造等行业至关重要；同时，为推动生物、医学和材料科学等学科的进展提供重要的技术手段。微纳米机器人的研究涉及精密机器人设计、构建、操控，这个领域在过去的 20 年里实现了飞跃发展，体现在精密装备、传感、驱动和控制等各个方面。本次报告将介绍机器人微操作技术的发展历程和最新进展、以及该领域面临的机遇和挑战；讨论机器人细胞操作系统在临床手术、药物筛选等领域的应用；探讨如何实现亚微米级位置控制与亚纳牛顿级力控制进行细胞内和生物组织内的精准操作与测量。

F03
BME 教育论坛

中国生物医学工程教育现状及展望

骆清铭
海南大学
Email：qluo@hainanu.edu.cn

生物医学工程本科教育是国家生物医学工程发展水平和发展潜力的重要标志，是生物医学工程行业领域各类人才的主要来源，是生物医学工程高层次人才培养的重要基础。立足四个“面向”，积极应变、主动求变，加快建设高水平生物医学工程本科教育，全面提高生物医学工程人才培养能力，造就堪当民族复兴大任的时代新人。本报告主要介绍：生物医学工程行业领域发展状况；生物医学工程专业设置、学科建设、一流专业建设；生物医学工程教育存在的问题以及展望。

科学与技术、工程与医学、创新与转化”三融合一贯通高端人才培养改革实践

顾忠泽
东南大学
Email：gu@seu.edu.cn

生物医学工程是全面践行“四个面向”的前沿交叉学科，所支撑的医疗器械产业是健康中国的基石，而当前的创新型、复合型高端人才培养过程中普遍存在着自然科学与工程技术知识体系彼此独立，工程技术与生物医学教学模式相对分离，技术创新和医学转化实践环境相互脱节的现象。针对上述问题，东南大学以创设本硕连读七年一贯制培养模式为起始，在学科大概念统领下，从知识融合、知行融汇、平台融贯三方面，系统构建“科学与技术、工程与医学、创新与转化”三融合、本硕博一贯通高端人才培养体系，实现“学为中心、知行合一、融贯创新”之人才培养核心要素的有机互动，全面提升创新型、复合型高端人才培养质量。

医工深度融合 提高核心能力——BME专业课程的改革与实践

李德玉
北京航空航天大学
Email：deyuli@buaa.edu.cn

作为新工科、新医科建设的探索，北京航空航天大学生物医学工程专业设立以“培养具有深厚理工功底的医学科学家和具有扎实医学基础的生物医学卓越工程师”为人才培养目标的医工交叉试验班，实施以医工深度融合为途径，以提升专业核心能力为目的的专业核心课程改革。报告主要内容包括：以由循环系统医学

与工程、肌骨系统医学与工程及神经系统医学与工程等三门专业核心课程构成的融合课课程群改革的具体做法，介绍以重要生理系统为依托，按照基础理论联系医学实际、定量分析强化医学概念、工程设计面向临床应用、新原理新技术推动医学发展的思路，实现工程科学同医学深度融合的课程内容选择原则、教学实施方法以及教学实践的结果。

BME交叉创新人才培养探索

王广志
清华大学
Email: wgz-dea@tsinghua.edu.cn

现代科技的发展使我们对物质科学和生命现象的认识不断加深，在各个尺度上极大地提高了对健康问题与疾病发生发展规律的认识，并促进了创新医疗器械和创新性的诊断治疗方法的发展。为进一步提升维护人类健康的水平，解决医学中精准诊疗的问题，迫切需要有一批能够在生命健康与物质科学、工程技术的交叉领域开展研究，能够深入理解生命健康领域问题和规律，在物质科学技术领域具有充分的研究能力与技术发展能力的交叉创新型人才。同时，科技发展给学习方式和教育教学方式也带来了新的变化和挑战。近年来我们通过培养方案的改革，课程内容的调整，探索如何激发学生学习和创新探索的活力。报告将分享我们对创新人才培养的一些思考和做法，与大家交流和讨论。

突出行业特色的“平行课堂”新工科人才创意创新创业能力培养模式探索与实践 *

李勤
北京理工大学
Email：liqin@bit.edu.cn

在当前大类培养与专业素质训练提升的大背景下，着力提升学生的创意思维、创新精神、创业意识和创新创业能力（“四创”能力）尤为重要，对课堂教学内容之外的“平行课堂”非规范化环节进行体系化设计，是提升“四创”能力的重要抓手。结合北京理工大学的书院制改革与大类招生和大类培养，侧重学生创新意识的先导性培育，依托生物医学工程专业所在的“求是书院”开展从大一到大四的系统性创新实践结构设计与实施。将“平行课堂”的训练纳入工科专业培养目标和毕业要求的支撑内容，成为提高学生创新意识、培养创新创业能力的新机制。将“平行课堂”培养体系的构建与行业特色紧密相连，形成高校教师、企业导师、行业专家联动的人才培养新模式，使学生的创新创业能力得到根本改善，形成可推广的、具有引领示范效果的培养新路径和新范式。

*：此项工作被列为新工科综合改革类项目（项目编号：E-CXCYYR20200904）

生物医学工程专业虚拟教研室建设

陆祖宏
东南大学
zhlu@seu.edu.cn

经过 40 多年的发展，我国已有 160 多所高校建立了生物医学工程专业。生物医学工程是一个专业涵盖面大、多学科融合的一级学科，不同学校生物医学工程专业的内涵特色具有较大的差异。生物医学工程专业的课程门类多、体系杂，学科发展快，持续开展专业建设研究十分必要。为了充分发挥互联网技术的优势，教育部启动了虚拟教研室的建设，开展新型专业建设研究模式的探索。由东南大学牵头的生物医学工程专业虚拟教研室被列为首批试点项目。生物医学工程虚拟教研室的建设思路将以立德树人为根本，以教指委《生物医学工程类专业本科教学质量国家标准》为依据，结合工程教育专业认证工作，建设一个国内多校联合的生物医学工程专业建设的线上教学研究平台。该平台将集课程建设、教材编著、工程实践、教学研究、质量评估和教师培训等功能于一体，为我国生物医学工程专业创新人才培养体系建设探索一种运行高效，资源共享的研究模式。该虚拟教研室的建设内容拟包括组织构架和运行制度建设、专业思政教学模式研究、多学科融合的基础教学课程体系研究、具有工程特色的模块化专业课程群研究、校企联合的工程实践教育范式和标准建设、青年教师培训创新模式平台建设、基于实证的教学评价体系的研究和实践等。本报告将主要介绍生物医学工程专业虚拟教研室的建设思路和初步方案，并通过研讨进一步改进和完善建设方案，争取在三年内建设成一个可及性强、覆盖面广、参与度高、能够服务于我国不同类型高校生物医学工程专业建设和教学质量评估的研究网络平台，初步建成能够服务于生物医学工程创新人才规范培养的共享共建专业教研资源库。

关键词：专业建设；虚拟教研室；生物医学工程；教学质量评估；创新人才培养

生物医学工程专业认证及基于 OBE 的培养体系建设

童善保
上海交通大学
stong@sjtu.edu.cn

上海交通大学生物医学工程专业于2018年正式通过了国际工程教育专家的现场考察和认证。 本报告将结合上海交通交通大学生物医学工程专业的工程认证工作，介绍工程认证相关的准备工作，包括如何建立基于产出的培养体系和评价体系，从培养目标，课程体系， 课程大纲，产出评价，以及相关的教学管理和支持体系等。

面向工程认证的生物医学工程实验教学模式探索

汪天富
深圳大学
tfwang@szu.edu.cn

新工科对生物医学工程专业提出了更高的要求，希望能够培养出具有深厚专业背景知识、工程实践能力强、适应产业发展需求的创新性人才。深圳大学地处汇聚着大批综合性高科技医疗器械企业的粤港澳大湾区，对专业人才需求巨大。然而企业招聘合适的专业人才非常困难，同时反馈应届毕业生工程能力、规范意识和专业能力薄弱等问题。深圳大学从 2011 年开始，积极探索生物医学工程人才培养模式，初步构建了一套比较完整的以教学仪器、教材、教学视频“三位一体”为指导思想的实验教学模式。这套教学模式完全符合工程

教育认证要求，以学生为中心，以持续改进为目标，以完整的面向实践的课程体系为主线，培养学生解决复杂工程问题的能力。

开放式暑期学校经验分享

深圳技术大学

康雁

kangyan@bmie.neu.edu.cn

经过四十年的持续努力，深圳已经成为我国医疗器械产业的重要基地。深圳技术大学是广东省和深圳市共同建设的国际化、示范性应用技术大学。2018 年成立以来，借鉴和引进德国、瑞士等发达国家办学经验，秉承支撑产业发展，促进产教融合的规模化人才培养模式，快速建设形成鲜明的技术大学特色。本次举办面向全国生物医学工程相关学科学生的“智能医疗器械创新核心能力暑期学校”，旨在发挥领域优秀资源，帮助即将进入研究生阶段学习的学生夯实基础，提升核心能力，探索医疗器械行业产教融合人才培养的有效教学模式。

智能医疗器械产业涉及的学科较多，目前研究生培养过程中面临诸多问题：（1）研究生生源复杂多样，部分研究生没有学习过该领域的部分核心课程，严重影响研究生阶段的培养质量；（2）学生对智能医学学科定位、学习内容、行业情况了解不足，影响学习兴趣和学习效果；（3）学生对该领域产学研各环节创新所需要的心理和智力能力了解不足。针对以上这些问题，在广东省生物医学工程类教指委和深圳市生物医学工程学会的指导下，在 7 月 18 日到 24 日举办为期一周的“智能医学核心能力暑期学校”。期间获得的经验和启迪，对探索新形势下生物医学工程的产教融合教学模式有非常重要的意义。

F06
第三届 BME 她论坛

自组装型树形分子药物递送系统的设计

刘潇璇
中国药科大学药物科学研究院
Email：xiaoxuanliu@cpu.edu.cn

纳米药物递送系统在提高疾病诊疗有效性和特异性方面具有广阔的应用前景。在众多的纳米材料中，树形分子因其具有独特的树枝状分子结构以及多价协同作用等特性在药物递送方面展现出独特的潜力。近年来，我们课题组开发了一系列基于自组装技术构建的超分子树形分子，它们成功的结合了脂质载体和树形分子载体的优势，在递送核酸、小分子抗癌药物和分子造影剂等方面有着不俗的表现，是一类极具潜力的药物递送体系。

雄黄纳米晶对急性髓细胞白血病诱导分化治疗作用研究

孟洁
中国医学科学院基础医学研究所
Email：mengjie@ibms.pumc.edu.cn

急性髓系白血病（Acute myeloid leukemia, AML）是一类急性造血祖细胞恶性克隆性疾病，主要特点是髓系祖细胞恶性增殖和多系分化受阻。雄黄是我国传统中药，主要成分是 As_4S_4，已应用于 AML 的临床治疗中，取得了一定的治疗效果。但是，雄黄是一种矿物药，水溶解和分散性差，生物利用度很低，必须大剂量服用才能有效。本实验室前期利用热熔挤出技术制备得到了一种雄黄纳米晶剂型，使雄黄平均粒径从 28.9 μm 降低到 470 nm，大大提高了雄黄的水分散性和生物利用度。研究结果显示：与雄黄原粉相比，雄黄纳米晶对多种白血病细胞的杀伤效率显著升高。雄黄纳米晶可以显著降低胞内 ROS 水平，并具有剂量依赖性；直接抑制组蛋白去乙酰化酶 HDAC 活性并激活组蛋白乙酰化过程，促进白血病细胞分化关键调控转录因子 RUNX1 和 PU.1 基因的表达，使 AML 细胞向巨系、粒系和红系分化并伴随着细胞凋亡。难治性白血病小鼠给予口服雄黄纳米晶治疗后，其生存期显著延长，外周血中的白细胞数降低，红细胞数升高，动物外周血血象明显改善。雄黄纳米晶体内铜鼓促进骨髓中白血病细胞多系分化和凋亡实现其抗白血病治疗作用。健康小鼠多次重复给予雄黄纳米晶后，其造血系统没有出现明显的毒性作用。以上研究结果显示雄黄纳米晶可以通过促多系分化作用发挥抗白血病功效，有望发展为一种新的临床补充药物。

活血化瘀中药的生物力药理学研究

游云
中国中医科学院中药研究所
Email：yyou@icmm.ac.cn

根据中医理论，血瘀证是血液瘀滞在机体的一定部位的一种病理性改变；造成这种改变的原因很多，主要有气虚、气滞、寒凝、火热以及外伤、久病、衰老等。在临床上，血瘀证是一类内容非常广泛的疾病，涉及了内、外、妇、儿等各科，以及血液、循环、呼吸、泌尿、内分泌等多个系统。尽管血瘀证表现为多样性，但它们具有一个共同的特点，即血液在血脉中流动不畅，表现为血流动力学异常、微循环异常和血液凝固异常以及血栓形成等，这些均与血小板功能失调密切相关。血小板活化在生理止血以及病理血栓形成方面发挥着关键作用。抗血小板聚集的药物研究是当前研究的热点。但目前抗血小板药物疗法的最大挑战是病理性血小板反应与生理性血小板反应相互重叠，从而可能导致严重的出血风险。近年来研究发现，血流剪应力是血小板活化聚集的重要诱发因素之一。利用生理与病理血流力学环境的差异，针对剪应力通路敏感的抗血小板聚集是一个新的途径。三七总皂苷（PNS）临床多用于心脑血管疾病的防治。我们的研究表明，PNS 可抑制角叉菜胶诱导的大鼠尾部血栓形成，该效应与机体血流状态密切相关。通过检测 PNS 对高剪切诱导血小板聚集，血小板 Ca^{2+} 成像，PNS 对机械力离子通道蛋白（Piezo1），钙蛋白酶（Calpain2）及 Talin1 蛋白表达的影响，探索 PNS 抗剪切诱导血小板聚集的效应及机制。采用 Bioflux1000z 微流通道预先铺被胶原蛋白（模拟血管内皮损伤），血小板暴露于生理 (1000-2000s-1) 或病理剪切率 (4000-6000s-1) 条件下，血小板发生粘附聚集，聚集率与剪切率大小呈正相关；Piezo1 通道抑制剂（GsMTx-4）可显著抑制该聚集。剪应力促使血小板内 Ca^{2+} 浓度升高，GsMTx-4 可明显抑制血小板钙离子内流，Piezo1 通道激动剂（Yoda1）可增强血小板钙离子内流。这表明机械力离子通道 Piezo1 参与了剪切诱导血小板过程。我们采用临床相关浓度 (0.15g•L^{-1}) 的 PNS 治疗可有效抑制剪切诱导的 Ca^{2+} 内流和血小板聚集，但并未影响 vWF 介导的血小板粘附和滚动。剪应力对血小板 Calpain2 表达没有影响，但促使 Calpain2 介导的 talin1 蛋白裂解，这提示剪应力影响了 Calpain2 酶活性。对于剪切诱导的 Calpain-2 激活和 talin1 裂解，PNS 处理表现出较为明显的拮抗效应。本研究结果显示 PNS 通过靶向 Piezo1 通道来抑制剪切诱导的血小板聚集，进而阻止 Piezo1 介导的 Ca^{2+} 信号传导和下游 calpain-2 和 talin1 信号通路，维持血小板骨架的稳定性，减少其变形活化。从而为抗血小板药物开发提供新的研究方法与思路。

ROS 清除功能生物材料在心血管疾病治疗中的应用

杨菁
中国医学科学院生物医学工程研究所
Email：yangjing37@hotmail.com; yangjing@bme.cams.cn

心血管疾病是人类健康的第一杀手，我国约 45.2% 的人口患有心血管疾病，其中动脉粥样硬化（Atherosclerosis, AS）最为常见，病灶部位涉及脑、心脏、血管、下肢等。在 AS 病理条件下，机体产生过量 ROS，造成内皮氧化损伤及功能紊乱，最终导致 AS 斑块的形成。ROS 是 AS 这一慢性炎症性疾病的关键致病因素。有效清除病灶部位高浓度 ROS，改善病理微环境，对推进临床治疗 AS 疾病具有重要意义。针对高浓度 ROS 造成的 AS 恶劣病理微环境对药物 / 基因疗效影响的问题，课题组研制了具有 ROS 响应性和清除功能的材料，包括生物可降解聚酯类材料和金属多酚配位材料。ApoE 基因敲除小鼠体内应用具有 ROS 清除功能的生物材料为载体，显著改善了 AS 的治疗；下肢缺血动物模型体内使用这些材料，实现了稳定的治疗性血管生成。这些研究都提示了 ROS 的清除在心血管疾病治疗中的积极意义。

柔性电路在电子血管的应用

任宁
南方科技大学生物医学工程系
Email：renn@sustech.edu.cn

目前，心血管疾病是全球范围内导致死亡的首要原因。通过冠状动脉搭桥术进行的心血管疾病治疗，现有的小直径（<6 mm）组织工程血管（TEBV）尚未满足临床需求。大多数研究中所用的方法仅将 TEBV 用作提供机械支持的支架，其主要依赖于宿主组织的重塑过程，而在帮助新血管再生方面存在明显的局限性。迄今为止，现有研究均未取得令人满意的临床结果。具体而言，血流和 TEBV 之间复杂的相互作用通常会引起炎症反应，从而导致血栓形成、新内膜增生等问题。为此，新一代 TEBV 应该不仅能充当支架以提供机械支持，而且还能具备主动响应并与重塑过程相结合的能力，以便在植入后提供适应性治疗。利用聚合物（L-lactide-co-e-caprolactone）来封装液态金属，可以制备出具备良好弹性且可降解的电路环。我们以此开发了一种电子血管，该血管可以将具备生物弹性的电路环与三层血管细胞集成在一起，来仿生天然血管，该电子血管可通过电刺激改善促进血管内皮化过程，通过电穿孔技术将靶基因可控的递送到血管的特定部位发挥生物学功能。电子血管在血管系统中具有出色的生物相容性，在兔子模型植入后在 3 月内仍可显示出良好的通畅性。在不久的将来，通过血管组织 - 机器接口，电子血管将会是心血管系统中进行诊断和治疗的理想平台，实现个体化医疗。

基于 fMRI 脑功能信息的视知觉解码研究及进展

颜红梅
电子科技大学生命科学与技术学院
Email：hmyan@uestc.edu.cn

在大脑接收的外界信息中，视觉信息占 80% 以上，人类大脑皮层中约一半以上的区域与视觉认知及视觉信息处理相关。人类视觉系统具有高效、抗噪、鲁棒性、选择性和自适应性等特点，解读人脑视觉认知和信息加工机制一直是脑科学最具前沿和挑战性的方向。随着单 / 多细胞记录、内源性光学成像、脑电 (EEG) 和功能磁共振成像 (fMRI) 等技术的发展，人们对视觉神经元感受野结构、功能柱构筑、视觉皮层通路及脑功能网络等的认识越来越深入，视觉认知脑编码（Encoding）的奥秘正逐渐被揭开。随着脑编码机制的逐渐清晰和脑成像技术及模式识别方法的快速发展，科学家们开始逆向探索脑解码 (decoding) 问题：能否根据脑功能活动信号进行视知觉解码，即推算出大脑所知觉到的视觉信息内容，比如事物类别、具体图像样子、甚至大致行为事件等？本报告将就视知觉脑解码问题开展一些研究讨论与进展介绍。

多模态医学影像智能诊断

余锦华
复旦大学信息学院生物医学工程中心
Email：jhyu@fudan.edu.cn

精准医疗未来的长远目标是建立一个完善的数据知识体系，基于这个数据知识体系实施个体化预防和治疗。影像组学作为医疗与人工智能结合最热门也最成熟的应用场景之一，依托医学影像大数据与深度学习，通过挖掘医学影像中蕴含的高通量特征为个体化精准医疗的实现提供了新的突破口，有望缓解医疗资

源紧张、分布不均等社会问题。报告聚焦医疗影像大数据和人工智能研究中的关键技术瓶颈，即：数据来源、建模技术、临床应用三个方面展开系统介绍。医学影像的规范化重建，构建了多种医学影像的规范化深度学习模型，实现了多中心、多模态医学影像的规范化，从技术上为医学影像大数据挖掘的研究提供了高质量的数据来源。完善的影像组学建模系统，针对不同场景提出三套影像组学建模体系，即：经典影像组学体系、深度学习影像组学体系、稀疏表示影像组学体系。建立了涵盖诊断、预后、治疗全链条的影像组学模型。以脑胶质瘤为例，构建了鉴别诊断、病理分型、单基因预测、多基因联合预测、预后预测、基因异质性的手术导航的诊疗体系。

无标记多模态显微成像技术及生物医学应用

刘丽炜
深圳大学
Email：liulw@szu.edu.cn

光学显微成像技术是生物医学光子学领域研究的热点，在过去二十多年中，光学显微成像技术发展非常迅速，不断突破传统极限，并越来越多的用于亚细胞、细胞、组织及活体成像研究，为实时动态观察生命体系提供了独特视角，解决了“生物医学光子学”领域的许多关键科学问题。

我们课题组开展了多年的光学显微成像技术在生物医学的基础应用研究，内容涵盖了荧光寿命、双光子激发荧光、二次谐波、受激拉曼散射等显微成像技术，并实现了其在分子、细胞、组织、活体不同层次的光学显微成像表征。这些光学成像技术为肿瘤治疗过程中微环境的监测提供了强大的技术支持，借助成熟的光学显微成像技术可推进肿瘤治疗过程中微环境定性、定量分析的临床进程。本次报告主要介绍课题组近期开展的无标记多模态显微成像技术在肿瘤微环境成像的研究工作，包括肿瘤转移路径、辅助临床诊断等。

脑网络分析：方法及应用

李宝娟
空军军医大学（原第四军医大学）生物医学工程学院
Email：libjuan@163.com

目前，精神疾病本质是一种脑网络异常疾病这一观点已成为国际共识。课题组围绕脑网络分析这一主题开展了系列工作。提出了脑有效连接分析的随机动态因果模型。基于脑连接分析模型，课题组进一步对多种精神疾病如抑郁症、精神分裂症、孤独症等的神经机制进行了探索。最后，结合机器学习技术，构建了基于脑网络模式的疾病精确诊断及疗效预测模型。

基于科技情报视角的人工智能医疗器械发展

欧阳昭连
中国医学科学院医学信息研究所
Email：zoeouyang@163.com

目的：从全链条角度分析以人工智能为核心的新一轮信息技术在医疗器械领域的研究进展、应用场景和全球竞争态势，客观评价典型国家创新能力，支撑领域发展与行业决策。

方法：运用科技情报领域科学计量学、聚类分析与可视化等方法，从国家规划布局、论文、专利、临床试验和产品产业入手，依次深入分析全球人工智能医疗器械的基础研究、技术开发、创新转化和产业化发展态势。

结果：人工智能在医疗领域的应用仍处于早期发展阶段，聚焦于医学图像辅助诊断、医学大数据采集与挖掘、辅助药物研发、生物标志物与基因检测等方面研究，开始应用于疾病监测与健康管理、疾病诊疗与预测等场景，通过提高诊防治能力和效率，解决各国政府面临的医疗资源总量相对不足或分布不均衡问题。基于医学影像的人工智能辅助诊断是目前相对成熟的应用场景，在肺部、骨科、心脑血管疾病的辅助诊断方面已有探索积累。美国及中国科技医疗人工智能创新能力引领全球，中国在产品化与产业化方面起步晚于美国，印度在 IT 实现方面与美国互补，欧盟更为关注信息安全与伦理问题。

结论：中国在人工智能医疗器械方面占据数据资源优势，要加强原始创新能力，拓展创新使用场景，培育医疗人工智能领域领军企业，制度现行促进临床研究转化与产品化。

标准食品模型和体外肠道模型在纳米药物安全性研究中的应用

黎燕
上海理工大学健康科学与工程学院
Email：jian_2001@sina.com

近年来，基于纳米技术开发的针对特定人群如糖尿病患者、高血压患者、肿瘤患者等的特医食品、药食同源食品、药品等得到广泛应用。其中，包含的纳米物质与食品基质一起被人体摄取，并通过胃肠道（GIT）发生互作反应，影响纳米物质及食品 / 药品的理化特性及生物学效应。目前的相关研究中添加的食品基质主要包括典型的食品组分（如蛋白质、碳水化合物、脂质、糖和矿物质等）、包含各种分子和胶体的市售食品和模拟食品。缺乏方法学上的标准化，不同实验室之间的研究结果无法进行可靠的比较。

传统纳米毒理学主要以哺乳动物、细胞和细菌等为研究对象，将不可逆转的毒性效应结果作为毒性评价的终点，如炎症、凋亡、坏死、致突变、致癌或致畸等效应表型。然而，体内动物试验通常存在成本高、效率低、伦理困境和物种间外推有效性等问题。因此，实用、标准且生理学相关的体外细胞模型的建立和使用是被鼓励的，特别是人细胞系。

基于此，我们课题组开发了适用于特定人群的标准食品模型，用于体外模拟消化系统环境；应用 Caco-2 细胞、HT-29 细胞和 Raji B 细胞构建了包含肠细胞、杯状细胞和 M 细胞的体外仿真肠上皮细胞模型。本次报告主要介绍标准食品模型和体外肠上皮细胞模型在经口摄入的药物 / 食品中纳米物质安全性评价与生物效应研究中的应用。旨在为精准评价与食品基质一同摄入人体的纳米物质的胃肠道命运、毒性提供基础。

F07
机械循环支持转化医学论坛

左心辅助血泵对冠脉灌注影响的仿真与体外模拟实验研究

杨明
上海交通大学
Email：myang@sjtu.edu.cn

使用左心辅助血泵和药物联合治疗心力衰竭，有心功能恢复的报道，但缺乏可复制性。为增加心衰患者心功能恢复的机会，我们探索了左心辅助血泵脉动血流频率变化对冠脉灌注的影响效果。为此，建立了包括冠脉循环的心血管系统集总参数模型，仿真分析了冠脉系统频率特性和不同辅助模式对血流动力学的影响，发现当脉动频率低于谐振频率时，增加脉动频率可以有效地降低冠脉系统阻抗，增加冠脉灌注流量。在此基础上，设计搭建了包括冠脉循环的体外模拟循环测试系统，以自制血泵作为控制对象，实验研究了不同脉动频率对冠脉血液灌注的影响。仿真和体外模拟实验结果表明，增加脉动频率可以有效地改善冠脉灌注效果，本文实验条件下增加冠脉灌注约 6%。

经导管置入心室辅助装置研发

柳光茂[1*]，魏润杰[2]，刘星利[2]，高琪[3*]，胡盛寿[1*]
1. 中国医学科学院阜外医院
2. 浙江迪远医疗器械有限责任公司
3. 浙江大学
Email：liuguangmao@fuwaihospital.org

介入泵技术研发需要集成多学科技术，涉及临床医学、基础医学、生物学、流体力学、机械、电子、控制和材料等多个领域，对相关技术细节研发具有极高的要求。在保证泵血能力的情况下，介入泵转子需要更高的转速。更高的转速所形成的大流量和强流动剪切会造成高速水洞力学的空化等一系列问题，这些对血液中血红细胞的破坏是致命的，本研究对血泵叶片进行了大量优化，提出了混合泵的叶片方案，通过离心泵和轴流泵的叶片混合设计方案来解决流量、压降和溶血性能互相制约的问题；通过叶片形态优化，打通高压和低压流动区域，有效抑制高速水动力学空化现象的发生；通过引流冲刷的被动控制技术，抑制低速或者滞流区域的产生，有效降低凝血问题的出现。

Impella 导管泵的研发与体外测试评估介绍

张锡文
清华大学航天航空学院
Email：zhangxiw@tsinghua.edu.cn

Impella 导管泵是当前经 FDA 批准安全有效的微型介入式短期心室支持装置，主要面向两类临床应用：一是高危 PCI 手术的血液循环支持，二是持续性心源性休克、急性心肌梗死（AMI）心源性休克、心脏切除术后心源性休克（PCCS）等症状的治疗。本报告简略介绍了本研究中心对类 Impella 导管泵的叶片初步设计、计算流体力学仿真计算、外形优化、电机驱动设计与控制策略设计、样机制作与体外测试。基本达到了人工心脏搏出量 2-5.5L/min，搏出压 60-100mmHg，以及相关的溶血目标。其中体外测试平台包括两方面：水力特性测试和溶血特性测试，以作为研发目标的检验手段；此外体外测试评估装置也可以针对人体的生理环境进行模拟，为人工心脏的设计提供实验验证与指导。

机械循环辅助器械血液损伤机理研究

陈增胜[1*]，李远[2]，席一峰[3]，王红宇[1]
1. 北京航空航天大学生物与医学工程学院
2. 生物力学与力生物学教育部重点实验室
3. 北京市生物医学工程高精尖创新中心
Email：czsbme@buaa.edu.cn

机械循环辅助器械 (血泵，体外膜肺氧合器 ECMO) 在进行临床辅助救治时，不可避免会产生非生理高剪切力 (NPSS) (大于 100Pa，远超过正常生理剪切力)，会引起严重的血液损伤，尤其是凝血因子血小板损伤。这些器械引起血小板损伤与相关患者血栓，出血等临床并发症密切相关。到目前位置，机械循环辅助医疗器械产生的生理高剪切力如何引起血小板损伤，并进一步影响其凝血功能还不清楚。针对这一问题，本研究建立了一个能模拟植入血泵装置病人体内生理环境的实验系统。该系统能模拟血小板在通过血泵时受到的超高剪切力环境，并可研究血小板被激活 / 损伤后所产生的凝血全过程。研究发现：1)PI3K 信号通路在 NPSS 引起血小板激活通路中发挥重要作用；2) 除了激活蛋白酶酶切路径之外，NPSS 可直接引起血小板重要止血受体 GPIBα 和 GPVI 脱落，影响凝血功能；3) 与健康人血小板相比，心衰患者血小板凝血功能更差，也更容易被 NPSS 损伤。本研究成果可用来指导机械循环辅助器械研发及相关抗 NPSS 导致凝血功能失调药物研发。

机械辅助循环装置的第三方评测初探

张宇[1*] 赵翔[2] 赵潞翔[2] 何涛[1] 邹治凡[1]
1. 清华大学医学院
2. 清华大学机械学院
3. 清华大学工程物理系
Email：yuzhang2014@tsinghua.edu.cn

国产高端医疗器械蓬勃发展，特别是在机械辅助循环领域，之前完全依赖进口的机械辅助循环生命支持设备均出现国产化趋势。国产医疗器械有望在不久的将来进入临床。同时，这些产品科技含量高、技术复杂、加工困难，对其进行科学评测的方法还需要研究。此外，国外成熟的产品也没有完全达到医学的预期，新产

品的技术路线永远需要探索。医疗器械的评测和研发需要医学实践的指导，但又不能由医院完成，因此，我们提出在大学建立“第三方评测实验室”的概念。大学不是医疗器械的生产者和使用者，而是客观的第三方评测者。通过整合大学优质的科研资源对医疗器械进行客观的评测并探索未来医疗器械的技术路线。在清华大学校内外各位专家的努力下，我们已经初步建立了针对“机械辅助循环医疗器械”的第三方检测实验室。本报告将汇报已经取得的成果，并期待各方合作。

体外磁悬浮人工心脏 MoyoAssist® 研发进展

徐嘉颢
苏州心擎医疗技术有限公司
Email：Chiahao.hsu@magassist.com.cn

在中国大约有 70 万名患者患有急性心力衰竭。然而，由于机械循环辅助支持选择有限，许多患者无法得到合适的治疗。心擎医疗致力于开发一款磁悬浮体外心室辅助装置（Extra-VAD），为中国的急性心力衰竭患者提供服务。MoyoAssist® Extra-VAD 包括一次性泵头、磁悬浮电机和控制主机。通过流体力学的计算，磁性轴承可以自由地操纵泵的旋转位置和流路，以获得最佳的血液相容性。磁悬浮轴承经过精心设计，具有足够的刚度，适用于多临床场景使用、医院间的转运，体积小、效率高。控制主机的用户界面是根据临床反馈和人因工程考虑做设计，以实现卓越的便携性和可用性。这款装置可以抵抗 3g 线性振动和 7 rad/s 扭摆振动，并已通过 90 天连续运行耐久性试验，无装置故障。根据一项全面的溶血测试表示，与其他市场上可用的设备相比，该设备具有高血液相容性和低血栓形成风险。迄今为止，MoyoAssist® 已成功将 3 名患者顺利过渡到心脏移植，术后检查泵头内没有产生任何血栓。MoyoAssist® Extra-VAD 为急性心力衰竭患者提供长达 30 天的循环辅助支持，表现出优秀的安全有效性能。该装置填补了中国缺失的空白，可望为患者带来稳定性更高的过渡型机械循环辅助。

磁悬浮离心式标准血泵的设计及优化

吴鹏
苏州大学机电工程学院人工器官研究所
Email：pwu@suda.edu.cn

近年来，人工心脏（也称血泵）等机械循环支持装置已经成为治疗心衰的有效手段。血泵同时也是体外膜肺氧合装置（ECMO）的核心部件，近期在抗击新冠肺炎疫情的过程中发挥了重要作用。血液机械损伤引起溶血、血栓等并发症已经成为人工心脏临床应用的最大桎梏。因此，血泵应兼具优良的水力学性能和优异的血液相容性。近年来我们在以下领域内取得了进展：1、发展了快速准确的流场模拟方法，改善了对血泵复杂流动的预测精度；提出了基于能量耗散的溶血模型，显著改善了溶血预测精度；发展了评估血栓形成风险的血流淤滞预测模型；2、联合和中国食品药品检定研究院，发展了磁悬浮标准血泵，可避免机械轴承接触与摩擦引起的血液二次损伤，增强标模实验数据的可信度；3、对血泵的设计参数进行敏感性分析和优化设计，降低了流场中的湍流强度和二次流动，发展了具有优异水力学性能和血液相容性的血泵。

Fontan 血泵的设计及性能评价

Guruprasad A Giridharan[1], Thomas Beyerle[1], Moustafa Meki[1], Yu Wang [2], Jing Peng [2], Michael Neary[3], Travis Jonas[4], Mark D Rodefeld[5].

[1] Department of Bioengineering, University of Louisville, Louisville, KY, USA

[2] Dalian University of Technology, China

[3] Mechanical Solutions Inc., Whippany, NJ, USA

[4] Rotor Bearing Technology and Software Inc, Phoenixville, PA ;

[5] Department of Surgery, Indiana University School of Medicine, Indianapolis, IN, USA

Email ： rodefeld@iupui.edu

肺动脉下心室旷置术 (Fontan) 在临床上能够有效改善功能性单心室患者的生存质量，然而这种方法在术后容易发生 Fontan 循环衰竭。对此，我们研发了腔 - 肺辅助装置 (CPAD)，即 Fontan 血泵，用于长期有效地改善 Fontan 循环衰竭，并且预防各种相关并发症的发生。本研究设计了不同叶片高度的 Fontan 血泵，通过体外实验结合计算流体力学 (CFD) 仿真对 Fontan 血泵样机的性能要求进行了评估，以测试不同条件下 Fontan 血泵的流体力学性能和血流动力学效果。仿真和实验结果表明，当 Fontan 血泵产生 6mmHg 的腔肺压力差时起到的效果和正常的肺循环类似。叶片高度为 1.1mm 的叶轮在血泵转速为 5000RPM 时，可以产生 7.1L/min 的血流量和 10mmHg 的腔肺压力差，此时的流体力学性能最佳。本研究可为 Fontan 血泵的设计和优化提供理论依据和技术支持，从而提高 Fontan 血泵对单心室疾病的治疗与康复能力。

F08
NGS 临床常规化的工程之路论坛

NGS 临床应用及自动化设计探讨

王 珺
杭州杰毅生物技术有限公司
Email：wangjun@matridx.com

mNGS 是所有 NGS 项目里最贴近 IVD 的，因为它拥有非常强烈的本地化运作需求。但 mNGS 的技术和数据维度挑战都很大。杰毅生物自主研发的 NGSmaster ™一站式全自动建库仪，针对 mNGS 检测周期长、操作复杂、易引入环境污染等局限性，创新性的将核酸提取、纯化、文库构建等 mNGS 主要流程集中于一体化仪器内全自动化完成，将原本 7-8 小时的建库流程缩减至 2 小时自动化完成，实现了 13 小时内完成 mNGS 检测全流程。

在数据分析方面，杰毅研发了集样本管理、测序数据分析、解读于一身的智能化一站式生物信息分析平台，实现病原微生物宏基因检测数据的自动化实时质控和快速分析，精准、全面地对测到的病原体和耐药基因进行智能化 AI 解读，一键生成检测报告。

BDA 转化之路：从技术到产品，推动常规化检测

柴映爽
阅尔基因
Email：yingshuang.chai@nuprobe.com

基因科技正在通过不断的创新来加速改变人类的生活，但从技术到形成产品之间还有相当大的距离。这是因为技术直接体现的优势往往只是实验室内部的一段流程，而要形成有价值的产品，需要考虑的是能否对客户工作中原有利益的分配形式作更加优化的改变，二者并非等同。此外还需要考虑结合可实际扩展的上下游供应链、可覆盖的客户端使用能力、特征与利益的信息传递，等等。

BDA 是一种非常独特的在 PCR 过程中实现野生型与突变型非对称扩增的技术。在确认了 BDA 的技术壁垒之后，我们先明确 BDA 能够解决目前的实验技术中哪些问题，然后基于我们推动 NGS 进入临床常规化检测的的目标，分析目前市场上客户的工作流程中，在现有可应用产品的基础上，客户仍然面临的困难，从而确定我们应该开发的产品形式，最终推出能有效解决市场发展瓶颈的产品。

从“六化”角度谈高通量测序实验室建设

林思远
华大智造科技股份有限公司
Email：linsy@mgi-tech.com

从合规化、信息化、标准化、自动化、智能化、模块化六个方向，思考高通量测序实验室的建设。介绍从实验室设计、施工、技术验收、设备选型到 LIMS 系统部署，覆盖整个实验室的建设全过程。探讨自动化技术和智能化系统怎样与实验室建设和管理结合，提升实验室日常运转效率。

高通量测序在辅助生殖领域的常规化和智能化之路

杜仁骞
苏州贝康医疗股份有限公司
Email：du696@basecare.cn

随着不孕不育率的逐渐上升以及我国人口出生率存在的下降趋势，促进优生优育，构建出生缺陷防治体系，对提高出生人口数量及素质尤为重要。辅助生殖技术从多层面提供解决方案，不仅能够帮助不孕不育夫妇孕育下一代，还能够从根本上减少并防止遗传病的发生，从而完善孕前、产前与新生儿疾病筛查体系，促进新生儿的健康。在辅助生殖领域应用的技术中，高通量测序（NGS）以其高通量、高覆盖的技术优势，以及全基因组扩增（WGA）技术、智能化平台等与 NGS 的联合应用，能够更准确、更安全、更全面地对胚胎进行遗传学检测，在很大程度上促进了辅助生殖领域的发展。随着基因检测技术的不断改进，NGS 已经成为辅助生殖领域的重要的且日趋常规化检测工具，随着其灵敏度、准确性和操作便捷性的提高，尤其是智能化的发展，其应用也将越来越广泛。

国产测序平台在肿瘤 NGS 的应用

杨玲
北京吉因加科技有限公司
Email：yangl@geneplus.org.cn

当前，基因检测技术与大数据分析深度融合，正在全面推进和加速肿瘤精准诊疗，为健康中国梦奠定基础。人类遗传序列测定与解码，依赖于测序仪和生物信息学方法。Gene^{+}Seq 测序仪，基于 DNB 纳米球测序原理，配合独创的 X 状接头，是具备高准确性、高灵活性的国产测序平台，覆盖高、中、低通量，广泛地应用在肿瘤、病原、遗传病、生殖等领域。

随着精准医学国家战略的快速推进，监管法规逐步出台，在医院内完成分子诊断技术的落地，为患者提供快速、敏捷、精准、成本低的临床 NGS 检测服务将是大势所趋。吉因加的国产 Gene^{+}Seq 测序平台、自动化生信分析解读一体机 Gene^{+}Box，完整的试剂生产链条和专业的研发和落地运营团队，将服务于肿瘤患者的基因检测产品落地到临床院端实验室，真正实现赋能医院病理科、检验科、精准医学中心等科室。同时，协助建立医院基于基因检测技术的实验室自建项目（LDT）、院端真实环境的质量控制指标体系，以及建立整合临床数据、病理数据、检验数据、分子检测数据和随访数据的全流程信息化管理系统，真正实现患者全流程信息管理与质控，保障肿瘤 NGS 应用在院端真正落地和智能化运行。

微岩医学高通量 mNGS 本地化解决方案

盖伟
微岩医学科技（北京）有限公司
Email：weigai@willingmed.com

微岩医学深耕感染精准分子诊断十余年，针对 mNGS 病原宏基因组检测院内临床应用场景，推出的从“检”到“报”的一站式高通量自动化解决方案，包含 PathoLab™ 自动化病原实验室系统和 PathoReport™ 自动化智能报告系统两大平台。覆盖 mNGS 湿实验和干实验的全部流程，1-24 个样本通量，从样本前处理、核酸提取、文库构建、上机测序、生信分析到一键生成报告全部实现自动化操作，可落地医疗机构本地化开展更快速的 mNGS 检测，辅助临床感染精准诊疗，推动 mNGS 技术在病原感染、临床科研、多学科领域的应用与发展，为社会创造更大价值。

分会场摘要

S01
脑机交互与神经工程

特邀报告

面向临床应用的脑机接口

李远清
华南理工大学

目的：通过脑机接口，人脑和外部设备之间可以直接进行交互，从而实现脑智能和机器智能的融合，即混合智能。混合智能是人工智能一种新的形态和方向，具有广泛的应用前景。然而提高目标检测性能和实现多维控制是脑机接口研究的两大基本问题，同时如何将脑机接口技术和临床需求进行结合，开发具有针对性的脑机接口系统也是当前研究中亟待解决的挑战。

方法：本报告首先介绍多种多模态脑机交互，包括基于 SSVEP 和 P300 的脑机接口，视听觉脑机接口，基于 P300 和运动想象的脑机接口，这些脑机接口或者可以提高目标检测性能，或者可以实现多维控制。

结果：然后我们介绍这些脑机接口两个方面的临床应用：（1）意识障碍患者（如植物人等）的意识检测是一个难点问题，主要原因是这些病人缺乏行为能力，认知水平低下。我们开发了多种脑机接口，用于意识障碍患者（如植物人等）的意识检测，数字认知检测、临床辅助诊断，在多个医院进行了临床应用测试，结果表明一方面多模态脑机接口技术可以为意识障碍患者提供新的外界交流通路，便于和家属医生的交流，另外一方面该技术可以可靠的实现对意识障碍患者的分级诊断及康复预后评估。（2）面向严重的颈椎损伤的高位截瘫病人，往往需要专业的护理人员，造成了家庭、社会的极大负担，此外这些病人和外界交流的困难，导致了其和社会的隔离，基于此需求，我们开发了专用的环境控制系统。

结论：该系统集成轮椅、家电和护理床于一体，实现了基于脑机接口技术对这些环境系统的可靠控制，有效提高了这些病人的生活自理能力，极大减轻了护理人员的工作负担。

关键词：脑机接口；混合智能；意识障碍；高位截瘫

脑机交互的发展趋势

尧德中
电子科技大学

目的：近年来，脑机交互 (Brain-Computer Interaction，BCI) 在科技明星马斯克的代言下，知名度和美誉度空前高涨。在此大好形势下，脑机交互究竟应该去往那里？本报告梳理了相关的发展趋势，并提出了若干值得研究的方向。

方法：基于我们近 20 年的研究经历和阅读的大量文献，我们认为，脑机交互存在以下发展趋势，1）智能化趋势，包括智能方法在脑机交互中的应用和脑机交互系统结构本身的智能化；2）从脑机交互（BCI）到脑器交互 (Brain-Apparatus Communications，BAC) 的演化，在这里，我们注意到脑机交互强调了脑与外界器

械（计算机等）的交互，我们还应同时关注脑与生物器官的交互，以及两种交互的整合与互相的促进，概况为 BAC；3）从生物脑到数字脑的研究趋势，该部分将简单介绍我们基于数字孪生脑的脑机接口研究；4) 为拓展 BCI/BAC 的应用场景，将它们与物联网相结合而出现的网云化趋势；5）为促进 BCI 从科幻到现实的普及性应用，近来出现的标准化趋势等。

结果：本次报告将在回顾脑机交互领域相关文献与工作的同时，穿插介绍一些我们团队近年来针对脑机交互开展的系列工作以及在脑机交互领域取得的相关成果。

结论：本报告从脑机交互出发，对其未来的发展趋势和方向做出设想，希望能够起到进一步繁荣中国脑机交互研究，促使中国在局部方向实现引领的转变。

关键词：脑机交互；脑器交互；智能化；数字化；网云化

低频经颅超声神经调控及应用研究进展

童善保

上海交通大学

Objective: In this talk, I will give an state-of-art review on the transcranial ultrasound stimulation (TUS) techniques and the applications.

Methods: Firstly, we review the biological effects of ultrasound, the technical advantages of TUS, and a brief history of TUS as well. Then, we introduce the TUS system, the TUS navigation system, and the techniques for monitoring the TUS neuromodulatory effects. After that, we discuss the possible mechanisms of ultrasound neuromodulation, the NICE model, and the optimal parameters for TUS. We will also review the applications of TUS in animal disease models, human brain diseases, and neuroscience researches. Furthermore, the relevant safety issues are discussed in depth. The talk will be structured with the following topics:

Results: (1) Outline of the current neuromodulation techniques. We are going to compare the most commonly used neuromodulation techniques (tDCS, rTMS, DBS and optogenetics) and TUS, showing the limitations and merits of each of them.

(2) Brief history of ultrasound neuromodulation. Though TUS has drawn great attention only in recent years, the study of ultrasound neuromodulatory effects has a long history. Some milestone work on low intensity TUS will be reviewed, including one of the most important ones after the year of 2000. The biological effects ultrasound will also be briefed.

(3) Design of low intensity TUS systems. The hardware schematic of low intensity TUS system will be presented. Besides, during TUS, the users cannot visually observe the site of the predefined target or the ultrasound focus below the scalp. A navigation system is thus highly desired for positioning the ultrasonic transducer in real time to fully take advantage of the high spatial resolution of TUS. There are a variety of existing neuro-controlled navigation techniques, including infrared navigation techniques and magnetic resonance image (MRI) based navigation techniques. MRI-based navigation is expensive and has poor environmental adaptability. In comparison, infrared navigation systems have been widely used for transcranial magnetic stimulation (TMS). We are going to introduce an infrared navigation systems for TUS developed in our laboratory.

(4) Measuring the TUS neuromodulatory effects. As TUS can induce both excitatory effects and inhibitory effects on neural systems. How to measure or monitor the TUS' neuromodulatory effects is critical for its application

in practice. We are going to review several commonly used techniques for measuring the effect of the TUS, including optical neuroimaging, electrophysiologic recording, functional magnetic resonance imaging. The applicability and the limitations of each technique will be discussed.

(5) Mechanisms of ultrasound neuromodulation. We are going to cover the Krasovitski's theory of bilayer sonophore (BLS) model, and Plaksin's neuronal BLS (NBLS) model (also called NICE model) as well. NICE model has now been the most successful model to explain the TUS and well supported by the experimental data.

(6) Applications of low intensity of TUS. We are going to summarize TUS as a therapeutic tool for both animal disease models and brain disease patients, as well as a noninvasive probe to investigate human brain function. In this part, I will also present several studies from my own laboratory in both animal, human and clinical studies.

(7) Safety considerations. As a promising tools for the therapy of neurological diseases or intervention of the brain functions, TUS' safety definitely is a critical issue. At the end of this talk, we will discuss the safety concerns on the low intensity TUS as a clinical therapeutics. Specifically, the long-term and short-term thermal effect , mechanical effect and cavitation effect of TUS in neuromodulation will be discussed.

Conclusion: In conclusion, compared with rTMS, tDCS, DBS and opotogenetics, low intensity TUS has shown its own advantages in practice as a potential clinical substitute of these existing Methods when the safety, spatiotemporal resolutions, non-invasiveness, and etc., all are factor to be considered. This talk aims to outline the latest progress in this area, and envision its possibility and challenges toward the clinical translations of TUS technique.

Key words: Transcranial ; Ultrasound ; Neural regulation

基于无创运动想象脑机接口的神经康复及调控技术

杨帮华

上海大学

目的：通过无创运动想象脑机接口技术实现神经性疾病的康复及调控，如脑卒中疾病大脑运动神经调控及康复诊疗、精神抑郁症疾病的治疗和吸毒成瘾的康复治疗。

方法：针对脑卒中疾病，采集患者运动想象脑电信号，通过 FIR 滤波、去基线等预处理方法、共空间模式等特征提取算法结合支持向量机等分类算法实现患者运动想象意图识别，结合 AR\VR 虚拟现实和增强现实技术设计带有闭环神经反馈的沉浸式康复训练系统，实现脑卒中患者康复治疗。目前基于脑机接口的康复训练的动作任务和解码算法上都有新的突破，动作任务由传统的左右手两类任务发展到单侧肢体四类任务，解码算法由传统的特征提取结合分类的方法发展为直接使用深度学习对脑电建模分类。针对精神抑郁症疾病和吸毒成瘾，采用相似的脑电采集和预处理方法，根据不同疾病设计不同的康复实验范式，结合深度学习建模方法设计闭环神经反馈康复训练，达到患者康复治疗的目的。

结果：脑机接口技术可作为大脑疾病一种新的诊断及康复模式，通过脑电波解码大脑，并结合 VR 等通过视觉、触觉、听觉的闭环反馈，使患者主动反复进行特定脑区的训练，基于大脑可塑性，刺激受损神经功能的重建。

结论：基于无创运动想象脑机接口技术在大脑神经信号采集、分析解码和调控反馈方面具有高时频分辨率的优势，可以从时频域及能量角度更好的反馈患者大脑的神经活动，符合上述神经疾病治疗需求，具有重要的研究价值。本次会议将介绍运动想象脑机接口基本原理、核心的人工智能解码方法、脑机接口结

合 VR 技术在脑卒中病人康复、戒毒诊断康复、精神抑郁症患者诊断等典型医工结合领域的具体应用。

关键词：无创运动想象脑机接口；智能解码；智能康复；成瘾评估；抑郁评估

个体化神经调控技术

闫天翼

北京理工大学

目的：近年来，无创神经调控技术在缓解疼痛、改善认知、调节情绪等领域被广泛研究。但是，不同被试对神经调控技术的响应有所不同，因此，神经调控技术的个体化成为研究的热点和难点问题。本研究旨在开发一套个体化无创神经调控系统，硬件上实现电流精准输出，软件上实现个体化电场精准仿真，并通过临床癫痫病人的电刺激研究对神经调控靶向性进行临床验证。

方法：在硬件开发方面，采用反相电流驱动技术，研发具备兆欧 (MΩ) 级驱动能力的电刺激系统，并实现电流精准输出。在仿真计算方面，本研究基于脑组织分割算法分析个体被试的结构磁共振成像数据 (structural magnetic resonance imaging, sMRI)，构建涵盖头皮、颅骨、脑脊液、灰质和白质五部分的脑结构模型，将颅骨细分为外层密质骨、高电导率的松质骨和内部密质骨组成的三层结构，分析理想球模型和个体化头部模型两种有限元仿真模型下建模对电刺激的影响。最后，对颅内植入电极的癫痫患者进行电刺激，并检测电刺激信号是否有效地作用到了目标位置。

结果：硬件系统方面，本研究开发的神经调控设备能输出 0-7.5 MHz 的电流，频率分辨率小于 0.000233Hz，频率精度小于 1 ppm，电流幅值可达 ±2mA。仿真计算方面，本研究构建的五层脑结构模型可以灵敏地反应外加电流在大脑内部的场强分布，结果表明松质骨与密质骨的电导率比值越高，分层颅骨模型模拟电场强度随频率的变化越明显。相较于单层颅骨模型，分层颅骨模型在包络场的振幅、场强分布方面均更精细，随外加电流的频率变化更明显，对神经调控响应效果的仿真更好。最后，癫痫病人的验证表明，电子传输计算准确率大于 85%；传输空间配准准确率大于 90%。

结论：本研究开发的电刺激调控系统和个体化五层精确脑结构模型算法对于个体化神经调控技术的方案制定具有重要意义，可以针对不同需求确定电刺激的电流输出模式，有助于个体化神经调控技术的广泛临床应用。

关键词：神经调控系统；个体化仿真模型；癫痫电刺激

面向脑功能疾病治疗的磁性纳米药物介导脑区磁刺激技术

孙剑飞

东南大学

目的：以磁刺激为代表的物理治疗技术近年来在脑功能相关疾病的治疗中得到越来越多的重视，对于推进“健康中国”国家战略意义重大。但是磁刺激技术仍然存在着聚焦精度低、穿透深度差以及无法示踪作用位置的局限，大大限制了利用该技术在动物上开展机制研究以及在临床上设计治疗新方案。作为唯一得到食品药品监督管理局 (FDA) 批准，可临床使用的无机功能纳米材料，氧化铁纳米颗粒在纳米生物医学的研究和应用中发挥着至关重要的作用。我们提出磁性纳米药物可以增强体内局部组织对外磁场的响应。通过控制磁性纳米药物在局部组织的分布，可以将“磁场的聚焦”转变为“磁场效应的聚焦”，从而实现针对局部组织的选择性精准磁作用。本文将基于本实验室的相关研究工作，介绍磁性纳米氧化铁药物介导的对小鼠脑区选择性精准作用及对小鼠抑郁样症状的治疗作用。

方法：通过脑定位注射将纳米氧化铁药物递送到小鼠的 PrL、海马、室旁核等脑区，外加温和安全的旋转磁场，通过动物行为学研究治疗效果。

结果：实验结果证明磁性纳米药物介导的脑区磁刺激安全有效，对组织无显著损伤。行为学和标志物检测证实 10Hz/100mT 的旋转磁场即可快速改善小鼠的抑郁样症状。该方法可实现对脑区的精准磁刺激，目前已达到小鼠亚海马区的空间分辨率。同时该方法适用于脑深部核团的刺激，可内源性调控催产素分泌，改善小鼠的社交行为和骨质疏松状况。

结论：磁性纳米材料具有独特的电磁能量吸收性质，磁性纳米药物可介导对小鼠单个脑区的精准磁作用，突破深度和空间分辨率的限制，有效改善小鼠的抑郁样行为等症状。

关键词：纳米氧化铁；磁刺激；深部脑刺激；抗抑郁；催产素

基于孪生网络核回归的鲁棒解码模型

王跃明

浙江大学

目的：目前运动型侵入式脑机接口系统的一个关键限制是神经解码器性能不稳定，部分原因是由于神经信号的多变性。神经信号变化可以由许多因素引起，例如神经系统的内在噪声、信号记录的不稳定性和神经可塑性。很多研究表明神经信号具有多变性，神经元的偏好方向会随着许多条件改变，包括时间，速率和控制误差等。因此，固定的模型不能解决神经信号多变性的问题。建立可以处理神经多变性的鲁棒解码器模型是侵入式脑机接口领域亟待解决的问题。

方法：针对神经信号多变性问题，我们提出基于孪生网络核回归的解码模型来刻画神经信号的多变性，从而鲁棒解码。具体来讲，我们构建孪生神经网络将非稳态的原始神经信号转换到低维的表示空间，使用聚类算法选取适量的典型样本组成样本库，在表示空间中使用核回归方法估计目标速度。我们提出用速度相似度约束神经表示相似度的相似度约束损失函数来指导神经网络学到有效的神经表示。模型在相似度约束损失和回归损失的指导下使用梯度反向传播端到端地进行优化训练。

结果：在猕猴避障范式数据上，孪生网络核回归可以有效地追踪上神经元在不同速率阶段多变的偏好方向，可减少 15.1° 的偏好方向误差。孪生网络核回归模型的解码性能 R2 显著优于卡尔曼滤波器、广义回归神经网络、度量学习核回归和人工神经网络等模型，分别提升 54.1%、13.4%、7.3% 和 8.7%。通过典型样本选取，相比其他核回归方法，可有效降低计算复杂度和空间复杂度，可满足在线实时性解码的需求。此外，在小样本数据量和通道丢失的情况下，孪生网络核回归显著优于其他方法。

结论：我们提出了一种可实时处理神经信号多变性的孪生网络核回归鲁棒解码模型，它可以有效地追踪神经模式的变化，在小样本数据量和通道丢失等情况下可以鲁棒解码，显著优于其他方法。

关键词：脑机接口；孪生网络；核回归；神经解码

基于脑机交互的共享控制技术及应用

俞祝良

华南理工大学

目的：人机交互是人与计算机之间传递、交换信息的重要手段，近年来人机交互技术得到巨大发展。在众多人机交互技术中，脑机交互作为一种能直接将头皮脑电活动转换为控制指令的人机交互技术，其发展与

应用依旧面临着诸多挑战。受限于目前技术水平，传统的单纯直接依靠解码大脑信息来进行交互的控制方式，在控制指令的丰富性、准确性等方面都较难满足实际需求。因此，面向脑机交互的共享控制技术，越来越多地受到了学术界的关注。各类研究表明，脑机共享控制技术将脑控和机器人自主控制两种方式的优势进行结合，可以很好地解决脑机交互过程中用户脑控能力不足、不确定性大等问题，而且也能有效减轻用户的控制负担，具有新一代人工智能的典型特征。

方法：本工作基于脑机交互的共享控制技术，展开针对肢体残疾人和老年人运动辅助、康复的相关研究，以有效减轻人口老龄化带来的社会护理压力，实现患者的自我照顾，提高生活的便利性。

结果：本报告在充分考虑脑机接口控制系统的特点和残疾人需求，以及在现有的脑控机器人共享控制方法不足的基础上，有针对性的提出新的脑控机器人共享控制方法，将讨论在脑电不确定性大和用户脑控能力存在个体差异大的情况下，提出新的脑机共享控制方法和设计策略，智能结合脑控和机器人自主控制，通过建立灵活合理的人机协同机制，借助共享控制技术的脑机交互系统，充分发挥人和机器的各自优势，如人的感知和认知能力较强，机器计算能力和精细完成任务的能力强，保证了脑控机器人能更有效完成复杂任务，实现高效和稳定控制效果。

结论：脑机交互作为一种实现人机交互的重要技术，其共享控制技术具有重要的科学研究意义和广泛的应用前景。

关键词：脑机交互；共享控制；机器人

脑机交互与康复应用

金晶

华东理工大学

目的：脑 - 机接口技术旨在人与计算机之间建立一条不依赖语言、动作的全新信息传输通道，可以帮助残疾人和语言障碍病人在一定程度上重获肢体功能和信息交互能力。在临床残疾患者的治疗及语言类疾病的康复治疗过程中，脑 - 机接口相关技术已成为一种重要的干预治疗及辅助康复治疗手段。目前，虽然脑 - 机接口技术已被广泛应用，但脑 - 机接口系统还普遍存在识别准确率低、输出不稳定等问题，这些问题严重阻碍了脑 - 机接口技术实际应用的进程。

方法：本报告主要围绕华东理工大学在 P300 脑 - 机接口和运动想象脑 - 机接口等方面的相关工作展开介绍，主要涉及 P300 的刺激模式 / 编码技术，运动想象范式，脑电模式识别方法和临床应用等方面，开发基于脑 - 机接口的信息交互系统，轮椅控制系统和脑卒中康复系统，实现昏迷病人诊疗，脑卒中康复和信息交互辅助。

结果：经过 10 多年的研究积累，华东理工大学脑机接口团队在减少系统内干扰、诱发鲁棒可识别信号、提高脑电识别效果和开发病人应用系统等方面取得了优异的成绩。实现渐冻人的信息交互和运动辅助，完成对昏迷病人的状态监测和唤醒，加快了脑卒中病人的运动康复速度。

结论：华东理工大学脑机接口团队针对脑电的识别问题、诱发问题和脑机接口的实际应用问题，提出了一系列的优化算法、诱发范式和解决方案，显著提升了脑机接口系统的实用性，并取得了中国医疗器械证和欧盟 CE 认证，在上海、江苏等 10 多家医院建立了康复医疗站或临床应用点，并推广到日本、美国、德国等 10 多个国家进行临床应用。

关键词：脑 - 机接口；P300；运动想象

基于脑电信号的驾驶疲劳评估研究

孔万增
杭州电子科技大学

目的：EEG 是大脑神经活动的客观反映，蕴含着丰富的特征，且较高的时间分辨率易于捕捉精神状态的实时变化。本文从驾驶疲劳 EEG 信号中挖掘疲劳相关的生物标签，并从迁移学习的视角来解决训练数据与测试数据的分布不匹配问题，提升驾驶员疲劳状态监测模型的鲁棒性。

方法：通过对驾驶疲劳的通道脑电信号计算相位同步和 Granger 因果关系，进而分别构建脑功能网络和脑效应网络，挖掘疲劳相关的网络特征属性；基于深度卷积网络 CNN，构建 EEG-Conv 和 EEG-Conv-R 分类器，对疲劳状态进行评估；采用双子空间映射和动态领域数据分布的边缘概率和条件概率适配的迁移学习方法（DDADSM）对疲劳驾驶数据进行实验。

结果：在脑连接方面：当驾驶员的心理状态从清醒到疲劳时，呈现整体大脑相位同步度增加，前额叶和后枕叶 EEG 信号 δ 和 α 频段的同步性显著增加的现象；脑效应网络的全局有效性降低。表征在疲劳状态中人脑整合信息的能力降低；脑网络的因果关系密度值（CD）显著增加。在深度学习方面：对于模型的组间精神状态分类，EEG-Conv 和 EEG-Conv-R 具有更高的分类准确性。选择 19 人数据中排除目标域的部分被试作为组成源域数据，DDADSM 方法的分类识别效果显著高于其他方法。

结论：本文提出的相位同步和 Granger 因果关系构建的脑功能网络和脑效应网络可以表征清醒和疲劳两种状态；提出两种用于疲劳驾驶过程中的清醒和疲劳状态检测的深度学习分类模型：EEG-Conv 和 EEG-Conv-R，并与 SVM 和 LSTM 等传统模型的分类性能在组内 / 组间进行了对比实验，结果表明，EEG-Conv 和 EEG-Conv-R 均具有较好的评估性能；利用双子空间映射可以减少源域和目标域间的领域偏移，结合动态的数据分布对齐策略，在当前数据集下进行跨被试驾驶员精神状态的分类，能够达到 95.43% 的平均准确率，相对于现有的方法取得显著效果。

关键词：驾驶疲劳；脑网络；深度学习；迁移学习

弱磁场环境调制脑 - 机接口性能研究

许敏鹏
天津大学

目的：人类大脑中存在磁性纳米颗粒，为人类感知弱地磁场研究提供了基础。然而，弱地磁场环境的改变对大脑神经响应状态的影响尚未可知。针对此，本研究采用快速序列视觉呈现范式，采集受试者在不同弱地磁场强度和磁场方向（磁偏角和磁倾角）环境中的数据，探究静态恒定弱地磁场对 RSVP 脑 - 机接口的影响。

方法：本研究以实验地北京昌平的地磁场参数为基准（磁场强度：55000nT，磁倾角：59.5°，磁偏角：0°），基于控制变量法依次改变弱地磁场参数，共设计三大类实验，分别为：（1）5 种磁场强度环境：0 倍，0.5 倍，1 倍，1.5 倍，2 倍当地强度；（2）7 种磁倾角环境：变化范围为 [-90°，90°]，变化步长为 30°；（3）4 种磁偏角环境：[-180°，180°]，变化步长 90°，以上弱地磁场环境均通过三轴亥姆霍兹线圈产生。在每种弱地磁场环境下，被试执行以有 / 无人图片为靶 / 非靶刺激的 RSVP 任务，同时记录受试者的脑电波。数据处理阶段，采用时域、频域、逐步线性判别分析等方法，从事件相关电位（event-related potential, ERP）各成分幅值、特征可分性、系统分类正确率等方面，探究不同弱地磁场环境对大脑神经响应状态的调制影响。

结果：在 5 种磁场强度环境下，系统分类正确率依次为 80.00%，76.25%，74.95%，80.52%，79.11%，存在显著性差异（$F(4, 92)=4.389$, $p<0.01$）。且在 N200 成分 ,P300 成分以及特征可分性方面也均存在显著性差异（$p<0.05$）。在 7 种磁倾角环境下，ERP 各成分，特征可分性，系统分类正确率均无显著差异。在 4 种磁

偏角环境下，结果与磁倾角环境相同，均无显著差异。

结论：本研究发现弱地磁强度对脑 - 机接口性能有显著影响，而地磁倾角和地磁偏角对脑机接口性能没有明显的调制作用，相关结果明确了弱地磁场分布参数与脑 - 机接口的关系，也为脑 - 机接口调制研究等提供了新的手段。

关键词：弱地磁场；快速序列视觉呈现；事件相关电位

稳态视觉诱发电位脑机接口系统优化及应用

陈小刚

中国医学科学院生物医学工程研究所

目的：脑机接口因能在人脑与外部设备之间建立一个直接通讯渠道而备受关注。然而，低的通讯速率成为制约脑机接口推广应用的主要瓶颈。选择高通讯速率的稳态视觉诱发电位脑机接口作为研究对象，优化其系统参数，提高其系统性能，以期推动其实用化进程。

方法：利用联合频率相位编码方法在计算机显示器上呈现 120 个视觉刺激，探索 120 目标稳态视觉诱发电位脑机接口系统的可能；通过比较不同刺激频率范围和刺激波形下脑机接口的性能，为高频稳态视觉诱发电位脑机接口寻求合适的刺激频率范围、相位和刺激波形，并通过在线实验验证高频稳态视觉诱发电位脑机接口系统的可行性；承办了 2021 世界机器人大赛 —BCI 脑控机器人大赛技能赛，获取了 100 人次的中老年人群的稳态视觉诱发电位脑机接口数据集，探究稳态视觉诱发电位脑机接口在中老年人群中的应用；以机械臂 / 仿人机器人为控制终端，结合稳态视觉诱发电位脑机接口，研究脑机协同控制方法。

结果：基于联合频率相位编码的 120 目标脑机接口系统获得了 92.47% 的平均正确率和 213.23 比特 / 分钟，验证了频率间隔 0.1 Hz 的视觉刺激仍具有较好的可分性以及整个系统的可行性；在高频稳态视觉诱发电位脑机接口中，相对低的刺激频率范围更适合构建高速率脑机接口系统；现有数据集主要来自于年轻受试者，中老年人群脑机接口数据集是对现有研究的丰富和补充；将脑机接口的控制策略引入机器人研究，从机械臂和仿人机器人的实际应用需求出发，结合机械臂自身具有的机器智能，设计与实现多套脑控机器人系统。

结论：通过构建超大指令集脑机接口系统、高速率高频脑机接口系统、中老年人群脑机接口数据集，对稳态视觉诱发电位脑机接口系统进行优化，同时也积极推动稳态视觉诱发电位脑机接口在机器人中的应用。

关键词：脑机接口；稳态视觉诱发电位；脑电图

医工深度融合关键技术研究进展

李阳

北京航空航天大学

目的：采用多模态脑网络与深度学习融合的研究方法，解决神经慢性脑疾病 (如癫痫、轻度认知障碍及中风等) 发病机理不明且误诊率高，临床难以有效检测大脑异常活动机制的问题。

方法：构建了多模态自适应动态有向功能连接网络，充分挖掘各脑区之间的时空动态因果关系，解决了传统无向脑网络中忽略的动态连接信息和连接方向权重信息缺失的问题。提出的方法通过对所有被试全脑区域进行最优模型阶的判定，构建符合脑认知工作机理的全脑区各区域之间的跨模态自适应动态有向功能连接网络，实现了模型参数的自适应优化。进一步，利用最大平均差异的自编码器，对自适应动态有向网络的时间特征和空间特征进行了深度融合，得到了相较于原始特征更为全面反映病理信息的时空深度融合特征。最终，

以多模态深度融合学习方法为基础，着重介绍与临床神经生理学深度合作，探讨基于电生理数据、多模态结构 / 功能影像数据驱动模型假设，如何用于揭示脑疾病的脑活动机制。

结果：建立了一种基于多源异构深度融合学习技术的最具判别力特征及预测方法，为临床医生解释电生理 / 影像数据提供了理论依据。基于理论创新成果，研发了脑机智能意念控制转运床系统，在中国康复研究中心开展临床验证，用于认知障碍患者临床认知功能康复训练，缩短患者诊疗周期。

结论：揭示了临床神经慢性脑疾病的潜在脑功能异常活动机制，为探索神经慢性脑疾病的脑功能网络异常连接机理提供了理论基础和技术支持，为神经系统调控与康复治疗干预提供了量化评估分析工具。

关键词：神经慢性脑疾病；多模态影像；异常活动机制；神经调控

脑电信号降噪的若干探索

陈勋

中国科学技术大学

目的：脑电作为一种了解大脑功能的重要工具，由于其具有易于采集和时间分辨率高等优点，已经被广泛应用到医学临床诊断、康复工程、认知科学、情感计算及健康监护等关键研究领域。然而，脑电是微伏量级的相对微弱的电生理信号，无论在实验室环境下，还是在实际应用中，都不可避免地会受到眼电、肌电、心电、运动伪迹、工频干扰和白噪声等生理 / 非生理因素的干扰，这些干扰会严重影响后续脑电阅读和分析的准确性。因此，去除脑电中的噪声干扰自始至终是国内外相关研究领域亟待解决的问题。

方法：目前，对脑电中噪声的处理方式大致分为两类，第一类是指通过人工观察或自动检测的手段，判别出包含噪声的脑电信号区间，然后将该区间的信号整体丢弃；第二类是指通过信号处理的方法尽量抑制或去除噪声对脑电的影响。第一类处理方式会损失大量脑电数据及其可能包含的有用信息。关于第二类处理方式，最早的研究者们尝试用低通滤波的方法来去除脑电中的伪迹，然而，由于脑电信号和部分伪迹（如肌电）在频域分布上有较大的重叠，这种方法虽然能够抑制伪迹干扰，但是同时也会损失一部分有价值的脑电信号。

结果：近年来，独立成分分析、典型相关分析等盲源分离方法来被研究者们广泛地应用在脑电信号的噪声消除上。上述盲源分离方法把含噪脑电分解为不同的源成分，并根据统计特性舍弃噪声相关成分来达到降噪目的。

结论：本报告将对脑电降噪的现状进行全面分析，结合当前和未来脑电采集装备的变化趋势和需求，重点关注其中较为有挑战性的肌电污染问题，结合联合盲源分离和时频分析技术，从多通道、单通道和少数通道以及它们之间的相互关系等角度来讲述该方向的若干新探索，并结合研究经验，给出未来可能的探索方向。

关键词：脑电；降噪；盲源分离

儿童脑发育中微状态序列的无尺度和复杂度特性

欧阳高翔

北京师范大学

目的：脑电以高时间分辨率反映了脑的动态活动，多通道脑电在头皮形成的拓扑分布可以表现为一系列准稳态状态的序列，称为微状态，一般由 3-7 种拓扑分布状态组成。已有研究表明，静息状态下成人脑的微状态序列呈现出无尺度特性，并且打乱每个状态的标签后不受影响。本研究讨论儿童脑电中微状态序列的动力学特性以及发育过程对其造成的影响。

方法：从本地学校中共招募了 276 名 3-10 岁儿童（每个年龄 34.50±9.30 名儿童），并采集了 5min 闭眼静息态 62 通道脑电数据，并从中选取了 60s 连续且无污染的数据段以进行微状态分析，状态数设为 4。

结果：在儿童发育过程中，微状态的持续时间（duration）明显缩短（Kruskal-Wallis 检验：p=5.03e-13; p=3.19e-11; p=9.54e8; p=2.21e-15;）、发生率（occurrence）明显上升（p=2.00e-4; p=1.20e-7; p=1.12e-7; p=3.52e-7;），与现有研究一致。无尺度特性方面，儿童均表现出明显的无尺度特性，且不受状态标签打乱的影响（Hurst 指数 H=0.63±0.06；打乱后 H=0.63±0.04）。值得注意的是，在儿童 3-10 岁的发育中，脑发育的微状态序列的无尺度特性并不受年龄的影响（原始序列 p=0.24；打乱后 p=0.10;）。本研究进一步分析了微状态序列的排序熵，发现排序熵随年龄的增长而上升（原始序列 p=1.30e-15；打乱后 p=3.82e-18;）。

结论:本研究证明了微状态序列在儿童发育早期（3 岁）即可表现出与成人相似的无尺度特性，并持续保持；同时随着脑发育的进程，微状态序列复杂度不断上升，表明儿童脑状态的动态切换能力不断增强，对环境的适应能力增强。本研究将进一步探讨脑发育疾病（孤独症、多动症等）对儿童微状态序列动力学特性的影响，并为后续的潜在的干预方法提供指导，包括神经反馈训练、经颅电磁刺激等。

关键词：儿童脑发育；脑电；微状态；无尺度；复杂度

功能连接模式—数学超常大脑、脑龄预测浅议

王海贤

东南大学

目的：本研究剖析数学超常青少年在数学学习与认知过程中脑网络如何随时间演变发生拓扑重组、以及在协调重组的过程中又遵循哪些特殊规律，鉴别数学超常青少年有别于普通人大脑全局神经元网络的转换动力学特性。另一方面，多种类型的神经退行性疾病与大脑异常老化紧密相关，开展基于机器学习的脑龄预测。

方法：采用三阶段抽象词语逻辑推理任务的实验设计，将头皮 EEG 微状态研究拓展到颅内活跃的源信号间短时相位同步性模式（即同步态），从所有同步态中提取了 8 个原型功能连接状态；对每个 EEG 试次构造同步态转换的时间链，对其状态演变规律进行单试次马尔可夫链建模。基于静息态功能磁共振数据，以正常衰老的脑功能网络为研究对象，结合社团强度和其它图论指标作为综合特征，采用 XGBoost 方法预测个体水平的脑龄。

结果：统计模型显示默认模式网络、中央执行网络、背外侧注意网络、左 / 右腹外侧额顶网络、腹侧视觉网络非周期地复发在推理和无任务进程中，在交互可达的转换关系中表现出强烈的确定性和可预测性；反之，由于较低的出现频次，带状盖网络与右侧额颞网络在逻辑推理任务期间表现出更多不确定的瞬态特性。对于脑龄预测，所采用模型获得了较高的预测准确率，且具有直观的物理意义和可解释性。

结论：与普通对照组被试相比，数学超常青少年在推理任务时间进程中中央执行网络（涉及维护注意、工作记忆信息检索、正确决策等）与右侧额颞网络（响应于想象、推理、创造性思维等）在马尔可夫链模型中表现为更高的自我循环概率，在时间域表现为更高的状态持续时间，这表明在数学超常大脑中这两种功能连接微状态具有更高的拓扑结构维持能力和时间稳定性；数学超常大脑还具有更高的从其它 6 个网络模式到中央执行网络和右侧额颞网络状态的转换概率，这表明数学超常大脑具有更强的网络拓扑结构重组能力，并且重组趋势可以更好地适应中央执行控制功能和涉及推理的高阶思维活动。脑龄预测研究为理解正常大脑衰老的机制提供有益启示。

关键词：功能连接模式；数学超常；脑龄预测

脑电网络的构建及其在认知、临床中的应用研究

徐鹏
电子科技大学

目的：大脑通常是以网络的形式来对认知过程中的信息进行加工处理，脑网络分析能够有效对脑区间的作用关系进行有效的度量。脑电由于其具有的高时间分辨率，基于脑电的网络分析能够有效刻画大脑的动态信息加工网络机制。然而，脑电网络分析很大程度上受到了脑电固有的如低空间分辨率、低信噪比以及容积效应的影响，限制了脑电网络分析的推广和应用，需要发展具有针对性的脑电网络分析方法。

方法：本报告将介绍如何结合新的数学模型和脑电源成像等技术手段，从新的数学空间和新的信号空间分别发展相应的脑电网络分析方法以应对上述脑电信号所固有的缺陷，并如何结合脑电网络分析，对大脑网络信息特别是动态网络信息进行挖掘，以实现对相关认知过程信息加工机制的理解和疾病的辅助诊断评估。

结果：针对不同的信号特点以及应用需求，实现了从头表到皮层、静态到动态的不同层面的网络构建，并把网络分析应用到注意、决策及运动等认知过程的信息加工机制研究，揭示了大脑在不同网络层级上的特有网络结构；在对包括精神分裂症、运动障碍、癫痫及自闭症等多种神经系统疾病的网络分析结果表明了不同疾病所引起的特异性的大脑网络异常，这些网络异常一方面可以对疾病的产生和治疗提供指导，另外一方面可以为疾病的临床早期诊断提供帮助。

结论：脑电网络的构建需要有针对性的应对低信噪比、容积效应等的影响，同时针对不同的应用目的，采用不同的层面的网络分析技术手段；脑电网络能够有效的刻画大脑内部动态的信息加工机制，在认知过程及临床疾病等方面的研究具有潜在的价值。

关键词：脑电；脑网络；容积效应；动态信息加工

语言神经解码

洪波
清华大学医学院

目的：语言是人类智能与人际沟通的独特机制。人脑语言与语音处理的神经网络错综复杂，背后的动态机制大部分未知。

方法：我们和神经外科医生合作，直接记录手术病人在清醒时大脑皮层的电活动，发现了语音处理的基本单元和层次化结构。

结果：有了初步的语音解码本，我们借鉴人工耳蜗的设计，构建了一种埋在颅骨中的微创脑机接口，无线获取人脑处理语音语言的电信号，直接翻译成合成语音或者文字。

结论：这种新型神经界面为实现人脑智能与机器智能的无缝对接提供了可能。

关键词：语言；大脑皮层；颅内脑电；微创脑机接口

面向脑卒中康复评估的神经肌肉耦合分析

谢平
燕山大学

目的：运动系统的多模态信息交互特性分析对于理解运动功能障碍患者病理机制、评估运动功能状态及制定康复策略具有重要意义，该多模态信息交互主要体现在功能脑区间耦合振荡、皮层肌肉功能耦合及肢体肌肉协同耦合三个层面，本报告重点介绍体现肢体动作响应状态的肌间协同耦合特性分析及作用机制研究，包括所开展的特定频段肌间同步耦合、时频尺度肌肉协同及协同肌肉耦合特性研究方法、运动控制系统中肌肉协作关系与肢体动作响应间的关联机制研究；同时，简要介绍已开展的多层次皮层肌肉功能耦合分析方法及特定运动模式下皮层肌肉功能耦合机制研究。进一步，结合实验研究及临床测试，给出健康被试和运动功能障碍脑卒中患者的多模态神经 - 肌肉功能耦合初步分析结果，指出该研究可为脑卒中病理机制分析、康复状态评估及康复策略制定提供理论依据。

方法：本报告重点介绍体现皮层肌肉耦合状态的脑肌电同步特性分析及作用机制，包括所开展的时频一致性分析、多尺度耦合及异频耦合特性等多层次皮层肌肉功能耦合分析方法，同时简要介绍运动控制中肌肉协作关系与肢体动作响应间的关联机制研究；探讨特定运动模式下皮层肌肉功能耦合机制；

结果：结合实验研究及临床测试，给出健康被试和运动功能障碍脑卒中患者的多模态神经 - 肌肉功能耦合的定量分析结果，并与临床脑卒中定性评价结果进行关联分析，初步得出定量和定性指标具有一致性变化趋势。

结论：运动控制系统的皮层肌肉耦合现象对于理解运动功能障碍患者病理机制和评估运动功能状态具有重要意义，可通过分析多层次脑肌电耦合现象开展运动功能定量评估，辅助临床进行康复状态的智能评价和康复策略动态优化。

关键词：脑卒中；运动功能评估词；皮层肌肉耦合；定量分析

基于逆强化学习的人机交互研究

刘泉影
南方科技大学

目的：通过逆强化学习方法推断人类在不同场景下的驾驶行为交互过程的奖赏函数，并通过分析脑电电生理数据，映射不同奖赏函数对应的时频谱特征，为人类驾驶交互行为提供神经电生理依据。

方法：基于 LGSVM 的虚拟驾驶平台，结合 Unity 设计多种不同场景的驾驶任务，包括天气变化、驾驶导向目标、车流密度、地图与道路类型等不同变化因子的任务地图。同步采集人类司机的驾驶行为数据（包括车速、加速度、方向盘转角、车道偏离程度、道路进度、天气等因素）和神经电生理数据。进一步，通过设计基于车速、加速度、方向盘转角及转角加速等影响驾驶舒适度的奖赏因子，以及道路进度、车道偏离程度、天气等其他影响因子等作为奖赏因子。通过逆强化学习算法及构建全连接神经网络与强化学习的循环网络，对人类驾驶行为决策过程的行为数据进行拟合，得到相应驾驶决策过程的奖赏函数的权重系数。同时，分析实时记录的驾驶行为决策过程的电生理数据，通过脑电溯源及时频谱特征提取。最后，构建溯源时频谱特征与不同奖赏因子系数的线性模型，推断出驾驶行为决策过程，不同奖赏因子所对应的脑区时频特征，得到驾驶行为决策的奖赏函数权重系数与神经电生理数据的对应关系。

结果：我们构建的逆强化学习循环网络可以很好的拟合人类在不同驾驶任务的驾驶行为数据，得到相应的奖赏函数的权重系数，并通过神经电生理数据找到相应的神经依据。

结论：不同驾驶风格的驾驶员，其驾驶行为决策数据可通过我们设计的奖赏函数进行度量。未来我们还

会进行驾驶过程脑电信号的分析工作，预期将得到奖赏函数权重系数与脑源活动的神经依据。

关键词：脑机交互；逆强化学习；奖赏函数；驾驶风格；人脑决策

减重手术改善大脑认知功能的肠脑机制研究

张毅

西安电子科技大学

目的：肥胖引起多种代谢类疾病，已经成为危害健康的第三大致死因素，被世界卫生组织定义为疾病。中国肥胖人口已经超过 9000 万，成为全球肥胖人口最多的国家，减重手术是目前治疗重度肥胖唯一有效的方法，但机制尚不明确。减重手术显著改善饮食行为，降低对高热量食物的渴求和摄入，进而降低体重。而这些行为的变化，反应了大脑认知功能的改善，提示从大脑研究，将有助于揭示减重手术的肠脑调节机制。

方法：采用磁共振对大脑成像，应用信号和影像处理方法，首先解决了大脑机制研究中，如何确定大脑差异区，脑区功能连接方向性，构建网络机制模型的难题；然后将上述方法应用于减重手术的中枢调节机制研究。

结果：发现减重手术改善了肥胖患者前额叶 - 中脑边缘系统功能结构连接，揭示了饥饿素在减重手术肠 - 脑调节机制中的作用。同时，发现减重手术还显著改善了肥胖引起的大脑灰白质微结构损伤，起到了很好的神经可塑性作用。此外，基于“肠道菌群 - 胃肠 - 脑”轴的系统整合的探究，明确与减重关联的大脑功能核团与回路，关键代谢靶标，以及重要肠道微生物菌群构成，进一步揭示肥胖与减重的深层神经生理机制。

结论：基于上述研究成果，探索了一种非手术的减重方法，既将变化的脑区、功能连接、网络模式作为靶点，采用近红外实时神经反馈技术，对大脑进行无创的内源性调控，探究这种神经反馈调控的新方法是否能够起到与手术治疗类似的降低体重和改善饮食行为的效果。纵观整个研究，旨在实现从认识脑的基础理论到调控脑的临床转化的系统研究。

关键词：肥胖；脑成像；脑区功能连接

熵学习理论及在脑信号分析与处理中的应用

陈霸东

西安交通大学

目的：利用信息熵构建机器学习的目标函数可以显著提升学习的性能和对复杂噪声干扰的鲁棒性，成为机器学习和信号处理领域的重要研究方向。报告人近年来围绕该方向开展了深入研究，系统地发展了熵学习理论，做出了几项奠基性工作，推动了熵学习理论在实际中的应用。

方法：熵学习理论的相关研究包括：1）解决了最大互相关熵学习的收敛性和鲁棒性分析等若干基本理论难题，数学上严格证明了最大互相关熵随机梯度和不动点迭代两种自适应算法的收敛性，并证明了其对噪声的鲁棒性，给出了大噪声干扰下最大互相关熵学习最优解的摄动范围；2）提出量化的最小误差熵准则，将原有误差熵损失函数的计算复杂度从 O(N2) 降为 O(MN)，解决了最小误差熵学习的计算瓶颈问题；3）提出多核互相关熵，建立了通用的熵损失函数模型，将多种熵学习准则纳入统一理论框架。

结果：报告人围绕我国发展脑机接口技术的战略需求开展应用基础研究，将熵学习理论研究成果应用于解决脑机接口系统中关键技术问题，重点针对“脑信号去噪”、“脑信号特征提取”、“脑信号解码”等关键问题开展研究，研究结果表明熵学习理论适合于挖掘大脑中的复杂信息，获得较传统方法更优的特征及解码性能。

结论：基于熵学习理论的脑信号分析与处理方法有望提高脑机接口系统的可靠性和实用性，为我国脑机交互和人机混合智能可持续发展提供核心技术。本报告将系统阐述基于熵方法的鲁棒学习理论及基本算法，并结合包括脑机接口、大脑解码等实际问题，重点讨论其在脑信号分析与处理中的应用。

关键词：熵学习；多核互相关熵；脑机接口；大脑解码

Inflammation Disrupts the Brain Network of Executive Function after Cardiac Surgery

Qi Yang

Xuanwu Hospital, Capital Medical University, China

Objective: To investigate postoperative functional connectivity (FC) alterations across impaired cognitive domains and their causal relationships with systemic inflammation.

Methods: Seventeen patients, who underwent cardiac valve replacement, completed a neuropsychological test battery and brain MRI scan before surgery and on days 7 and 30 after surgery compared to age-matched healthy controls. Blood samples were taken for tumor necrosis factor-a and interleukin- 6 measurements. Seed-to-voxel FC of the left dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) was examined. Bivariate correlation and linear regression models were used to determine the relationships among cognitive function,FC alterations, and cytokines.

Results: Executive function was significantly impaired after cardiac surgery. At day 7 follow-up, the surgical patients, compared to the controls, demonstrated significantly decreased DLPFC FC with the superior parietal lobe and attenuated negative connectivity in the default mode network, including the angular gyrus and posterior cingulate cortex. The left DLPFC enhanced the connectivity in the right DLPFC and posterior cingulate cortex, all of which were related to the increased tumor necrosis factor-a and decreased executive function up to day 7 after cardiac surgery.

Conclusion: The decreased FC of executive control network and its anticorrelation with the default mode network may contribute to executive function deficits after cardiac surgery. Systemic inflammation may trigger these transient FC changes and executive function impairments.

Key words: cardiac surgery；executive function network；fMRI；postoperative cognitive dysfunction；systemic inflammation

空间记忆决策神经环路的类脑算法

张治国

深圳大学

目的：近年来实验神经科学发现动物大脑的多个脑区协同参与处理空间相关任务。例如，海马和内嗅皮层等相关区域具有高度有序的组织结构，是定位系统的主要组成部分；前额叶皮质通过整合不同维度或不同类型的外源、内源信息，建立情景、动作和奖赏的联系，承担融合信息与执行决策的工作，是大脑信息输入

输出的中转站。低能耗、高效处理复杂多类型任务是大脑工作的一大特色。因此，理解人脑工作机制，揭示人类智能的形成和运作原理，并提出相应的类脑算法，是当前人工智能领域的一个重要技术手段。

方法：本课题建立了视皮层 - 海马体 - 前额叶的多脑区新型类脑空间记忆决策模型，并在仿真环境应用中进行原理验证。视皮层模块利用 VGG16 网络的图像提取功能，模拟视皮层对环境图源信息的感知功能；海马体模块模拟内嗅皮层和海马区域发现的多种参与空间信息表征的细胞，利用栅格细胞规律的周期性位置野表征，头朝向细胞对方向的高敏感度，边界细胞探测环境边缘信息的计算能力，实现对空间位置、运动方向、环境形状的信息检测和表征；前额叶计算模块采取强化学习计算机制，融合来自视皮层和海马体对外界环境的不同感知信息，完成复杂动态环境下的路径规划和决策等任务。

结果：模拟结果显示模型可将执行不同功能的脑区算法模块化，使其具有可扩展性强、鲁棒性好（环境适应性、泛化能力）等多个优点，并且可以简单高效地移植到移动机器人计算平台。不同模块的模型仿真模拟都受到了实验神经科学结论的启发和指导，其可解释性优于其他相关“黑盒子”算法。

结论：我们的类脑算法为实验神经科学提供新颖的研究思路和方向，促进探索大脑工作机制的科学研究进程。

关键词：强化学习；海马体；内嗅皮层；路径规划

数字孪生脑 (DTB)：理论、平台及应用

郭大庆

电子科技大学

目的：大脑是一个由多脑区动态交互构成的复杂动力学系统。对大尺度脑动力学的模拟有望从系统层次阐明大脑的工作原理，在揭示高效脑信息处理机制、解锁脑功能与脑疾病以及发展类脑计算等方面发挥着越来越重要的作用。但该领域尚处于起步阶段，当前所建立的脑模型存在若干不足，不能满足人们对脑科学领域精准化研究的需求。我们专注于计算神经科学与类脑研究领域研究，致力于创新深入发展现有大尺度脑模拟技术，构建高精度数字孪生脑（Digital Twin Brain, DTB）理论，探索数字孪生脑模型在类脑研究中的应用。

方法：我们通过融合多时 - 空尺度、多模态的神经成像数据，引入并优化国际先进的“结构 — 功能”迭代优化理论，建立了具备完整自主知识产权的 DTB 平台，并以该平台为基础开展了系列类脑研究探索。

结果：我们的研究表明，基于反演技术所建立的 DTB 模型可在功能图谱层次，实现对大尺度脑动态的精准模拟（相似度 ~0.8）。利用 DTB 模型，我们深入解析了稳态视觉诱发电位（stable steady-state visual evoked potential, SSVEP）的全脑动态机制，揭示 SSVEP 频率敏感特性是由非线性夹带和共振引起的，可被大脑的内源性因素调节，为进一步优化 SSVEP 脑机接口提供了重要的理论支撑。在此基础上，我们进一步又将 DTB 模型应用在对认知功能、个性化医疗等典型类脑研究场景，取得了良好的效果。

结论:通过融合多模态成像数据和计算神经科学理论反演出的 DTB 模型，可以精准地复现大尺度脑动态，因此在解析智能模块，发展新型类脑智能算法框架以及构建脑疾病的精准个体化医疗等方面具有重要科学意义和广阔应用前景。

关键词：数字孪生脑；大尺度脑动态模拟；类脑智能；个体化医疗

无创脑 - 机接口发展与挑战

明东
天津大学

目的:脑 - 机交互是人 - 机交互的最高形态，是生物智能与人工智能融合的必经路径，脑 - 机接口作为脑 - 机交互的关键核心技术，已成为脑科学、人机交互等研究的前沿热点，对现代医学与智能科技发展意义重大，特别在康复、特种等领域的发展前景广阔。

方法：首先对脑 - 机接口技术进行基本概述，从脑 - 机接口的意义和背景出发，介绍了脑 - 机接口的基本原理及有创和无创神经活动两种采集方法；而后介绍了有创和无创脑 - 机接口的发展现状，列举了相关代表性成果，进而总结有创脑 - 机接口和无创脑 - 机接口殊途同归的共同发展趋势；而后，围绕神经基础、传感方式、软硬件系统、关键技术、典型应用等脑 - 机接口的全技术链条，介绍天津大学神经工程团队在无创脑 - 机接口领域面向航天医学、医疗临床、脑机操控等场景的最新研究进展；最后提出了脑 - 机接口目前面临的挑战及瓶颈，指出了脑 - 机接口未来的发展方向。

结果：脑 - 机接口技术目前仍面临一系列技术瓶颈，距离设想的未来目标仍然很遥远，其根本原因在于我们对大脑的认识仍然十分有限。随着世界主要大国脑计划的陆续开展，人类对大脑这一复杂器官的结构和功能的认识逐渐清晰，脑 - 机接口作为脑计划研究和应用的重要出口，未来将必然向着纵深发展，所面临的问题也终将被逐一突破。

结论：总之，脑 - 机接口的未来使命是突破人机之间界限、实现人机融合，脑 - 机联网、脑 - 脑联网将如现在的计算机互联网一样普及，并彻底颠覆人机关系和人类生活方式。

关键词：脑 - 机接口；无创；人机融合

专题口头报告

重复经颅超声刺激对大脑运动皮层的调控效应

张艺[1,2]、任李源[2]、刘凯[2]、童善保[2,4]、袁逖飞[1,3]、孙俊峰*[2,4]

1. 上海市重性精神病重点实验室，上海市精神卫生中心，上海交通大学医学院
2. 上海交通大学 生物医学工程学院
3. 南通大学 神经再生协同创新中心
4. 上海交通大学 脑科学与技术研究中心

目的：经颅超声刺激 (TUS) 作为一种新型的非侵入式神经调控技术，可以有效且安全地调控啮齿类动物、灵长类动物及人类的大脑活动。相对于传统经颅磁刺激或电刺激而言，TUS 具有更高的空间分辨率并可以靶向到深部脑区，进行更为精确的调控。研究表明，单次经颅超声刺激可有效调控皮层及深部区域，短时程 (15-40 秒) 的重复经颅超声刺激 (rTUS) 也可有效调控大脑活动。然而，rTUS 对突触可塑性的调控效应以及效应的持续时间还未有研究。本研究旨在探索 15 分钟的 rTUS 对健康被试左侧初级运动皮层以及皮层相关运动抑制控制功能的调控效应，并对效应持续时间进行进一步探索。

方法：本研究采用交叉实验设计，共 24 名男性健康被试参与试验。每名被试均接受 rTUS 真刺激与 rTUS 伪刺激，顺序随机。在每次 rTUS 干预时，采集被试临床量表、运动诱发电位 (MEP) 以及行为学任务信息。每名被试在干预前首先确定个体化的静息态运动阈值 (RMT)，之后在 rTUS 干预前，采用 120% 的 RMT 进行两次 MEP 的基线测量，确保基线稳定，在 15 分钟 rTUS 干预后进行三次间隔时间为 15 分钟的 MEP 测量。此外，本研究采用停止信号任务 (SST) 探测运动抑制控制能力在 rTUS 干预前后的改变。每位被试在 rTUS 前后均分别进行 SST 任务范式的测量。

结果：结果显示，在 rTUS 真刺激干预后，与基线状态以及 rTUS 伪刺激结果相比，MEP 幅值显著升高，并且该变化可持续 30 分钟。此外，相较于 rTUS 伪刺激，在 rTUS 真刺激干预后，被试的停止信号反应时呈现显著下降，表明 rTUS 干预对可以有效提升健康被试的运动抑制控制能力，提示对行为表现的调控效应。进一步的相关分析显示，MEP 幅值升高与停止信号延迟时间增加呈显著正相关。

结论：本研究表明，15 分钟的 rTUS 干预可以有效调控运动皮层与相关运动抑制控制能力，产生持久一致且显著的变化。提示 rTUS 干预在临床应用中的巨大潜力。

关键词：重复经颅超声刺激；停止信号任务；皮层可塑性；运动诱发电位；抑制控制

时间相关失匹配负波和频率相关失匹配负波的重测可靠性

王婧仪[1]、陈婷婷[1]、焦雄[1]、刘凯[1]、童善保[1,2]、孙俊峰*[1,2]

1. 上海交通大学 生物医学工程学院
2. 上海交通大学 脑科学与技术研究中心

目的：失匹配负波 (Mismatch Negativity，MMN) 是一种典型的听觉诱发电位，由一系列重复的标准刺激中随机插入的偏差刺激所诱发，根据偏差刺激的类型分为时间相关失匹配负波 (dMMN) 和频率相关失匹配负波 (fMMN)。近年来，失匹配负波已成为一种重要的神经生理学标志物，在探索大脑认知功能和精神疾病的

诊断中具有重要作用。目前已知的相关文献中，多数文献仅探究了两个批次中 MMN 的重测可靠性（test-retest reliability），在长时间、多批次的临床实验中参考性略显不足；同时，大多数研究采用皮尔逊相关系数作为衡量可靠性的统计参数，这种方法可能导致忽视了系统误差带来的影响。本研究旨在通过多批次、重复性地采集数据，对不同类型 MMN 进行重测可靠性分析，为 MMN 认知神经研究结果的可靠性和临床实用性提供实验依据。

方法：本实验对 dMMN 和 fMMN 的可靠性进行分析。首先，采用传统的 Oddball 范式，对 16 名被试每人均进行四批次的 64 通道脑电数据重复采集实验，每两批次之间间隔 3-4 天。经过预处理和叠加平均，得到 dMMN 和 fMMN 差异波。此后，采用组内相关系数 (ICC) 对 MMN 信号的幅值与潜伏期进行可靠性分析。同时，本实验还对所有被试中 dMMN 与 fMMN 幅值的相关性进行了探究。

结果：四个重复批次中 dMMN 和 fMMN 幅值表现出良好的重测可靠性。其中，fMMN(平均 ICC=0.7279) 的重测可靠性较 dMMN(平均 ICC=0.6971) 更好。此外，dMMN 和 fMMN 幅值具有中等程度相关性。

结论：这项实验证明 dMMN 和 fMMN 幅值在四个批次的实验中具有较为优秀的重测可靠性，且 fMMN 相对来说更为优异。此外，dMMN 和 fMMN 的幅值具有相关性，能够一定程度上反应其内在机制的联系。本实验结果佐证了 MMN 在长时间和多阶段研究中的可靠性，以及作为表征前注意过程和精神疾病的生物标志物的可行性。

关键词：失匹配负波；时间相关失匹配负波；频率相关失匹配负波；重测可靠性；组内相关系数

ADHD 儿童神经反馈训练任务脑电的特征分析

张杜娟、胡声靖、贺一兴、王索刚 *

天津医科大学

目的：注意力缺陷多动障碍（ADHD）是一种常见的儿童神经系统发育障碍，而神经反馈（NF）训练是一种能够有效改善 ADHD 症状的非药物干预手段。研究 ADHD 儿童静息或任务状态下的脑电（EEG）活动，对评估 ADHD 儿童的神经功能方面起着重要作用。因此，本文旨在研究 ADHD 儿童在神经反馈训练中，自我调节注意力任务态脑电特征的动态变化。

方法：对 25 名 ADHD 儿童（7-12 岁）采用了由 θ/β 训练和 δ 训练方法组合而出的神经反馈复合训练范式。训练中记录了 Fz、Cz 两个通道任务态脑电数据。利用 TBR 值、相对功率和相位幅度耦合法，量化 ADHD 儿童在神经反馈复合训练过程脑电信号的特征，对比分析前期与后期神经反馈中自我调节训练所引起的脑电特征变化。

结果：对比训练前期，ADHD 儿童在 θ/β 训练后期的 TBR 值在 Fz、Cz 上显著降低，θ、β 节律的相对功率降低并且伴随着 γ 的显著升高；并且在 Fz、Cz 上都出现 δ-α、δ-βL、δ-βH、δ-γL、δ-γH、θ-βH、θ-γL 等频率对的耦合强度显著增强。而在 δ 训练中，ADHD 儿童 δ 频段的绝对功率在后期训练中显著降低，θ 和 β 频段的相对功率升高；对 δ 的抑制训练在 Fz 上的 θ-α、θ-βL、θ-γL、α-βL 节律对间的耦合强度有着显著的抑制作用，而对 βL-γL 节律对的耦合强度显著增强，其中 α-βL 节律对在 Cz 上一致降低，且 Cz 上的 δ 与高频节律对间的耦合强度也有显著的增强。

结论：神经反馈训练的任务态脑电特征研究结果表明，利用神经反馈训练，ADHD 儿童能够实现预期的脑电调制功能。神经反馈训练后 ADHD 儿童静息脑电特征也有改善，且更接近健康儿童脑电特征。同时认知行为量表结果显示训练后 ADHD 儿童异常行为症状有改善。因此，神经反馈训练中自我调节注意力任务态脑电特征分析可以作为评估 ADHD 神经反馈训练效果的一种客观定量方法。

关键词：ADHD；神经反馈；任务态脑电；相位幅度耦合

一种构建时变有向脑电网络的多元非参数动态格兰杰因果方法

易婵琳[1,2]、邱源[1,2]、陈婉钧[1,2]、李发礼[1,2]、尧德中[1,2]、徐鹏*[1,2]
1. 电子科技大学神经信息教育部重点实验室，成都脑科学研究所临床医院，
2. 电子科技大学生命科学与技术学院，医学信息中心

目的：理解大脑中的因果关系有助于探索大脑如何进行高效地适应性信息处理，为因果关系和脑启发的机器学习方法提供灵感。脑电是一种高时间分辨率、易操作、便携、且性价比高的大脑成像技术，其时变有向网络是研究大脑各区域间毫秒级动态因果信息流的潜在工具。目前，其构造仍依赖于多元自适应自回归(MVAAR) 等参数化方法，性能在很大程度上依赖于 MVAAR 模型参数的准确估计。而这类方法的模型参数 (如模型阶数) 确定困难，且难以对复杂因果关系建模，往往无法捕获大脑内真实的复杂因果关系交互。因此，在本研究中，我们提出了一种新的多元非参数动态格兰杰因果关系 (mndGC) 方法用于时变有向网络构建，该方法采用数据驱动的方式直接从数据本事推断因果关系，从而避免了模型依赖的 MVAAR 方法的陷阱。

方法：首先进行了仿真研究，将所提出的 mndGC 方法与典型的传统参数化方法进行对比研究，对其在噪声干扰下恢复预定义的网络变化模式的能力进行定量评估。随后，进一步的将提出 mndGC 方法应用到运动想象真实脑电数据集上，探索左、右手运动想象在不同认知阶段大脑因果信息交互的变化。

结果：仿真研究表明，该方法在抗噪声和捕获有向网络瞬时变化方面具有显著的优越性。应用真实运动表象数据集，揭示了左、右手运动想象在不同运动想象阶段的网络拓扑结构上具有可区分的模式和特征，即事件相关去同步 (event- ralated desynchronization,ERD) 阶段的对侧偏侧性现象和运动准备和事件相关同步 (event- ralated synchronization,ERS) 阶段的对称性活动模式。

结论：我们的研究将时变网络分析扩展到非参数场景下，不仅应用于时变有向脑电网络构建对揭示我们大脑中因果关系的奥秘至关重要，而且对各学科中广泛遇到的多元信号之间的因果关系捕获有重要的推动作用。

关键词：多元非参数动态格兰杰因果；脑网络；格兰杰因果；脑电；运动想象

Representation and decoding of bilateral arm motor imagery using unilateral cerebral local field potential signals

Jiafan Lin*
浙江大学

Objective: In upper limb brain computer interfaces (BCIs), there are some researches focusing on bilateral decoding and have implemented bilateral BCIs. However, they were based on the neural signals from two cerebral hemispheres. In addition, most studies used spikes for decoding. Although spikes had higher accuracies, they were not so stable in long-term recording and decoding than local field potentials (LFPs). In this paper, we examined the representation of different laterality and regions arm motor imagery in unilateral motor cortex and decoded different motor imagery tasks based on LFPs.

Methods: The LFP signals were recorded from a 96-channel Utah microelectrode array implanted in the left primary motor cortex of a paralyzed participant (Trial Registration: Chinese Clinical Trial Registry ChiCTR2100050705; https://www.chictr.org.cn/showproj.aspx?proj=130829). There were 7 kinds of motor imagery tasks in the experiment, which were rest, left, right and bilateral elbow and wrist flexion. We performed time-frequency analysis on the LFP signals and analyzed the representation and decoding of different tasks using the energy of different frequency bands.

Results: The frequency range of <8 Hz and >38 Hz showed energy activation, while 8-38 Hz showed energy suppression in time-frequency spectrograms while performing motor imagery. In the 135-300 Hz frequency band, there were significant differences in average energy between the tasks with different laterality and with different regions. Movement region and laterality were represented in two dimensions. The 135-300 Hz frequency band signal had the highest decoding accuracy among all frequency bands and the error was mainly caused by the confusion of the contralateral and bilateral tasks. The contralateral and bilateral signals had more similar single-channel energy activation patterns and larger signal correlation.

Conclusion: The results showed that the unilateral LFP signal had different energy representations for the motor imagery of different laterality and regions on the average energy and single-channel energy levels, and bilateral arm motor imagery could be decoded, especially in high frequency band, such as 135-300 Hz. In addition, the contralateral and bilateral signals were more similar.

Key words: brain computer interface; local field potential; bilateral decoding; unilateral motor cortex; motor imagery

基于模糊熵的精神分裂症时间变异性研究

姜林 [1,2]、李发礼 [1,2]、陈宝丹 [1,2]、何润洋 [1,2]、尧德中 [1,2]、徐鹏 *[1,2]

1. 电子科技大学神经信息教育部重点实验室 成都脑科学研究所临床医院

2. 电子科技大学生命科学与技术学院 医学信息中心

目的：发展一种基于模糊熵的静息态脑电（resting-state electroencephalogram, rsEEG）时间变异性分析方法，并将其应用于精神分裂症患者（schizophrenia, SZ）与正常对照组（health control, HC）之间的时间变异性拓扑模式差异研究中，旨在从 rsEEG 时间变异性角度揭示 SZ 的生理病理机制。

方法：本研究获得了北京大学第六医院伦理委员会的批准，18 名 SZs 与 19 名 HCs 均已仔细阅读并签署书面《知情同意书》。使用 Symtop 放大器（Symtop 仪器，北京，中国）记录 SZ 患者和 HC 被试在静息态和任务态下的 EEG 数据集。首先采用零参考技术和 0.5-30Hz 带通滤波对 rsEEG 数据进行预处理，基于 5s 滑动窗数据采用相干方法获取 rsEEG 动态功能连接；采用模糊熵方法获取单个被试的时间变异性模式，并使用独立样本 T 检验统计 SZ 和 HC 的拓扑变异差异。随后提取个体变异性网络指标以及 P300 幅值，挖掘这些指标与个体认知表现（P300 幅值）间的相关性，并将其作为特征采用多元线性回归分析分别预测 SC 患者与 HC 被试的认知表现。

结果：SZ 患者额叶与右顶叶等脑区的中程连接时间变异性向着复杂度减弱、灵活性降低方向发展，与其广泛的神经认知缺陷密切相关；后部脑区灵活性的增强可能是由于患者对外部环境的过度警觉性。这些时间波动畸变综合反映了 SZ 功能网络切换的协调性异常，进而导致其更差的认知表现以及个体变异性指标与 P300 幅值之间的负相关关系。使用网络度量作为特征，所建立的模型可准确预测患者的认知表现。

结论：本文发展了基于模糊熵的 rsEEG 时间变异性分析方法，深入挖掘大脑网络可变性和神经活动的耦合关系。时间变异性拓扑模式可定位 SZ 患者广泛的功能异常区域，为 SZ 功能失调性网络机制提供了潜在模糊证据。时间变异性指标有望成为 SZ 的特异性电生理指标，具有潜在的临床应用价值。

关键词：精神分裂症；时间变异性；模糊熵；静息态

基于多模特征融合的睡眠分期研究

李存波、李宁、汪义锋、李发礼、徐鹏 *

电子科技大学

目的：睡眠对人体健康非常重要，睡眠障碍会引起各种临床疾病，如抑郁症、心血管疾病等。目前，临床针对睡眠障碍的治疗主要依赖于对患者睡眠状态的诊断评估和刺激调控。然而，由于专家决策的主观性，不同的专家往往会有不同的睡眠评分结果。相关研究表明，两位专家评分结果的一致性仅为 83±3%。因此，如何利用睡眠的电生理信号（如 EEG，EOG）实现对睡眠状态的自动评分及准确预测对临床睡眠障碍的治疗具有重要意义。

方法：国际公认的睡眠标准将每 30 秒定义为一个睡眠周期，这就说明在一个睡眠周期内大脑可能具有稳定且相似的活动模式。基于这个假设，我们提出一种基于单通道睡眠脑电、眼电数据的多模特征融合睡眠评分与预测系统。具体来说，利用睡眠过程中的 EEG 和 EOG 数据，捕捉同一睡眠周期下大脑的活动模式，进而挖掘出能反映同一睡眠周期中 EEG 和 EOG 数据周期性活动模式的特征集；同时，利用已有的特征提取方法提取 EEG 和 EOG 的能量特征，如功率谱密度、样本熵，再利用特征融合与筛选算法从多模态特征中选出最优特征集，利用最优特征集训练预测模型，进而实现对睡眠状态的准确预测。

结果：为验证所提方法的有效性，利用国际公开睡眠数据集 Sleep-EDF 及西南大学睡眠中心数据进行验证实验。实验结果均表明：与单一模态特征相比，基于多模特征融合的睡眠分期系统能达到最高的分类准确率。对比发现，基于 EEG 和 EOG 数据周期性活动模式提取到的特征能有效弥补传统基于能量实现特征提取的不足，实现睡眠过程中大脑周期性电生理活动模式的捕捉。因此，多模特征融合与筛选策略能实现对多模态数据全面、高效的信息挖掘，从而可达到对睡眠状态更好地评估和预测效果。

结论：利用 EEG 和 EOG 等电生理数据可实现睡眠状态下多模特征的挖掘与整合，进而达到更好的睡眠自动评估与预测效果，该策略可为临床睡眠障碍类疾病的诊断及干预治疗提供有效辅助，也为便携式睡眠分析仪的设计提供潜在的可行性方案。

关键词：脑电图；睡眠分期；多模融合

The long-term Effects of electrical stimulation training on the hippocampal synaptic plasticity in vitro based on SWCNTs/PEDOT:PSS nanocomposites-modified microelectrode array

Yaoyao liu[1,2]、Shihong xu[1,2]、Jinping luo[1,2]、Yu deng[3]、Enhui he[1,2]、Kui zhang[1,2]、Yan yang[1,2]、Luyi jing[1,2]、Shengwei xu[1,2]、Longze sha[3]、Qi xu[3]、Xinxia cai*[1,2]

1. State Key Laboratory of Transducer Technology,
Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences
2. University of Chinese Academy of Sciences
3. State Key Laboratory of Medical Molecular Biology,
Institute of Basic Medical Sciences, Chinese Academy of Medical

Objective: Synaptic plasticity, which contributes a lot to learning and memory function of the brain, can be induced by electrical stimulation. Most researchers use electrical field to study the plasticity of hippocampal neuronal network in vitro, a substitute for simplified brain model. However, little is known about long-term effects of the functional electrical stimulation because neurons are delicate when they are not in body environment. In this work, we present the long-term consequence of repeat electrical stimulation by adopting

a high-biocompatible SWCNTs/PEDOT:PSS nanoparticle-modified microelectrode array.

Methods: We first manufacture the microelectrode array using MEMS technology. Every electrode is modified with SWCNTs/PEDOT:PSS nanocomposites by cyclic voltammetry (CV, 50 mV/s, 10 cycles) with a potential range of 0.1 V to −0.95 V. Then, hippocampal neurons are grown on the chip for 21 days. Furthermore，200 mV, 200 ms, 300 s, 1 Hz square voltage stimulation is performed on the cultured neuronal network for three times to induce the learning phenomenon. Each of the electric pulses stimuli has the same interval for 5 minutes. We carefully monitor the neuronal activity after electrophysiological stimulation continuously for over 2 hours until all the concerned hippocampal neurons stop generating signals. Moreover, the neuron morphology is observed.

Results: By summarizing parallel cellular recording of multiple neurons and statistically analyzing evolution of action potentials over consecutive hours for single cells, it's obvious that the immediate change aroused by electric pulses stimuli lasts for a while. There follows a slow decay in the shape and the amplitude of the action potential. At the same time, synchrony and firing rate of the cultured neuronal network decline. The neuron involved in the network having the highest action potential signal strength is the last to stop producing neural action potential pulse. When all interested cells end emitting signals, the recording is over. The average duration is longer than 2 hours and the longest is 4.5 hours.

Conclusion: Our experiment validates the biocompatibility of a SWCNTs/PEDOT:PSS nanocomposites-modified microelectrode array. And the recording on multiple neurons after electrical stimulation training, in parallel, over several consecutive hours reveals that electrical stimulation not only can deliver message to the neuronal network and keep their memory, but also has the probability to silence specific neurons to change the synaptic plasticity. Notably, our findings provide a clear path toward wider usage of electrical stimulation in neuroscience field.

Key words: SMCNTs/PEDOT:PSS; microelectrode array; electrical stimulation; synaptic plasticity; nanocomposites

PEDOT:PSS/rGO 修饰微电极阵列用于检测激活海马神经元网络可塑性

杨燕[1,2]、徐世弘[1,2]、罗金平[1,2]、邓宇[3]、何恩慧[1,2]、张奎[1,2]、刘瑶瑶[1,2]、景露易[1,2]、徐声伟[1,2]、沙龙泽[3]、许琪[3]、蔡新霞*[1,2]

1. 中国科学院空天信息创新研究院 传感技术国家重点实验室
2. 中国科学院大学
3. 中国医学科学院基础医学研究所 医学分子生物学国家重点实验室

目的：电刺激是研究神经元网络可塑性的重要手段，但过高的电刺激幅值容易给神经元带来不可逆转的损伤，而过低的电刺激则难以激活网络的可塑性。为了解决这一问题，我们利用纳米复合材料 PEDOT:PSS/rGO 修饰微电极阵列具有高比表面积、低阻抗、高信号稳定性的特性，研究激活网络的最佳电刺激条件，这为以后网络功能的研究提供了有利的支撑依据。

方法：在自制的 60 通道 PEDOT:PSS/rGO 修饰微电极阵列上，将大鼠海马神经元培养，利用倒置显微

镜来观察神经元的网络连接情况。待网络功能成熟后，使用 2 通道电生理电刺激仪器对培养的神经网络施加双极性方波电压电刺激，利用 Cerebus 神经电生理记录系统来记录神经网络放电信号，并由 Offline Sorter 和 NeuroExplorer 进行分析。电刺激的具体条件为：脉宽 200 μs、频率 1 Hz，每次电刺激持续 5min；施加幅度分别为 0.1、0.5、10、25、50、75、100、200、300 mV 的电刺激，来探究最佳刺激模式。

结果：在倒置显微镜下可以看出，体外培养海马神经元到 14 天时能形成完整的网络连接。电刺激检测实验结果表明，电刺激幅值低于 50mV 时，神经元放电模式与其自发放电无显著差异；当电刺激幅值达到 50mV 后，神经元的放电模式开始转变为有序的同步 burst 发放模式，具体表现为网络的 burst 数目明显增加，且神经元活动的同步性大幅增强，这说明经过有效的电刺激训练后神经元网络成功地激活了可塑性。然而，当电刺激幅度超过 200mV 时，电刺激开始出现对神经元不可逆转的损伤，表现为神经元的活动经过高幅度电刺激后迅速消失。

结论：本研究采用 PEDOT:PSS/rGO 修饰微电极阵列实现了对体外培养海马神经元网络施加梯度幅值的电压刺激，并探索出体外激活海马神经元网络可塑性较为妥当的幅值范围，这对揭示神经元网络可能的学习机制具有重要意义。

关键词：微电极阵列；PEDOT:PSS/rGO；电刺激；神经元网络

重复内嗅皮层电刺激促进正常小鼠的探索行为和海马神经发生

孙雨伟 [1,2]、罗尹培 [1,2]、李卫娜 [3]、吴小鹰 [1,2]、郑小林 [1,2]、侯文生 *[1,2]

1. 重庆大学生物流变科学与技术教育部重点实验室
2. 重庆市医疗电子工程技术研究中心
3. 陆军军医大学第一附属医院神经外科

目的：内嗅皮层（EC）的激活可促进海马齿状回区域的神经发生，而该区域的脑深部电刺激调控在动物研究中已初步展现出正向结果。本研究采用重复脑深部电刺激（DBS）结合行为学和方法，研究重复 EC DBS 对正常小鼠自发探索行为和海马神经发生的影响。

方法：6 只 C57 小鼠在异氟烷麻醉状态下植入双侧 EC 刺激电极（AP:-4.0，ML:±3.12，DV:5.0），经恢复一周后进行刺激。此时，所有小鼠均为 4 月龄。使用 Master-9 及配套的隔离器进行连续 21 天刺激（130Hz, 90 μs, 100 μA，1h/d）。实验设置了未植入电极的小鼠（n=9）作为对照组。刺激完毕后，使用旷场实验检测小鼠的探索行为。小鼠允许在旷场中自由活动 5 分钟，将旷场划分为 16 宫格，外圈和内圈分别记为四周区域和中央区域，评估了移动距离、平均移动速度、区域活动时间。小鼠经心脏灌注后剥离脑组织，脑组织经固定和脱水后进行冰冻切片后再进行免疫荧光实验。免疫荧光实验使用 anti-DCX 抗体检测海马神经发生。

结果：行为学数据分析发现，经重复 EC DBS 干预的小鼠与未进行干预的小鼠在旷场中的总移动距离和平均移动速度无明显差异，表明 DBS 对 C57 小鼠的运动能力无明显影响。而刺激组在四周活动时间显著少于未干预组，在中央区域活动时间显著多于未干预组，这说明刺激组更具有“冒险”倾向，即重复 EC DBS 增加了正常小鼠的探索行为。我们检查了重复 EC DBS 对海马齿状回区域神经发生的影响。DCX 是一种微管相关的磷酸化蛋白，在神经元祖细胞和未成熟神经元中表达，是成年神经发生的标志物。实验结果表明刺激组的 DCX 阳性细胞数量显著高于未干预组，表明重复 EC DBS 促进了正常小鼠的海马神经发生。

结论：重复 DBS 刺激内嗅皮层能促进正常小鼠的探索行为和海马神经发生。这些结果将有助于更好地探索 EC DBS 在神经系统疾病和精神疾病中的应用。

关键词：脑深部电刺激；内嗅皮层；神经发生

基于运动皮层场电位的步态冻结预测模型

徐君宙[1]、聂英男[1]、朱冠宇[2]、尹子霄[2]、王守岩*[1]

1. 复旦大学类脑智能科学与技术研究院

2. 首都医科大学附属北京天坛医院

目的：步态冻结是帕金森病晚期患者常见的难治性步态障碍，传统的电刺激和药物治疗对此症状的改善并不显著。通过预测冻结状态进行反馈控制闭环深部脑刺激有望提升步态障碍的治疗效果，因此本文旨在建立一种基于运动皮层场电位信号的冻结步态状态预测模型。

方法：1. 数据采集：共纳入 12 名具有冻结步态症状的帕金森病患者，步态测试实验时患者执行 5m 往返任务并同步记录初级运动皮层臂区的 ECoG 信号。步态冻结状态由三维空间运动监测冻结指数确定。

2. 特征提取：计算场电位信号的峰参数、谷参数、上升参数、下降参数、陡峭度和锐度等，共 14 个特征值，作为预测模型的输入。

3. 预测模型：由于不同病人的数据间存在个体差异，需要在预训练模型的基础上使用迁移学习，满足新病人的特异性。

(1) 预训练模型：本文采用三层感知机预训练模型，包括输入层、单隐层和输出层，分别包含 14、7、2 个神经元，其中输出层的两个神经元 0 代表非冻结，1 代表冻结。考虑到个体差异，对每个患者的数据分别进行个体归一化。损失函数采用交叉熵函数，训练过程使用 Adam 优化器，学习率为 0.001。

(2) 迁移学习模型：为在预训练模型基础上获得针对特定被试的个性化预测模型，本研究将预训练模型的所有参数作为迁移学习模型的初始参数，在事先取出的一个病人的数据上进行再训练，损失函数采用交叉熵函数，训练过程使用 Adam 优化器，学习率为 0.001。

4. 模型评估：本研究使用关于病人的留一法交叉验证进行评估，主要考虑召回率和特异性作为预测模型好坏的评价指标。

结果：预训练阶段召回率和特异性分别为 0.844±0.006 和 0.842±0.012，迁移学习后召回率和特异性分别为 0.844±0.018 和 0.835±0.016。

结论：本研究所述预测模型可准确预测冻结事件的发生，为闭环脑深部电刺激系统调控提供反馈指标。

关键词：步态冻结；预测；神经网络；迁移学习

Silver nanowire immobilization on polymeric substrate for flexible and transparent electronic devices

Sara khademi[1,2]、Kiyumars Jalili[2]、Hao Wang[1]、Tianzhun Wu*[1]

1. Shenzhen Institute of Advanced Technology,Chinese Academy of Sciences

2. Sahand university of Technology, IRAN

Objective: In recent years, flexible, transparent, conductive electrodes have become more popular in wearable, flexible, and semitransparent electronics. Due to the fact that ITO is brittle and expensive for flexible electronics, silver nanowires (AgNWs), owing to their outstanding optoelectronic properties and superior mechanical flexibility, are widely utilized in flexible transparent electronics such as optoelectronic devices [1], light-emitting displays [2], wearable electronics [3], and flexible solar cells [4]. Adhesion to the substrates and precise patterning of AgNWs are crucial in a flexible electronic device. In order to commercialize AgNWs devices,

suitable patterning Methods should be developed. So far, AgNWs patterning [5] and improvement adhesion [6, 7] among AgNWs and substrate by chemical and physical Methods have been reported. Herein, we proposed a facile and accurate AgNWs patterning by grafting them to the polymeric substrate. Indeed, AgNWs have grafted on the substrate by grafted cysteamine via microwave (MW) irradiation. Microwave as electromagnetic radiation can considerably reduce the reaction times from several hours to a few minutes due to speed up the reaction rate [8].

Methods: In order to graft cysteamine on the substrate, first free radicals and functional groups, especially the -COO-, -C=O, -COOH, -OH groups were created on the surface by O2 plasma treatment. After that, substrates were inserted into a cysteamine solution and put them in the microwave. Then samples were rinsed in ethanol and water, following dried by nitrogen gas. After the cysteamine had been grafted on the substrate, silver NWs were deposited on the substrate by spin coater at 1000 rpm. Subsequently, the substrate passed through a commercial hot-roll laminator at 100°C as shown in Figure 1 (a-e).

Results 1- Contact Angle Analysis:

In order to obtain the best surface free energy, PI substrate was treated by O2 plasma at different exposure time. The variation of contact angle with exposure time with O2 plasma to understand the surface affinity is shown in Figure 2-a. Contact angle remarkably reduced for both water and glycerol. In the case of water, the contact angle was reduced from 59.65° for pristine PI to 9.52° only after 35 sec exposure time. The surface free energy, polar, and dispersion components of the surface free energy are calculated and plotted as depicted in Figure 2-b to show the effect of exposure time. Consequently, a dichotomy is shown between high-polar and low-dispersion characteristics on the PI surfaces because of increasing amount of polar groups such as -COO-, -C=O, -COOH, -OH on the PI surfaces, which can significantly affect on the cysteamine grafting.

2- Atomic Force Microscopy (AFM) Characterization

Figure 3 illustrates the AFM images for a PI substrate treated with O2 plasma and grafted with cysteamine at low and high MW power for different irradiation time. It is apparent from phase images that cysteamine grafted on PI surfaces for all samples at low and high MW power. In comparison between phase images, it is clear that cysteamine is uniformly grafted on PI surfaces at high MW power rather than the lower power. The probability of recombination of a radical pair may be increased by a strong magnetic field that can be controlled by MW irradiation [9]. This acceleration is due to a collective vibration of electrons induced by MW irradiation.

3- X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)

Successful grafting of thiols has been confirmed by XPS, which clearly indicated the oxygen concentration created on PI surfaces after plasma treatment and decreased and the Sulphur concentration increased after thiol grafting (Table 1).

4- SEM Characterization

The scanning electron microscopy (SEM) images of AgNWs graft on the PI and PET substrate are shown in Figure 4. The density of AgNWs patterns could be readily tuned by changing AgNWs concentration. The density of AgNWs strongly effects on optical and electrical properties. The line width in PI substrate is 6μm and it is obvious that AgNWs can be accurately patterned in small size which relies on the photolithographic step. The SEM image demonstrates that AgNWs uniformly have been patterned and grafted on both PI and PET substrates.

Conclusion: In this paper, AgNWs were covalently bonded to the PI and PET substrate and enhanced NWs adhesion to the substrate. Since cysteamine can graft on the polymeric substrate such as PET, PI, PS, PTFE, PVDF and so on, we anticipate that this technique can be widely used for immobilization inorganic nanoparticles such as gold and silver on different polymeric substrates in various applications. Besides, by using MW to graft cysteamine on the PI surfaces, reaction time is remarkably reduced from 24 hours to 1 min. We believe this method has great potential in transparent and stretchable devices with long-lasting performance.

Key words: AgNWs; Immobilization; graft; patterning

比较 tDCS 和 tACS 对改善帕金森病的运动和认知功能效果的差异研究

朱影[1]、孟秋建[1]、倪睿[2]、袁野[1]、杨丽[1]、陈先文[3]、卜俊杰*[1]

1. 安徽医科大学

2. Imperial College London

3. 安徽医科大学第一附属医院

目的：比较经颅直流电刺激 (tDCS) 和经颅交流电刺激 (tACS) 对帕金森病 (PD) 患者的运动和认知功能的影响及两者的差异。

方法：共招募 43 名 PD 病人，分 3 组：tDCS 组 (阳极 : 左侧初级运动皮层 (M1); 阴极 : 对侧 M1;2mA; n=17)、tACS 组 (阳极 : 左侧 M1; 阴极 : 对侧肩部 ;2mA ; n=15) 和对照组 (sham ; 阳极 : 左侧 M1; 阴极 : 对侧 M1; n=11)。每组刺激 20 分钟，期间同时完成 15 分钟简单反应任务。刺激前后完成 5 分钟睁眼静息态脑电、帕金森病综合评分量表 (UPDRS Ⅲ)、蒙特利尔认知量表 (MoCA) 的采集。

结果：在运动方面，对 UPDRS 分量表一震颤进行 2*2 方差分析，发现 tDCS 和 tACS 有显著差异 (F=3.87,P=0.05)，相对 sham，tDCS 和 tACS 在 UPDRS 分量表一运动迟缓上均达到了显著改善 (tDCS：F=4.32, P=0.04; tACS：F=4.55, P=0.04)。在认知方面，对 MoCA 分量表一语言进行 2*2 方差分析，发现 tDCS 和 tACS 有显著差异 (F=3.63，P=0.06)，相对 sham，tDCS 在语言上有显著改善 (F=6.4,P=0.01)，tACS 无显著改善。对脑电频谱能量进行 2*2 方差分析，发现 tDCS 和 tACS 在 θ 段有显著差异 (C3: F=3.99,P=0.05)，与震颤近似显著相关 (r=0.35,P=0.08)。相对 sham，tDCS 在 γ 段上显著增强 (PO3: F=4.93, P=0.03)，与语言相关 (r=0.61,P=0.01)，tACS 无任何显著差异和相关。

结论：tDCS 和 tACS 均可以改善 PD 的运动迟缓。与 tACS 不同，tDCS 还可以改善 PD 的震颤，并与 θ 段能量降低相关。在认知方面，tDCS 可以改善 PD 的语言功能，并与 γ 段能量升高相关，但在 tACS 中未发现这种现象。此发现将为临床上选择何种电刺激干预 PD 提供潜在的应用方案。

关键词：帕金森病；经颅直流电刺激；经颅交流电刺激；运动和认知功能；脑电

青年学者 - 青年优秀论文复赛

结合测试样本无监督学习信息的 SSVEP 特征增强方法

肖晓琳 [1,2] 王丽婕 [2] 许敏鹏 [1,2] 明东 [1,2*]

[1]（天津大学精密仪器与光电子工程学院，天津 300072）

[2]（天津大学医学工程与转化医学研究院，天津 300072）

目的：基于稳态视觉诱发电位（SSVEP）的脑 - 机接口（BCI）系统具有目前最高的交互精度和速度，但其性能依赖于充足的离线训练数据和系统校准时间，仍需发展新型的 SSVEP 计算方法。方法：研究提出了一种结合训练样本有监督学习和测试样本无监督学习的 SSVEP 特征增强方法——试次循环移位 (CST)，根据 SSVEP 的频率特性对训练和测试数据进行 CST，一方面提升训练数据信噪比，一方面减弱测试数据与非目标频率间的相关性，扩展可用于系统校准的数据量。研究基于 CST 方法，结合典型相关分析（CCA）和任务相关成分分析（TRCA），设计了 40 指令的 SSVEP-BCI 系统进行在线测试。结果：CST 对 SSVEP 特征的解码效果有明显提升，在 36s 校准时间的条件下，系统在线信息传输速率（ITR）最高可达 212.62 bits/min。结论：研究提出的 CST 方法可有效增强 SSVEP 特征，减少系统校准时间，提升 SSVEP-BCI 的系统性能。

关键词：脑 - 机接口；稳态视觉诱发电位；试次循环移位；典型相关分析；任务相关成分分析

基于小波变换和并行 CNN 特征融合的 fNIRS 诊断重度抑郁症方法研究

王刚 [1*] 王光明 [1,2] 吴宁 [2] 闫相 [1]

[1]（生物医学信息工程教育部重点实验室，西安交通大学生命科学与技术学院，陕西，西安 710049）

[2]（西安交通大学电子与信息学部，陕西 西安 710049）

抑郁症是一种常见的精神疾病，严重时甚至会导致自杀，为了减轻其影响需要准确的诊断和及时治疗。然而，目前抑郁症的诊断只能依靠主观的量表，缺乏客观的生物标记物。功能近红外光谱技术（fNIRS）可以监测脑血氧活动，或可作为抑郁症诊断的生物标记物。因此，提出了一种基于小波变换和并行卷积神经网络特征融合的算法，用于对重度抑郁症患者与健康被试进行分类。在这里，放置在被试左右两侧前额区域的两个探针的数据被用作数据集的数据来源，以验证少通道 fNIRS 数据的效果。在结果中，使用静息态数据，以受试者划分数据集时，模型的准确率为 81.8%，83.7% 的受试者被成功分类。按样本对数据集进行划分时，模型的准确率为 90.6%。对比研究不同状态下的数据的分类结果，可证明少通道的静息态 fNIRS 信号能够作为抑郁症诊断的生物标记物。基于实验使用的仪器的便携性和无创实时性，家庭环境或将成为基于可穿戴式 fNIRS 的抑郁症诊断方法未来的应用方向。

关键词：抑郁症；功能近红外光谱；小波变换；特征融合；卷积神经网络

基于生物可降解硅基光电薄膜的神经调控技术

盛兴 [1,2*]

[1]（清华大学电子工程系，北京 100084）

[2]（清华大学 -IDG/ 麦戈文脑科学研究院，北京 100084）

选择性、精确性调节神经活动是神经科学研究和临床治疗的重要方向。传统的电刺激通常涉及体积庞大的、有源的植入式装置，而光遗传学依赖于基因修饰的细胞靶向。在这里，我们报告一种光电非遗传学策略来激活和抑制神经活动，由生物可吸收的薄膜硅二极管完成。在光照下，器件在半导体 / 溶液界面上建立与极性相关的正或负电压。这些光伏信号调控神经元具有特定的去极化和超极化，并实现上升和下降的细胞内钙调节。此外，贴合在神经组织上的柔性硅薄膜选择性地激活和沉默外周神经和大脑的在体活动。最后，这些硅膜在动物体内自然溶解。这种基于硅的材料和器件平台在生物医学应用中具有广阔的潜力。

关键词：光电二极管；柔性电子；生物可降解；光电刺激；神经调控

高频 rTMS 对脑电功率谱密度影响的研究

靳静娜 廖文清 殷涛 *

中国医学科学院 北京协和医学院 生物医学工程研究所，天津 300192

研究高频重复经颅磁刺激（rTMS）范式中的序列间隔对功率谱密度的影响。募集了 11 名健康受试者，分别接受序列间隔为 25 s、50 s、100 s 的 10 Hz rTMS，刺激靶点为左侧初级运动皮层，在每次 rTMS 前后记录 3 min 闭眼静息态脑电信号，使用周期图谱法计算总频段和各分频段功率谱密度，使用非参数秩和检验和 Kruskal-Wallis 检验评估序列间隔对 rTMS 作用的影响。25 s 和 50 s 序列间隔 rTMS 没有使功率谱密度发生显著改变（P>0.05）。100 s 序列间隔使 alpha 和 beta 频段频段双侧中央（alpha：FC1,FC3, C3, CP1,CP3，FC2, C2, C4；beta：FC1,FC3, C1, C3，FC2, CP2, C4, CP4）和颞叶（alpha：FC5, C5, PC5, F7,FT7, T7, TP7,P7, C6, T8；beta：FC5, C5, CP5, TP7，C6）皮质功率谱密度显著增加（P<0.05），且对刺激侧影响脑区范围更广。序列间隔不同 rTMS 对脑活动的影响不同，序列间隔在 rTMS 模式设置中的具有非常重要的意义。

关键词：高频重复经颅磁刺激；序列间隔；初级运动皮层；脑电；功率谱密度

经颅磁刺激改善大鼠工作记忆的海马与前额叶跨脑区神经网络效应研究

郭苗苗 [1, 2*] 张天恒 [1, 2] 吉利辉 [1, 2] 王中豪 [1, 2] 徐桂芝 [1, 2]

[1]（省部共建电工装备可靠性与智能化国家重点实验室（河北工业大学），天津 300130）

[2]（天津市生物电工与智能健康重点实验室（河北工业大学），天津 300130）

间歇性 θ 节律刺激（iTBS）作为一种新型的经颅磁刺激模式，已经广泛应用于探索大脑认知功能和神经调控等方面，但其电生理调控机制尚不清晰 . 为探索 iTBS 对大脑认知功能的影响及其电生理机制，本文利用 iTBS 刺激制备磁刺激大鼠模型，采集记录大鼠在执行工作记忆（WM）任务过程中腹侧海马（vHPC）和内侧前额叶（mPFC）的局部场电位（LFPs）信号，应用格兰杰因果网络分析方法，研究了 iTBS 刺激对大鼠 WM 跨脑区神经网络协同和信息交互的影响 . 结果表明，iTBS 增强了大鼠的学习记忆能力，使其完成工作记

忆任务所需时长减少（2.67±1.63）天（P<0.05），显著改善了大鼠的行为学表现；同时 iTBS 增强了大鼠在 WM 期间的 vHPC 与 mPFC 脑区的自因果网络连接，增加了网络连接强度、连接密度和全局效率（P<0.05）；并且 iTBS 增强了 vHPC 与 mPFC 脑区的跨脑区网络连接，增加了 vHPC-mPFC 的节点度和因果流向（P<0.05）. 本文对探索经颅磁刺激的电生理调控机制，以及经颅磁刺激的模式优化和临床应用具有重要研究意义和价值 .

关键词：间歇性 θ 节律刺激；海马 - 前额叶；工作记忆；脑网络；格兰杰因果

P300 个体差异的网络机制及其在临床疾病中的应用研究

李发礼 [1,2]，姜林 [1,2]，易婵琳 [1,2]，尧德中 [1,2]，徐鹏 [1,2*]

[1]（电子科技大学 神经信息教育部重点 成都脑科学研究院临床医院 成都 611731）

[2]（电子科技大学 信息医学研究中心 生命科学与技术学院 成都 611731）

P300 是一种内源性、与认知功能紧密关联的事件相关电位，在认知神经科学、脑 - 机接口及临床疾病诊断等领域获得了广泛的应用。目前，对 P300 机制及其个体差异的研究仍存在不足之处。本文中，以网络结合图论分析为研究手段，从静息和任务的大脑活动入手，我们对 P300 的网络机制进行了系统研究。研究发现：一方面，静息状态下额 - 枕叶资源的高效整合带来的静息网络提升、状态切换时高效的网络重构有助于 P300 的诱发，与此同时，P300 诱发涉及动态信息加工的多个阶段，对应差异化的时变网络模式。另一方面，较于 P300 幅值，静息与任务融合的网络拓扑信息提升了精神分裂症的临床诊断性能，获得了 90.48% 准确率。以上发现将为 P300 在诸多领域的应用提供更加完善的神经理论基础。

关键词：P300；个体差异；脑网络；脑机接口；精神分裂症

基于脑电的决策机制研究

司亚静 [1,2,3] 姜林 [1,2] 李发礼 [1,2] 易婵琳 [1,2] 尧德中 [1,2] 徐鹏 [1,2*]

[1]（电子科技大学成都脑科学研究院临床医院，成都 610000）

[2]（电子科技大学生命科学与技术学院，成都 610000）

[3]（新乡医学院心理学院，新乡 453000）

决策，作为人类的高级认知功能，其在经济学、心理学和人工智能等方面具有重要的应用价值。然而，当前研究对决策的大脑神经机制仍缺乏深入的了解。决策涉及多个脑区间的信息交互，同时个体决策信息的加工一般在毫秒级时间完成。脑电技术具有时间分辨率高、采集便捷且无创等优势而被广泛应用于大脑认知神经科学的研究。基于复杂网络理论，我们的工作采用大脑网络分析技术来揭示个体决策过程信息的处理机制。本文将根据我们前期开展的对决策的工作，来系统性阐述决策的相关研究，其中具体涉及到决策过程中动态网络信息、不同决策反应的信息加工机制、不同群体或情绪特质间的决策策略差异、以及被试决策行为的预测模型。

关键词：决策；脑电；公平性；预测

基于 Lp(0<p ≤ 1) 范数的格兰杰因果分析及其在运动想象脑电应用中的调查研究

李沛洋 [1] 杨蕾 [2] 高晓辉 [1] 黄伟杰 [1] 王振宇 [3] 田银 [1*] 徐鹏 [2*]

[1]（重庆邮电大学 生物信息学院，重庆 400065）

[2]（电子科技大学 生命科学与技术学院，成都 611731）

[3]（海南软件职业技术学院 网络工程学院，琼海 571400）

在脑网络构建方法中，格兰杰因果分析能够捕捉大脑信息加工的有向传递模式，现已被广泛应用于临床分析、神经机制解读和脑 - 机接口研究中。然而，传统的格兰杰因果估计方法在脑电分析中易受眼电伪迹等离群值干扰的影响，导致大脑认知加工时的固有脑网络模式被噪声引发的伪连接所掩盖。针对这一问题，课题组近年来发展了基于 Lp(0<p ≤ 1) 范数的格兰杰因果脑网络分析方法 (Lp-GCA)，该方法能在一定程度上抑制伪迹影响。本文在前期研究的基础上进一步通过仿真和真实数据实验对比分析了 Lp-GCA 与其他格兰杰因果分析在性能上的异同。该工作可以为离群值干扰下的鲁棒脑网络构建提供备选方案，也为开发新的因果脑网络估计方法提供了一定思路。

关键词：脑网络估计；脑电；离群值；眼电伪迹；Lp(0<p ≤ 1) 范数

磁声耦合刺激在类生物组织中的中的矢量电场检测

周晓青 刘睿旭 马任 殷涛 刘志朋 *

（中国医学科学院生物医学工程研究所，天津 300192）

磁声耦合刺激（transcranial magneto-acoustic stimulation, TMAS）可以无创的在深部脑区实现毫米量级的精准矢量电刺激。但之前的研究仅关注 TMAS 在高电导率金属材料中的电场检测。本文首次对 TMAS 在低电导率类生物组织及生物组织材料中产生的真实矢量电场进行定量检测与分析。

本文选取琼脂仿体，导电硅胶，离体猪肌肉组织，离体猪脑组织等组织，分别检测它们在有无磁场的 TMAS 刺激下（f=1MHz，P=2MPa，PRF = 1Hz，B=0.2T/0T），与声场传播方向一致及正交方向的电信号。结果显示：首次在低电导率类生物组织材料中检测到了磁声耦合电场，却发现与高电导率材料不同，低电导率材料的磁声电场低于理论值，说明 TMAS 的理论模型可能需要被修正。此外，还在声场传播方向检测到了与激励同频的电信号，且该信号与静磁场无关。该信号可能是超声在胶体中传播产生的超声振动势信号。在实际应用中，TMAS 的磁声电场特性及神经调控机制都更为复杂。

关键词：磁声耦合刺激；矢量电场检测；类生物组织；无创神经调控

四分类时序编码主动式脑机接口特征分类研究

王力 * 黄学文 任玲玲 詹倩倩

（广州大学电子与通信工程学院，广州 510006）

为了增加主动式脑机接口（BCI）指令集的数量，本文提出了一种基于运动想象和言语想象的时序编码实验范式。通过将 1 个运动想象和 1 个言语想象分时序进行，获得了 4 类想象方式：1）运动想象；2）言语想象；3）先运动想象再言语想象；4）先言语想象再运动想象。将所获得的 4 类脑电信号首先通过“一对多”滤波器组共空间模式（FBCSP）算法进行特征提取，接着采用支持向量机（SVM）实现了分类。有 10 位受

试者参与了本实验范式，他们的平均分类准确率为 69.19%。研究结果表明：本文提出的时序编码主动式实验范式具有可行性，所采用的“一对多”FBCSP 和 SVM 算法能提取和分类本实验范式 EEG 信号的特征。时序编码实验范式可有效增加主动式 BCI 指令集的数量，进而提高了 BCI 的实用性。

关键词：脑机接口；运动想象；言语想象；时序编码；脑电信号

面向脑 - 机接口：新型柔性双网络水凝胶半干脑电电极研究

李广利[1*] 刘颖[1] 陈宇薇[1] 周传芹[1] 李明哲[2] 段晏文[2*]

[1]（湖南工业大学生命科学与化学学院，株洲 412007）

[2]（武汉格林泰克科技有限公司，武汉 430074）

发展一种柔性聚乙烯醇 / 聚丙烯酰胺双网络水凝胶半干脑电电极，实现了半干电极电解质“自充放”。聚乙烯醇 / 聚丙烯酰胺水凝胶起动态电解质储液器的作用，能快速充满电解质 0.9% NaCl 溶液。与头皮接触时，水凝胶内部的电解质溶液能持续稳定地释放到头皮表面，从而建立可靠的脑电信号传输界面。凝胶半干电极具有低而稳定的接触阻抗（18.2 ± 8.9）kΩ，且电极电位稳定，电位漂移低至（1.47 ± 0.39）μV/min。凝胶半干电极和湿电极间的平均时域互相关系数为 0.91，40 Hz 以下频谱相干性在 0.90 以上。而且，凝胶半干脑电电极的脑 - 机接口分类准确率与“金标准”湿电极相当。凝胶半干脑电电极具有快速安装、用户友好、信号可靠等突出优点，有望替代湿电极用于现实生活场景的脑 - 机接口应用。

关键词：脑 - 机接口；水凝胶；半干电极；脑电信号

基于磁共振测温的植入式医疗器械 MRI 射频致热监测方法

张锋[1] 姜长青[1*] 李路明[1,2,3,4*]

[1]（清华大学航天航空学院神经调控技术国家工程实验室，北京 100084）

[2]（清华 - 伯克利深圳学院精准医疗与公共健康中心，深圳 518071）

[3]（清华 -IDG/ 麦戈文脑科学研究院，北京 100084）

[4]（北京脑重大疾病研究院癫痫研究所，北京 100093）

植入式医疗器械如脑起搏器（DBS）在磁共振成像（MRI）下的射频致热直接威胁患者安全，在体温升监测能够提供安全性的最后保障。基于质子共振频率（PRF）的磁共振测温法是最适于人体的无创测温手段。针对 PRF 测温受到 DBS 触点伪影干扰的问题，本文通过理论推导和体模实验建立了 DBS 触点周围 PRF 信号的统计分布模型，结合生物传热过程，提出了基于极大似然估计（MLE）的触点表面温升的估计方法。在此基础上，实现了基于降温段 PRF 的触点表面温升估计，解决了伪影干扰下温升监测的难题，并使误差显著降低 56%，为植入器械在 MRI 下的射频致热安全性监测提供了新方案。

关键词：DBS；射频致热；PRF 测温；MLE；温升估计

融合脑机接口与虚拟现实的空间认知训练与评估系统设计与验证

文冬[1,2*] 袁京捧[2] 李晶晶[2] 周艳红[3] 王少昌[2] 刘怡君[2]
[1]（北京科技大学人工智能研究院，北京 100083）
[2]（燕山大学信息科学与工程学院，秦皇岛 066004）
[3]（河北科技师范学院数学与信息科技学院，秦皇岛 066004）

当前国内外学者借助各类方法来对人的空间认知进行了训练与评价，但是训练过程中的受试者参与程度偏低，无法在训练的同时进行评估。本文设计了一套将脑机接口 (Brain-Computer Interface, BCI) 与虚拟现实 (Virtual Reality, VR) 相融合的空间认知训练与评估系统。该系统借助虚拟环境下的空间认知任务对受试者进行训练与测试，并同步采集脑电信号与行为数据。对训练前后行为数据进行统计分析；借助多维排序条件互信息 (Multivariate Permutation Conditional Mutual Information, MPCMI) 方法对脑电信号进行特征提取与分类，以便客观、定量地评估训练的效果。在空间认知训练前后，任务执行时间、路径长度以及位置距离差值具有显著性差异；基于 MPCMI 的特征强度在 C3↔F3、F7↔F8、Fz↔FCz 通道组合上的分类性能优异。本系统设计的 VR 任务可用来进行空间认知的训练与测试，并且同步脑电信号与行为数据可以用来进行空间认知的定量检测与评估。本系统可以作为空间认知训练与评估的有效选择，有望用于空间认知障碍患者的日常训练。

关键词：脑机接口；虚拟现实；空间认知训练与评估；多维排序条件互信息

980nm 激光脉冲高空间选择性地抑制听觉中枢通路神经传导

姜彬[1*] 肖汉光[1] 侯文生[2] 王力[2] 赵云[2] 夏清玲[1*]
[1]（重庆理工大学两江人工智能学院，重庆 401135）
[2]（重庆大学生物工程学院，重庆 400044）

近红外激光是一种非接触且作用范围可控的神经调控新方法，其在外周和中枢神经系统的神经调控中得到了广泛的应用。虽然近红外激光作用范围可控的优势在外周神经系统已经得到证实，然而我们尚不清楚该优势在中枢神经调控中是否依然存在。为了研究近红外激光调控中枢神经系统的作用范围，本文选择了具有特殊拓扑结构的 SD 大鼠听觉中枢通路来开展研究，通过实施动物手术暴露耳蜗核（cochlear nucleus, CN）和下丘（inferior colliculus, IC），运用纯音在外耳道刺激激活听觉通路，运用 980nm 的激光在 CN 实施光刺激，并运用 16 通道矩阵电极记录 IC 神经元响应。分析了激光位于不同 CN 刺激位置以及对不同 IC 通道神经元的抑制性响应。研究表明：短波近红外激光（short-wavelength near-infrared, SW-NIR）对 IC 神经元的抑制主要集中在目标位置和目标通道，并未对周围位置和周围通道产生抑制性影响。这表明 SW-NIR 对中枢神经系统的调控具有较高的空间选择性。

关键词：短波近红外；中枢神经通路；神经活动；空间选择性

不同程度的预测误差诱发可分的错误相关脑电特征

孟佳圆[1]，王昊[1]，许敏鹏[1,2]，明东[1,2]

1. 天津大学精密仪器与光电子工程学院，天津，300072

2. 天津大学医学工程与转化医学研究院，天津，300072

错误相关电位（Error-related potential, ErrP）是人在感知到错误时大脑产生的特异性脑电活动，是一种由认知活动诱发的、可优化脑机接口（brain-computer interface, BCI）控制效果的内源性神经信号。然而，大多数 ErrP 研究仅仅关注于如何区分正确和错误的条件，难以满足 BCI 在真实场景中的应用。因此，有必要研究不同程度的错误所引起的错误相关脑电特征，并研究其在连续、离散轨迹估计下的特征可分性。为此，本实验记录了 22 名健康受试者在参与方向预测实验（连续轨迹估计、离散轨迹估计）时的脑电数据，实验中设置了四种情况，即正确（0° 偏差）、45° 偏差、90° 偏差、180° 偏差；分析了事件相关电位、试次间的相位一致性、事件相关谱扰动等特征。结果表明，不同预测误差诱发范式（连续 vs. 离散轨迹估计）可诱发出相似的脑电特征；刺激出现后 200~500ms，不同程度的预测误差可在顶中脑区诱发显著不同的脑电特征，且上述差异主要集中在低频（<13Hz）；采用改进的判别模式匹配算法（Discriminative canonical pattern matching，DCPM）进行单试次实验分类检验特征的可分性，发现在所有受试者中连续，离散轨迹估计实验中三种不同错误程度两两之间二分类的平均准确率分别为 67.89%，75.57%。本研究表明，无论是在连续还是离散的轨迹估计实验中，不同程度的预测偏差均能诱发出具有可分性的错误相关脑电特征。以上结果可为开发更加人机友好的 BCI 系统提供理论和技术支撑。

关键词：错误相关电位；脑 - 机接口；不同错误程度；连续和离散轨迹估计；时频分析；可分性研究

新生儿癫痫中的非线性动态规律

叶建宏 张楚婷 史文彬

（北京理工大学信息与电子学院，北京 100081）

癫痫脑电图的同步连续变化与新生儿癫痫发作中的运动功能障碍有关。除振幅调制外，随时间变化的锐化波形在癫痫动态发作过程尤为明显。本研究引入了量化非线性和锐度的方法，以表征新生儿癫痫发作脑电图的固有波形，作为频谱分析的补充。为此，我们探索了癫痫脑电图的尖波和瞬时非线性，以了解新生儿癫痫发作的空间和时间动态。我们的研究结果表明，当癫痫发作时，两种波形特征皆显著提高，非线性度在癫痫发作终止时上升。两个特征在整体识别癫痫发作事件方面表现良好，而非线性度对癫痫发作的演化进程表现出卓越的可分辨性。我们提出的本征锐度和非线性变化计算方法能够捕捉到谱分析的一些忽略，增进对同步神经活动机制理解，推进面向新生儿癫痫的闭环脑机接口，从而支撑对该疾病的治疗。

关键词：新生儿癫痫；非线性；锐度；癫痫脑机交互分析技术；癫痫发作动态

研究生 - 青年优秀论文复赛

基于个体特异性经颅交流电刺激的情绪早期注意调控研究

何雨晨（研究生）[1] 刘爽 [1,*] 明东 [1,2]

[1]（天津大学医学工程与转化医学研究院，天津 300072）

[2]（天津大学精密仪器与光电子工程学院，天津 300072）

情绪加工在人类日常中发挥着重要的作用，大量的临床研究发现精神分裂症、焦虑症和抑郁症等精神病都伴随着不同程度对情绪相关信息的早期注意异常。近年来，随着经颅交流电刺激（transcranial alternating current stimulation, tACS）在调节人类认知功能方面的有效性逐渐得到证实，tACS 在情绪加工中的作用获得了越来越多的关注。截至目前，tACS 在调节情绪注意方面的能力和机制尚不清晰。本研究招募了 53 名健康被试，并将其随机分为 2 组，分别施加个体 alpha 频率下（individual alpha frequency，IAF）的特异性 tACS 真刺激或伪刺激，刺激位点为双侧背外侧前额叶皮层（dorsolateral prefrontal cortex, dlPFC）。tACS 调控持续 7 天，每天持续 20 分钟，分别记录了两组被试刺激前后的静息态以及面部情绪识别任务中的脑电信号。通过对比分析第 1 天和第 7 天的脑电数据，研究发现，与伪刺激组相比，真刺激组在 tACS 调控后静息态 alpha 活动明显增强。ERP（event-related potential）结果表明真刺激调控后被试 P200 幅值显著提升（$p < 0.05$），表明其对面部情绪的注意得到有效改善。此外，研究还发现静息态 alpha 能量和任务态 P200 幅值之间存在显著正相关（$p < 0.05$），这一发现为 tACS 在情绪注意力调节中的作用提供了潜在的电生理解释。此外，通过另设 10Hz-tACS 对照组，研究发现基于个体特异性的 IAF-tACS 在 alpha 夹带方面表现出明显的优势。综上，本文首次证明了 alpha-tACS 对情绪早期注意调节的有效性，这一发现为治疗患有情绪加工相关的精神疾病，尤其是具有振荡异常的患者提供了一种潜在的特异性治疗方法。

关键词：情绪注意；alpha 振荡；经颅交流电刺激；个体 alpha 频率；背外侧前额叶

Predicting the public's moral elevation experience conveyed in danmaku comments using EEGs from a small group of people

Bao Chenhao[1] Hu Xin[2] Zhang Dan[2*]

[1] (Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

[2] (Department of Psychology, School of Social Sciences, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Evaluation of the public's emotion experience towards multimedia content is an emerging form of application in the field of affective computing. The present study aimed to explore the feasibility of predicting public-level moral elevation state using small-group neural data. Three morally elevating videos were chosen as the experiment material. Their public-level moral elevation states were obtained from the real-time danmaku comments from a popular online video platform in China. 32-channel electroencephalography (EEG) was recorded from a group of 23 participants while they watched these videos. Using the power spectra feature, LASSO regularized regression analyses revealed a promising prediction performance (prediction $R = 0.44 \pm 0.11$). Our findings for the first time demonstrate the possibility of predicting moral elevation experience using EEGs

from a small group of people.

Key words: moral elevation; danmuku comments; affective BCI; EEG

下肢截肢患者运动想象神经生理学证据：一项 ERP 的研究

魏聪惠 [1] 刘绍文 [2] 单新颖 [1*]

[1]（南昌大学第二附属医院，南昌 100000）

[2]（国家康复辅具研究中心，北京 100000）

目的：通过脑电事件相关电位（Event related potential，ERP）探究下肢截肢患者运动想象机制。

方法：选择 14 名下肢截肢患者和 20 名健康对照组完成左右下肢运动想象任务，对采集的 C3、C4、CZ 电极脑电数据分析其事件相关电位。

结果：两组人群下肢运动想象任务诱发的 ERP 峰值在 250-350ms 的范围内，下肢截肢者与健康对照组在 ERP 峰值范围内存在显着差异（P<0.01），且截肢者的峰值总体高于健康对照组。

结论：下肢截肢者比健康对照组需要激活更多的神经活动来完成下肢想象运动。

关键词：下肢截肢；ERP；运动想象

A Transfer Entropy Based Study of LFPs Functional Connectivity Changes during Working Memory

Li Tianxiang[1,3] Li Shuangyan[1, 2, 3*] Xu Guizhi [1, 2, 3]

[1] (State Key Laboratory of Reliability and Intelligence of Electrical Equipment, School of Electrical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

[2]（Key Laboratory of Electromagnetic Field and Electrical Apparatus Reliability of Hebei Province, School of Electrical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

[3]（Tianjin Key Laboratory of Bioelectromagnetic Technology and Intelligent Health, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

Abstract: The activities of PFC neurons are thought to play an important role in working memory (WM). As a powerful tool for investigating the underlying information processing mechanisms, functional connectivity of neural signals has been intensively studied recently. However, most of the methods are linear thus may not enough efficient when analyzing the nonlinear characters underlying the neuron activities. To address this issue, the transfer entropy algorithm was used to study the changes of the functional connectivity of 16 channel local field potentials (LFPs) recorded from PFC in well-trained rats under T-maze task. Results showed the network connection density and global efficiency significantly increased near the reference point during correct trials, but not in the error trials, and the number of effective connections in the Dur phase is significantly higher than in the other two phases when performing WM tasks correctly. These results indicate that the strength of functional connectivity among the PFC LFPs can be measured via the TE values and may play an important role in the WM task.

Key words： working memory; prefrontal cortex; local field potentials

一种基于脉冲神经网络的新型小脑仿生模型

刘印[1] 王家兴[1] 陈文谦[1] 张道辉[2] 赵新刚[2] 刘蓉[1*] 孙长凯[1*] 朴翔宇[3] 王永轩[4]

[1]（大连理工大学生物医学工程学院，大连 116011）

[2]（中科院沈阳自动化研究所 机器人学国家重点实验室，沈阳 110000）

[3]（大连大学附属中山医院，大连 116011）

[4]（大连大学，大连 116011）

小脑是人体神经中枢的重要组成部分。长期以来，人们已经认识到小脑是一种监督学习机器。同时，它还可能涉及一些认知功能和情绪控制，但我们对于其实现方式知之甚少。基于小脑的匀质结构，构建小脑的计算模型已经成为探索小脑运行机制的有效手段。然而，现有的大多数计算模型主要集中在小脑的控制功能上，而不关心模型结构是否符合生理结构。建立的模型过于抽象，难以建立网络层面的改变与小脑功能变化之间的联系。针对这一情况，本文以小脑生理学和解剖学研究为依据，以脉冲神经网络为工具，探索小脑神经元的特性、网络组织、可塑性和生理行为之间的功能联系，建立了一种新型基于监督学习的小脑脉冲神经网络模型。通过与小鼠生理实验数据对比，表明我们的模型能够重现经典眨眼反射中的关键特征，为理解小脑的计时和学习控制神经机制提供了新思路。

关键词：脉冲神经网络；小脑计算模型；自适应神经元；经典眨眼反射；小脑计时

Study of Brain Activities under Visually Induced Motion Sickness with EEG Source Imaging

Zhou Lu[1] (graduate student) Zhu Qiaoqiao[1] Qin Bing[1] Wu Biao[2] Qian Zhiyu[1*]

[1] (School of Biomedical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211100, China)

[2] (Department of Electronic Information, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211100, China)

Abstract: Objective. The neural mechanism underlying the motion sickness (MS) is unclear, largely due to limited information on how brain activities change during MS. The purpose of this study is to analyze the brain activity change, including the brain regions affected and intensity of affection, during visually induced MS (VIMS) with electroencephalogram (EEG) source imaging (ESI).

Materials and methods. Twenty subjects were included in this study, and divided into VIMS-susceptible group (VIMSSG) and VIMS-resistant group (VIMSRG) based on a motion sickness questionnaire. 64-channel EEG data from these subjects during VIMS and control were collected. The brain activities change during MS for VIMSSG and VIMSRG were analyzed with time-frequency based sensor-space analysis and ESI based source-space analysis.

Results. With sensor-space analysis, it was found that the parietal lobe, frontal lobe, and temporal lobe were most active during VIMS. With source-space analysis, it was found that the superior temporal of left temporal lobe and middle temporal of left and right temporal lobes were most active. The intensity in the activated region increased more significantly for VIMSSG in superior temporal of left temporal lobe and middle temporal of left and right temporal lobes than those for VIMSRG.

Conclusion: Our results showed that source-space analysis provides more precise location of activated regions than sensor-space analysis.

Significance. The source-space analysis demonstrates great performance for locating the regions of interest (ROI) precisely and quantifying MS in real time compared with conventional sensor-space analysis. Knowledge

gain from this study is helpful for advancing understanding of the neural mechanism of MS.

Key words: motion sickness (MS); electroencephalogram source imaging (ESI); brain activities

Enhancement of functional corticomuscular coupling after transcranial ultrasound stimulation in mice

Hao Yingying(master degree candidate) [1] Xiaoling Chen[1,2,] Xie Ping[1,2*]

[1] (Key Laboratory of Measurement Technology and Instrumentation of Hebei Province, Institute of Electric Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei, China)

[2](Key Laboratory of Intelligent Rehabilitation and Neuromodulation of Hebei Province, Institute of Electric Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei, China)

Abstract: Transcranial ultrasound stimulation (TUS), as a highly secure technology, has been developed rapidly in recent years. Our study used the functional cortico-muscular coupling (FCMC) as an index to explore the modulation mechanism for movement control under different TUS parameters (intensity (I_{sppa}) and stimulation duration (SD)). We collected the local field potentials (LFPs) and tail electromyographic (EMG) data under TUS in mice, and then introduced the time-frequency coherence method to analyse the FCMC before and after TUS in the time-frequency domain. After that, we defined the relative coherence area (RCA) to quantify the coherence between LFPs and EMG under TUS. The FCMC at theta, alpha, beta, and gamma bands enhanced after TUS for 0.4s, and the neuromodulation efficacy mainly occurred in the lower frequency band. Further statistical analysis showed that only the maximum RCA value at beta band was correlated with I_{sppa} and SD. The aforementioned results demonstrate that the FCMC in the motor cortex could be modulated by TUS. We provide a theoretical basis for further exploring the modulation mechanism of TUS parameters and clinical application.

Key words: transcranial ultrasound stimulation; local field potentials; electromyographic; time-frequency coherence

基于图的深度学习解码脊髓损伤患者的运动意象脑电信号

李金城（研究生）[1] 孙亚南 [2,] 李涵 [1] 董格格 [1] 王元东 [1]

王德正 [3] 张杨 [3,*] 冯超 [1,+] 张凯丽 [1,+] 王磊 [1,*] 徐舫舟 [1,*]

[1]（齐鲁工业大学（山东省科学院）电子信息工程学院，济南 250353）

[2]（齐鲁工业大学（山东省科学院）电气工程与自动化学院，济南 250353）

[3]（山东大学齐鲁医学院齐鲁医院物理医学与康复科，济南 250012）

[+] 这些作者同等贡献这项工作

高效的脑机接口 (BCI) 系统主要通过采集脑电图（EEG）分析不同大脑区域的神经元活动来实现。现有的许多基于 EEG 运动想象 (MI) 的研究并未充分利用 EEG 通道的拓扑结构。本文提出一种基于改进的图卷积神经网络 (M-GCN) 深度学习框架，经过改进 S 变换 (MST) 处理数据来提高不同类型运动想象任务中原始脑电信号的解码性能，同时结合电极的功能拓扑关系，进一步提高模型的性能。利用脊髓损伤 (SCI) 患者 EEG 信号的绝对皮尔逊矩阵，建立脑电极图的拉普拉斯矩阵。由图卷积层构成网络学习广义特征，利用池化层降低维度，最后利用完全连接的 softmax 层得出分类结果。所提出的算法准确率达到 87.456%。此外，在用于交叉验证的重复性实验中，证实该算法的性能稳定可靠，为患者后期的治疗提供理论基础，增加患者康复的可能性。

关键词：脊髓损伤；脑电信号；运动想象；改进 S 变换；图卷积神经网络

闭环深部脑刺激中的实时伪迹去除方法

郭轩君（研究生）[1] 聂英男 [1] 李霄 [2] 王守岩 [1,2*]

[1]（复旦大学大学类脑人工智能科学与技术研究院，上海 200433）

[2]（复旦大学智能机器人研究院，上海 200433）

目的：闭环深部脑刺激可以对患者的脑功能状态进行动态自适应调节，为难治性脑疾病提供了潜在的解决方案。然而，以脑深部神经信号为反馈的闭环策略仍然发展缓慢，限制其发展的一个挑战为电刺激的同时进行微弱神经信号的采集，特别是电刺激参数变化的情况下去除局部场电位信号中的电刺激伪迹。

方法：为解决闭环电刺激应用中高、低多种频率交替刺激下实时伪迹消除的问题，本文提出了一种不规则采样的方法。该采样方法通过预测未来刺激脉冲的发生，动态控制采样时刻，利用非等间隔重采样的方法以消除刺激脉冲对局部场电位信号的干扰。此外，本文还提出了一种刺激伪迹去除效果的定量评估方法，通过真实信号提取刺激伪迹波形生成模拟信号，对比去伪迹后信号和真实信号间功率谱的相对误差对去伪迹方法进行定量评估。

结果：在 20Hz、60Hz、130Hz 的恒定频率刺激及变频刺激下，该方法去伪迹的相对误差分别为 2.14%、3.93%、7.22% 和 6.25%。在体闭环实验中，该方法也可以实时去除刺激伪迹，在功率谱分析中，刺激频率及其谐波峰值均被明显抑制。

结论：应用不规则采样法可以实时去除宽频范围的刺激伪迹，为发展多频率、多幅度的闭环电刺激系统解决了关键性问题。

关键词： 闭环深部脑刺激；刺激伪迹；帕金森病

基于逻辑分组的双重刺激脑 - 机接口研究

伍凌宇 (研究生)[1,2,3,4]，李梦凡 [1,2,3,4*]，林放 [5]，徐桂芝 [1,2,3,4]

[1]（省部共建电工装备可靠性与智能化国家重点实验室，天津 300132）

[2]（天津市生物电磁技术与智能健康重点实验室，天津 300132）

[3]（河北省生物电磁与神经工程重点实验室，天津 300132）

[4]（河北工业大学生命科学与健康工程学院，天津 300132）

[5]（博瑞康科技（常州）股份有限公司，北京 100000）

提高信息传递速率是提高基于事件相关电位的脑 - 机接口指令输出速度的关键之一。我们在前期研究设计的双重刺激界面能够同时呈现两种不同的刺激来提高该速度。然而该界面受到“临闪效应”影响，过多刺激将降低识别目标的准确性。为解决该问题本研究提出了一种新的基于局部滑动方法的双重刺激界面来诱发事件相关电位，并设计了逻辑分组规则来进行刺激的分组与排列。十名被试参与了实验，并使用支持向量机对信号进行分类与识别。结果表明局部滑动刺激方式诱发出的信号幅值与整体闪烁刺激相比在幅值和潜伏期上都有所提高。这有助于区分两种刺激；刺激分组规则也降低了非靶刺激的 N200 和 P300 幅值，提高了识别准确率。证明本文提出的基于局部滑动方法的双重刺激界面是一种有效的提高精度的方法，可以通过局部滑动和逻辑分组规则来缩短指令输出周期并加快指令输出。

关键词：事件相关电位；局部滑动；双重刺激；临闪效应；逻辑分组

经颅磁声电激励下 Fitzhugh-Nagumo 神经元模型放电特性分析

徐亦豪 (研究生)[1,2] 张帅 [1,2*] 武健康 [1,2] 赵清扬 [1,2] 岳雯倩 [1,2] 赵明康 [1,2] 徐桂芝 [1,2]

[1](省部共建电工装备可靠性与智能化国家重点实验室 河北工业大学 天津 300130

[2](天津市生物电工与智能健康重点实验室 河北工业大学 天津 300130）

经颅磁声电刺激（Transcranial Magneto-acoustic-electrical Stimulation, TMAES）是一种利用超声和磁场共同作用于大脑的新型无创调控手段。神经元是神经系统的基本结构和功能单元，在信息编码过程中起重要作用。本文基于 Fitzhugh-Nagumo 模型，对神经元施加不同刺激，研究非线性系统的放电行为，并考虑磁声耦合效应，结合非线性动力学分析外加刺激参数对神经元放电时间序列的影响。结果表明，直流电刺激下，随刺激强度增加，神经元由静息态转变为周期放电，通过相图平衡点稳定性判断神经元是否为周期放电。电场作用下，神经元放电频率随外加刺激参数和外加电场调制角频率的增大逐渐增加。经颅磁声电作用下，神经元表现出频率适应性，其放电周期随外加电场强度 E_{ext} 调制角频率的增大逐渐减小；同时，神经元受到调制超声频率的影响表现出明显的周期振荡。研究结果有助于推动经颅磁声电刺激下神经网络的动力学研究，对神经类疾病的治疗有重要研究意义和参考价值。

关键词：经颅磁声电刺激；Fitzhugh-Nagumo 神经元；外部电场；分岔机制

40Hz 光闪烁刺激对大鼠海马 - 前额叶交叉频率耦合影响的研究

王龙龙 [1,2] 徐桂芝 [1,2*] 李双燕 [1,2*]

[1]（河北工业大学省部共建电工装备可靠性与智能化国家重点实验室，天津 300130）

[2]（河北工业大学天津市生物电工与智能健康重点实验室，天津 300130）

本文旨在探究 40Hz 光闪烁对大鼠执行空间工作记忆（SWM）任务过程中海马（HPC）- 前额叶皮层（mPFC）回路不同节律神经信息耦合强度的影响。本研究将 10 只成年雄性 SD 大鼠随机分为实验组和对照组。对实验组进行 40Hz 光闪烁刺激，对照组进行伪刺激。对比两组大鼠 SWM 任务的行为学表现，并应用相位幅值耦合（PAC）分析任务期间 HPC-mPFC 回路 θ - γ 节律神经振荡信号的交叉频率耦合强度的变化。研究表明，40Hz 光闪烁加强了 HPC 和 mPFC 脑区低频 γ 节律的功率谱密度。长期刺激增强了大鼠 HPC-mPFC 回路 θ - 低频 γ 节律的耦合强度，促进了不同节律信号的跨脑区协同作用，提升了 SWM 任务表现，改善了大鼠的 SWM 功能。本研究从 HPC-mPFC 回路神经信息交叉频率耦合强度变化的角度探索了 40Hz 光闪烁改善大鼠 SWM 功能的潜在神经机制，为进一步探究 40Hz 光闪烁刺激在改善认知障碍等神经系统疾病的临床应用中提供支持。

关键词：40Hz 光闪烁；空间工作记忆；相位幅值耦合；神经振荡；海马

脑深部电刺激对临床前期阿尔茨海默症小鼠空间学习记忆和海马节律振荡的影响

罗尹培[1,2]（研究生）李卫娜[3] 郑小林[1,2] 田学隆[1,2] 侯文生[1,2] 吴小鹰[1,2*]

[1]（生物流变科学与技术教育部重点实验室，重庆大学，重庆 400044）

[2]（重庆市医疗电子工程技术研究中心，重庆 400044）

[3]（第一附属医院神经外科，陆军军医大学，重庆 400038）

以 APP/PS1 双转基因小鼠为对象，探究脑深部电刺激（Deep brain stimulation, DBS）对临床前期阿尔茨海默症（Alzheimer's disease, AD）小鼠空间学习记忆和海马 CA1 节律振荡的影响。14 周龄的雄性 APP/PS1 小鼠随机分为未植入电极的对照组和植入电极的 AD 组、AD + Sham DBS 组、AD + DBS 组。同龄的雄性 C57 野生型小鼠作为对照组。小鼠 16 周龄时，对 AD + DBS 组进行双侧内嗅皮层 DBS（100 μA，130 Hz，90 μs，1 h）。多通道电生理采集海马 CA1 的场电位。平衡木实验、旷场实验、水迷宫实验依次评估小鼠的运动能力、自由探索行为和焦虑状态、空间学习记忆能力。结果显示，各组小鼠通过平衡杆的时间和在场地的移动总距离无显著性差异。与 AD 组和 AD + Sham DBS 组相比，AD + DBS 组和 WT 组在水迷宫实验中具有显著更短的逃避潜伏期和更长的停留在第三象限时间（$P < 0.05$）。在小鼠清醒运动状态下，DBS 显著增加了 APP/PS1 小鼠的 theta 和 low gamma 功率，high gamma 功率无明显差异。研究表明，DBS 是一种安全耐受性良好的治疗方式，可调节海马 CA1 的 theta 和 low gamma 节律振荡，改善临床前期 APP/PS1 小鼠的空间学习记忆，延缓 AD 的进程。

关键词：脑深部电刺激；阿尔茨海默症；临床前期；空间学习记忆；节律振荡

相控阵列换能器参数对经颅磁声电刺激聚焦电场分布的影响研究

由胜男（研究生）[1,2]，张帅[1,2]，党君武[1,2]，杜文静[1,2]，徐桂芝[1,2]

[1]（省部共建电工装备可靠性与智能化国家重点实验室 河北工业大学 天津 300130

[2]（天津市生物电工与智能健康重点实验室 河北工业大学 天津 300130）

经颅磁声电刺激（TMAES）是一种新型无创的脑神经调控技术，利用超声与静磁场耦合效应产生感应电场调节相应脑区放电活动，感应电场的聚焦性能直接影响其调控精度。为探究相控阵列超声换能器中不同阵元参数对经颅磁声电刺激下组织内产生的感应电场以及超声波束质量的影响，本文以经颅磁声电刺激原理和相控阵超声传播理论为支撑，基于有限元法建立颅脑仿真模型，进行不同参数下的感应电场分析。对比了换能器阵元中心频率、阵元宽度、阵元中心距变化时对感应电场聚焦性能的影响。仿真结果表明：选用阵元宽度为 λ/2、阵元中心距为 3λ/4、超声频率 1.0MHz 的相控阵列换能器时，感应电场具有更加良好的聚焦特性，其中焦域长度、焦域宽度分别为 17.3mm、3.0mm。研究结果为优化 TMAES 换能器参数设计、提高感应电场聚焦性能提供重要的理论参考，有助于推动 TMAES 精准神经调控的发展。

关键词：经颅磁声电刺激；感应电场分布；相控阵列换能器；相控聚焦

基于脑电的高频 rTMS 刺激初级运动皮层对帕金森病运动症状改善作用的研究

李润泽[1,2] 姚尧[3] 冯珂珂[3] 杨硕[1,2] 程轶峰[3] 尹绍雅[3*] 徐桂芝[1,2*]

[1]（河北工业大学电气工程学院 省部共建电工装备可靠性与智能化国家重点实验室 天津 300130）

[2]（河北工业大学电气工程学院 天津市生物电工与智能健康重点实验室 天津 300130）

[3]（天津市环湖医院神经外科 天津 300350）

经颅磁刺激技术（TMS）已广泛应用在临床中实现对神经、精神类疾病的治疗，特别在抑郁症、强迫症中取得较好的临床治疗效果。近年来越来越多的研究将其应用于帕金森病（PD）的辅助、康复治疗，以期缓解患者的运动症状改善运动功能。目前临床中多以帕金森病统一量表、运动任务测试评估 rTMS 对运动症状的辅助治疗效果，缺乏对刺激效应的客观评估，本研究采用 10 Hz rTMS 刺激肢体症状始发侧对侧初级运动皮层（M1）脑区，对比分析刺激前后各脑区神经元活动及其连接性的变化，研究高频磁刺激初级运动皮层对 PD 患者大脑神经元活动的调节作用。结果显示，刺激后额中央、枕叶脑区的熵值显著降低、脑区间连接性增强，在相同脑区处 beta 与 gamma 节律神经振荡幅度及同步性也明显降低，表明 10 Hz rTMS 主要改变了 PD 患者 beta、gamma 节律神经振荡，其中 beta 节律神经振荡的变化可能与磁刺激对运动功能的改善作用有关，而 gamma 节律神经振荡的变化可能是磁刺激抑制神经元异常放电活动增强脑区间了信息处理能力。

关键词：经颅磁刺激；帕金森；初级运动皮层；模糊熵；脑功能网络

飞秒激光结构化的层级铂铱合金电极在体性能研究

李霖泽[1] 姜长青[1*] 段婉茹[2,3] 李路明[1,4,5,6*]

[1]（清华大学航天航空学院神经调控技术国家工程实验室，北京 100084）

[2]（首都医科大学宣武医院神经外科，北京 100053）

[3]（首都医科大学宣武医院中国国际神经科学研究所，脊髓损伤与功能重建实验室，北京 100053）

[4]（清华 - 伯克利深圳学院精准医疗与公共健康中心，深圳 518071）

[5]（清华 -IDG/ 麦戈文脑科学研究院，北京 100084）

[6]（北京脑重大疾病研究院癫痫研究所，北京 100093）

飞秒激光直写能够在铂铱合金（Pt-Ir）电极表面产生丰富的层级结构，显著提高电极的体外电化学性能。面向脑深部的长期刺激和记录，要求电极在体内具有良好的生物相容性和电化学性能。本研究通过大鼠脑深部的植入实验，以传统光滑 Pt-Ir 电极为对照，研究层级 Pt-Ir 电极的在体电化学性能、植入后周围的组织学变化以及电极表面的生物粘附情况。结果表明，相比于体外测试，在术中和植入 1 周、8 周时，层级 Pt-Ir 电化学性能存在下降，但在 8 周时电荷存储能力为 18.7 mC/cm^2，仍显著优于光滑 Pt-Ir 电极的 1.4 mC/cm^2，且具有更低的阻抗谱幅值和截止频率。基于组织学分析和取出电极的扫描电镜观察，层级和光滑 Pt-Ir 电极周围的急性炎症反应和长期胶质瘢痕情况相当。对层级 Pt-Ir 电极在体电化学性能和组织学变化的理解，有助于新型电极的临床应用和电极表面结构的进一步优化。

关键词：飞秒激光；层级结构；铂铱合金；在体；电极性能

日常活动引致四款 IPG 植入位点加速度值的探究

徐博亚[1] 姜长青[1*] 李路明[1,2,3,4*]

[1]（清华大学航天航空学院神经调控技术国家工程实验室，北京 100084）

[2]（清华 - 伯克利深圳学院精准医疗与公共健康中心，深圳 518071）

[3]（清华 -IDG/ 麦戈尔脑科学研究院，北京 100084）

[4]（北京脑重大疾病研究院癫痫研究所，北京 100093）

鉴于美国材料与试验协会 (ASTM) 以磁致位移力不大于植入式脉冲发生器（IPG）自身重力作为评估依据偏于保守，为验证 IPG 在磁共振（MR）环境下磁致位移力稍大于自身重力时的安全性，基于 Barthel 指数（BI）评定量表设计了包含 6 个动作的运动方案，使用三轴加速度传感器采集 4 款 IPG 植入位点加速度值。实验纳入 6 名健康受试者。结果表明，上跳引致加速度最大，达到 3.42 g(全文取 g = 9.8 m/s^2)。坐站、转体、弯腰引致加速度分别为 1.74 g、1.20 g 和 1.53 g。跑步比走路引致加速度更大，分别为 3.08 g 和 1.65 g，测试结果均高于 ASTM 给出的 1 倍重力安全阈值。提出分别以 2.26 重力和 3.42 倍重力作为在 MRI 环境下保守和宽松型安全判定条件的建议。

关键词：加速度；IPG；安全阈值；BI 量表；MRI

基于电路 - 概率理论的神经电刺激能量优化研究

张亚鹏（研究生）[1,2] 王东署[1] 刘永泓[2] 朱然[2] 岳文基[2] 吴天准[2] 王昊[2*]

[1]（郑州大学，河南 郑州 450001）

[2]（中国科学院深圳先进技术研究院，广东 深圳 518055）

对于电池供电的植入式刺激器，电刺激信号的能量优化是一个非常重要的方面。因为神经组织对电刺激的响应是高度非线性的，所以在优化能量消耗的同时选择刺激参数去实现期望的神经响应是一个具有挑战的课题。电路 - 概率理论神经模型是研究神经电刺激和响应之间关系的一种全新的方法，它能够在电刺激参数与神经响应强度之间建立数学关系。本文基于电路 - 概率理论神经模型研究了电刺激参数在不同神经响应强度时的能量优化问题，发现随着神经响应强度变强，能量消耗最少的电刺激的脉宽也随之变大。因此，并不存在能使电刺激在达到所有刺激强度并同时保证能量最小的固定最优脉宽。我们希望通过这种方法可以将神经电刺激能量优化工作向前推进一步，以此来延长神经电刺激器的充电间隔和电池寿命，从而减小植入式脉冲发生器的体积以及降低电池更换手术的成本和风险。

关键词：神经电刺激；能量优化；电路 - 概率理论神经模型；电路仿真

磁共振射频场的相位恢复方法研究

桑宛萱[1] 龙天罡[1] 姜长青[1*] 李路明[1,2,3,4*]

[1]（清华大学航天航空学院神经调控技术国家工程实验室，北京 100084）

[2]（清华 - 伯克利深圳学院精准医疗与公共健康中心，深圳 518071）

[3]（清华 -IDG/ 麦戈文脑科学研究院，北京 100084）

[4]（北京脑重大疾病研究院癫痫研究所，北京 100093）

射频（RF）致热是磁共振系统中医疗器械兼容性关键问题之一。目前射频致热测试常采用鸟笼线圈产生 RF 测试场。不过随着磁共振（MR）设备普及，直接使用 MR 系统测试将更方便。电磁建模能够更准确地评

估射频热。为在模拟计算中重建 MR 系统的 RF 场，应尽可能深入地刻画 RF 场。首先，利用 MR 成像可测得 RF 磁场右旋分量 B_1^+ 的幅值 $|B_1^+|$。再通过麦克斯韦方程组，推导出 B_1^+ 满足的平面方程。进一步，以场的距离为目标函数，BFGS 为优化方法，并对数据进行等间隔采样。最终，从 $|B_1^+|$ 恢复出其相位 ϕ，获得射频场的更多信息。此外，讨论了噪声对相位恢复的影响。该方法可作为基于 MR 系统的射频致热测试方法研究的基础或补充。

关键词：射频磁场右旋分量 B_1^+；相位；麦克斯韦方程组；优化；噪声

基于 EEG 和 EMG 的无线协作技术

曹天傲（研究生）[1,2] 孙金玮 [1] 刘丹 [1*] 王启松 [1]

[1]（哈尔滨工业大学仪器科学与工程学院，哈尔滨 150001）

[2]（利兹大学电子与电气工程学院，利兹 LS2 9JT）

伴随人机接口技术的日新月异，利用生物信号处理技术控制机械设备，是当下热门的技术。人体的脑电和肌电信号能客观真实地反映运动意图。目前，基于脑 - 肌电信号的协作技术得到了广泛应用。加之新冠肺炎限制了人们活动，脑 - 肌电信号无线协作技术，使机械设备的远程操作和交互可行性和安全性得到进一步保障。本文根据脑 - 肌电信号的特点，确定了电极位置，采集了被试者的运动想象脑电信号和上肢各关节运动对应肌电信号，并进行预处理、特征提取、分类及外设控制。脑电信号识别率高达 83%，肌电信号识别率高达 93.2%。本文技术可以拓展到特定环境作业、残疾患者康复等多个领域。在任务执行中，机械设备的动作可以实时反馈给操作者，以进行下一步的调整，实现友好人际交互。

关键词：生物信号处理；脑电信号；肌电信号；协作技术；人机交互

基于脉冲循环神经网络的猕猴 M1 皮层峰电位序列解码研究

刘腾俊（研究生）[1, 2] Chua Yansong [4*] 万子俊（研究生）[1, 2] 张奕玮（研究生）[1, 2]

张韶岷 [1, 2*] 陈卫东 [1, 3]

[1]（浙江大学求是高等研究院，杭州 310027）

[2]（浙江大学生物医学工程与仪器科学学院，杭州 310027）

[3]（浙江大学计算机科学与技术学院，杭州 310027）

[4]（中国电子科技南湖研究院，嘉兴 314000）

过去几十年，植入式脑机接口与类脑脉冲神经网络技术都取得较好发展。由于脉冲神经网络具有与真实神经元峰电位序列高度适配、能耗低且易集成于类脑芯片等优点，其在植入式脑机接口中具有较大的应用潜力。然而，目前基于脉冲神经网络的植入式脑机接口神经解码研究却很少，且其解码表现都较差，无法实际应用。本文中，作者采用了脉冲循环神经网络对同时采集于猕猴初级运动皮层的多神经元峰电位序列进行手摇杆运动方向的四分类解码。在不同神经延时与不同信号时间窗下，脉冲循环神经网络都取得了与传统解码方法（线性判别分析、支持向量机）相近甚至更好、更稳定的解码结果，准确率为历史相关文献报道中最高（81.86%），且具有更好更稳定的提前分类决策的能力，这初步证明了其可被用于猕猴 M1 皮层峰电位序列的实时较高准确率解码，也一定程度上为未来构建基于脉冲神经网络的全植入式脑机接口奠定了基础。

关键词：植入式脑机接口；脉冲循环神经网络；峰电位序列；神经解码

基于 B_1^+ 图像匹配构建磁共振系统中鸟笼射频线圈的数值模型——用于医疗植入物射频致热效应评估

龙天罡[1] 丁建琦[1] 桑宛萱[1] 姜长青[1*] 李路明[1,2,3,4*]

[1]（清华大学航天航空学院神经调控技术国家工程实验室，北京 100084）

[2]（清华 - 伯克利深圳学院精准医疗与公共健康中心，深圳 518071）

[3]（清华 -IDG/ 麦戈文脑科学研究院，北京 100084）

[4]（北京脑重大疾病研究院癫痫研究所，北京 100093）

射频致热效应是植入物的磁共振兼容性问题中的关键问题，本文旨在通过匹配 B_1^+ 图的方法构建磁共振系统中射频线圈的数值模型，以建立用于植入物射频致热效应评估的测试环境。以 3.0 T 磁共振系统为研究对象，测量了其中的 B_1^+ 分布；建立了两端口鸟笼射频线圈数值模型，探究了激励源位置与激励源参数两个主要因素的影响并根据实验 B_1^+ 对两参数进行了优化，优化后数值模型与实验结果的对称绝对平均百分误差 <10%。根据传递函数理论，用所建立的测试环境对模拟电极导线的射频热效应进行了温升预测，在最大温升 >40℃时，温升预测残差均值 <1℃，实测温升与功率估计的正比拟合系数 >0.99。所构建的数值线圈模型高质量复现了磁共振中的射频场，提供了一种磁共振射频测试环境的建立方法。

关键词：射频致热评估；鸟笼线圈模型；B_1^+ 图像；传递函数方法

注意力缺陷多动症的静息态功能磁共振全脑分析

唐懿 郑树星 田银*

（重庆邮电大学生物信息学院，重庆 400065）

目的：注意力缺陷多动症（ADHD）是一种常见的儿童精神障碍疾病，其症状多表现为注意力不集中，好动等。通过静息态功能磁共振技术研究大脑内部的自发神经活动，从而探究其产生的病因和神经机制，能帮助 ADHD 患者做到早期的预防和治疗，然而现有研究多基于较为粗略的 AAL-116 脑区，本文基于图论的方法研究 ADHD 儿童的脑网络，同时使用更为精细的 AAL-1024 模板进行脑区划分，将大脑抽象为一个相互作用的功能网络，能从全脑的角度分析大脑网络的功能变化。

方法：本文数据来源于 ADHD200 数据集，以静息态功能磁共振技术为载体，基于图论的方法，使用 AAL-1024 脑区模板，将各脑区视为节点，使用皮尔森相关系数衡量脑区之间的关系，构建 ADHD 儿童和正常儿童的功能脑网络，进行可塑性对比分析，从而确定 ADHD 儿童功能脑网络的属性变化。

结果：与正常儿童相比，ADHD 儿童节点分布相对集中在双侧枕中回、颞叶、顶叶和脑岛，在节点度、介数中心度和全局效率的前 50 个节点脑区分布发现了显著差异，ADHD 儿童在前额叶的网络节点减少，后部枕叶增多，节点度的分布集中在双侧颞顶叶、脑岛和后部枕叶，介数中心度较大的节点分布偏向于前侧额叶、顶叶和枕上回，全局效率较大的节点主要分布在左右侧脑岛、左侧颞极颞上回、左右侧中央沟盖、左右角回和后扣带回。

结论：与正常儿童相比，ADHD 儿童的功能脑网络变得更加稀疏，网络连接减弱，揭示了 ADHD 儿童的大脑变化，这样的结果可能正是 ADHD 病因所在，为临床诊断以及治疗提供了更为细致的依据。

关键词：注意缺陷多动障碍；静息态功能磁共振；可塑性变化；功能脑网络

sEMG Signal Detection and Cross-Individual Gesture Recognition Using Easy Transfer Learning

Xiaocong Zhong (研究生), Qisong Wang*, Dan Liu, Jinwei Sun, Wending Wang

(*School of Instrument Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150000, China*)

Abstract: With the rapid development of human-machine interface technology, the use of surface electromyography (sEMG) signals to control rehabilitation robots has attracted widespread attention. In view of the insufficient generalization ability of traditional machine learning and transfer learning in cross-individual gesture recognition tasks, cumbersome parameter adjustment, and complicated model selection, the easy transfer learning is introduced to realize autonomous cross-individual gesture recognition. This paper collects sEMG signal of 8 healthy subjects under 5 movement modes of the left hand, proposes a dynamic threshold method to identify the active segments of the s EMG signal, and then builds a universal classification based on Easy-TL and the KNN classifier to achieve the optimal classification of cross-individual gesture recognition. The experimental results show that the average accuracy of individual gesture recognition of the eight subjects is 95.97%, and the highest is 99.79%. After using the classification model based on Easy-TL, the average accuracy of cross-individual gesture recognition tasks (59.16%) are 13.5% and 12.8% higher than the traditional machine learning (KNN, 45.66%) and the traditional transfer learning (CORAL, 46.35%). It can be seen that Easy-TL meets the needs of cross-individual sEMG signal personalization, can effectively improve the accuracy and robustness of cross-individual gesture recognition, and provides conditions for wearable rehabilitation robot technology.

Key words：sEMG; cross-individual; transfer learning; gesture recognition

基于脉冲神经网络的情绪识别研究

张慧港[1] 徐桂芝[2] 郭嘉荣[2] 郭磊[1]

[1]（河北工业大学生命科学与健康工程学院，天津 300130）

[2]（河北工业大学电气工程学院，天津 300130）

脉冲神经网络是目前最具仿生性的人工神经网络，以脉冲作为信息传递的载体，以突触可塑性作为信息更新的规则，在处理时空数据上具有良好表现。情绪脑电是情感计算领域常用信号之一，具有空间、时间双重特征，本研究根据情绪脑电的特点，构建脉冲神经网络及算法，进行情绪识别。首先采用改进的 BSA 编码算法将脑电信号转化成脉冲序列，然后使用具有自适应阈值电压的漏积分点火模型，构建三层前馈全连接神经网络，最后结合在线脉冲时间依赖的突触可塑性学习机制和教师强制机制训练网络。实验结果表明，构建的脉冲神经网络在情绪脑电识别任务中具有优秀表现，分类精度可与传统的机器学习和深度学习方法竞争。

关键词：脉冲神经网络；BSA 编码；自适应阈值；突触可塑性；情绪脑电

Age-Related Structural Alterations in Human Hippocampus: Reflections on White Matter Structure

Jianling Tan, Yin Tian

1(Biomedical Engineering Department,
Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Considerable recent work has shown that the hippocampus is critical for memory. Anterior hippocampus (aHipp) and posterior hippocampus (pHipp) have different roles in memory processing and are affected differently by aging in terms of structural decline. But age-related structural changes within aHipp or pHipp remain unclear. Here, we used generalized linear model (GLM) to investigate age-related white matter structural changes in fractional anisotropy (FA) of aHipp and pHipp with diffusion tensor imaging (DTI) and voxel-based analyses (VBA). FA analyses indicated that the left hippocampus and the right pHipp showed an inverted U-shaped trajectory with age, while the right aHipp showed no significant change with age. In addition, the FA values of pHipp were higher than those of aHipp. The structural investigations of specific regions will help us understand the brain mechanisms of age-related memory changes and improve clinical treatment of age-related memory disorders in patients.

Key words：hippocampus; structure; FA; memory; age

癫痫患者头皮脑电图中高频率振荡信号的分析研究

赵思远[1] 刘杨[1] 袁冠前[2] 李春胜[1*]

[1]（沈阳工业大学生物医学工程系）

[2]（北部战区总医院神经外科）

癫痫是大脑神经元突发异常放电导致短暂的功能性障碍的一种神经系统疾病。对于难治性癫痫，目前可以通过手术切除癫痫致痫区来治疗。脑电信号中高频振荡 (High-frequency oscillations, HFOs) 是一种定位致痫区的生物标记物。已有一些对颅内 HFO 的研究，但头皮 HFO 的检测还很困难。本研究分析了癫痫患者的颅内颅外同步脑电图数据，通过检测 HFO，分析颅外 HFO 与头皮 HFO 的相关性，以及其位置分布。结果表明，在头皮上可以检测部分颅内 HFO 信号。在头皮电极与颅内电极实际距离在 70 mm 以内时，可以在头皮检测到相应的高频振荡。且随着频率降低，数量会增多。本研究为临床上将头皮 HFO 应用到癫痫患者治疗上提供了一定的依据。

关键词：同步脑电图；高频振荡；相关性分析

癫痫颅内电刺激下脑电图高频振荡信号分析

陈娜[1] 刘杨[1] 袁冠前[2] 李春胜[1*]

[1]（沈阳工业大学生物医学工程系）

[2]（北部战区总医院神经外科）

临床上传统脑电图测量频率在70Hz以下，新研究表明70~200 Hz的高频振荡(High frequency oscillations, HFOs)是致痫区的有效生物标志物，也是癫痫活动性指标。立体定向脑电图(Stereo-electroencephalography, SEEG)被广泛应用于神经外科确定致痫区。在颅内电刺激确定功能区时，常诱发癫痫发作，目前对诱发发作中脑电图HFO的诊断价值仍不明确。本文基于SEEG数据，分析癫痫患者在发作间期、自发期和电刺激诱发期脑电图HFO发生率与致痫区的相对关系，研究基于诱发癫痫中HFO来定位致痫区的可行性。本文分析了6位患者数据，包括18段间期数据、20段自发期数据，和12段诱发期数据。结果表明，3种状态间的HFO发生率差异性显著。在4位手术治愈患者中，从发作间期到自发期致痫区中出现HFO的通道数增加，HFO发生率增高；从发作间期到诱发期，致痫区中出现HFO的通道数减少，而HFO发生率增加。本文研究表明电刺激诱发癫痫的HFO发生率在致痫区部分通道上显著增加，该特征可作为临床判断致痫区的一个参考指标。

关键词：立体定向脑电图；电刺激；高频振荡；致痫区

基于运动想象的场景个体差异性研究

左皓鑫(研究生)[1,2,3,4] 李梦凡[1,2,3,4*] 漆恩鸣[1,2,3,4] 邓豪东[1,2,3,4] 徐桂芝[1,2,3,4]

[1]（省部共建电工装备可靠性与智能化国家重点实验室，天津 300132）

[2]（河北工业大学生命科学与健康工程学院，天津 300132）

[3]（河北省生物电磁与神经工程重点实验室，天津 300132）

[4]（天津市生物电磁技术与智能健康重点实验室，天津 300132）

传统的运动想象脑机接口大多数针对单一运动场景的想象任务进行准确率的提升，而不同场景的个体运动想象差异问题研究尚未完善。本研究招募了4名健康的受试者参与三种不同的想象场景，结合行为观察的视频引导来验证被试对于不同场景的运动想象效果差异。试验结果表明，不同的个体在不同的场景的想象准确率存在明显差异，其运动想象高激活的场景会比想象低激活的场景平均识别准确率高22.5%（$P<0.05$）。本文使用共空间模式对被试的脑电信号进行特征提取，通过支持向量机进行分类，并采用留一交叉验证进行计算平均准确率。研究表明，对于运动想象而言，个体存在自己偏好的运动场景，其任务的想象偏好程度很大程度的影响识别准确率，期望本文研究可为今后运动想象脑机接口的范式设计提供一定的参考依据。

关键词：脑机接口；运动想象；个体差异；行为观察

基于变分相幅耦合的情感识别与分析技术

张楚婷（研究生）叶建宏 史文彬 *
（北京理工大学信息与电子学院，北京 100081）

情感脑机接口为新型人机交互模式，在医疗、教育等领域展现巨大潜力。情绪具有分布式网络及高动态性，当前情感脑机接口普遍缺乏精准体现网络交互的识别算法，本质上即高动态节律互耦难以量化。鉴于此，本文提出变分相幅耦合动态情绪识别技术，动态信号仿真表明新算法分辨率和精度优于经验模态相幅耦合。探究情绪诱发脑电相幅耦合规律时，发现 γ 幅值与情绪调节显著相关，中性情绪耦合强度最高，活跃脑区随相位调制频率增加，从前额叶向额叶中央皮层迁徙；相位调制偏向 α 或 β 频段时，额叶和额叶中央积极和消极情绪耦合强度则高于中性情绪。结果表明，所提方法能解决脑电高动态与频率精准要求矛盾，所揭示 γ 幅值相幅耦合可为情感闭环神经调控需求提供个性化生物标志。

关键词：情感脑机接口；情感识别；变分模态分解；相幅耦合

缺血性神经阻滞状态下神经肌肉电刺激诱发感觉皮层活动研究

赵云（研究生）[1] 许陈莉 [1] 吴小鹰 [1,2,3] 王星 [1,2] 侯文生 [1,2,3]
[1]（生物流变科学与技术教育部重点实验室，重庆大学，重庆 400044）
[2]（重庆市医疗电子工程技术研究中心，重庆 400044）
[3]（人工智能与服务机器人控制技术重庆市重点实验室，重庆 400044）

目的：基于缺血性神经阻滞技术（ischemic nerve block, INB）能够成功剥离出运动阈值上神经肌肉电刺激（neuromuscular electrical stimulation, NMES）前臂肌肉诱发的肌梭感觉传入信息，本文旨在探究 INB 状态下感觉运动皮层如何感知运动阈值上 NMES 所诱发的肌梭感觉传入信息。

方法：本文设计了一个 2×2 因素（INB：前、后；NMES 强度：运动阈值上、下）的实验任务方案，任务期间记录健康被试者大脑 64 通道脑电信号，并利用脑电 Beta 频段的事件相关去同步化（beta event-related desynchronization, beta ERD）量化感觉运动皮层区域的激活水平。心理物理学测试用以评估血压袖带施加于右手腕处后被试者右手感觉与运动的变化。同时，本文在 INB 前、后设置了主动、被动食指屈伸任务作为参考。

结果：INB 状态下，运动阈值上 NMES 诱发的对侧感觉运动皮层脑电 beta ERD 显著减弱，并且 INB 施加前运动阈值上、下 NMES 诱发的对侧感觉运动皮层脑电 beta ERD 幅值的显著差异（$p<0.05$）在 INB 状态下消失。此外，阻滞成功后 NMES 诱发的感觉运动皮层脑电 beta ERD 的对侧优势转移到了同侧。

结论：INB 导致运动阈值上 NMES 诱发的皮层活动显著减弱以及对侧感觉运动皮层对 NMES 刺激强度的感知减弱，这或许是 INB 引起感觉运动皮层产生了快速的功能重塑所造成的。

关键词：缺血性神经阻滞；神经肌肉电刺激；肌梭感觉传入；感觉运动皮层

面向步态障碍的帕金森病神经耦合研究

金璐瑶（研究生）张楚婷 史文彬 叶建宏*
（北京理工大学信息与电子学院，北京 100081）

脑机接口广泛应用于治疗神经退行性疾病，本文探究基于交互分析的度量方式为提高脑机接口识别准确性提供新思路。结合均匀相位经验模态分解的相幅耦合算法，即 UPEMD-PAC，可以权衡信号非线性特征与准确的频带范围，并用于研究帕金森病步态障碍的机制和相幅耦合，验证其作为反馈信号的可行性。结果表明，在患有步态障碍的帕金森患者丘脑底核中，存在明显的 *δ-Lβ/Hβ* 相幅耦合。声音提示治疗可减轻患者步态障碍症状，同时伴随着 *δ-Lβ/Hβ* 相幅耦合的减小，并在治疗结束后有反弹趋势。由此，*δ-Lβ/Hβ* 相幅耦合可能成为脑机接口治疗神经退行性疾病的反馈信号，UPEMD-PAC 可作为量化相幅耦合的有效算法。

关键词：相幅耦合；经验模态分解；帕金森病；脑机接口

运动想象中的 β 振荡非线性度研究

徐文彬（研究生）叶建宏* 史文彬
（北京理工大学信息与电子学院，北京 100081）

β 振荡功率是帕金森氏病等研究中的重要生物标志物，可以帮助被试自我调节 β 振荡的运动想象训练在动作障碍治疗领域越来越受重视。不同于以往大部分研究中都侧重于 β 振荡功率的变化而忽视了波形这个更为本质的振荡特征，本文使用集合经验模态分解在尽可能不破坏原信号各尺度时间特征的前提下拆解出多个频段的神经振荡，以非线性度作为振荡波形特征的度量，研究运动想象对各频段振荡非线性度的影响。我们发现运动想象过程中 β 振荡非线性度的变化比平均功率的变化更为显著，说明非线性度在 β 振荡研究中具有不亚于平均功率的重要意义。此外，我们的研究结果可以从波形的角度适当阐释运动想象的作用机理，从而为运动想象疗法的推广提供理论支持。

关键词：运动想象；β 振荡；非线性度；集合经验模态分解

S02
生物医学检测、处理与分析

特邀报告

基于无创多模态数据的心血管功能个体化建模

徐礼胜
东北大学医学与生物信息工程学院
Email: xuls@bmie.neu.edu.cn

中心动脉和心室压力波形蕴含心血管系统的大量功能信息，相比外周动脉压而言，其对心血管事件有更独立且显著的预测作用。但是，这些数据的有创测量创伤大、成本高，因此无创估计是研究热点。心血管功能个体化建模将从这些数据的无创重建、功能评估、干预优化展开论述。首先，本文介绍课题组基于无创多模态数据的中心动脉、左心室和右心室压力波形重建方面的研究。其中，中心动脉压力波形采用自适应传递函数、基于 Tube-load 模型、弹性腔模型的个体化重建，以及采用 SIMO 盲辨识技术来个体化重建；左心室压力波形则结合 one-fiber model 以及 agPCE 重建；右心室压力波形则通过 Mooney-Rivlin 超弹性模型来重建等。其次，基于这些压力波形还进行了动脉僵硬度的无创检测，以及结合一维波传播模型和狭窄压降模型来评估动脉狭窄。最后，实验室还研究了非药物无创干预。发现运动激励下血流动力学响应差异不仅反映高血压受试者的心血管风险，也可评估动脉僵硬度的早期变化。

细胞与分子传感器及其在生物医学中的应用

吴春生
西安交通大学医学部基础医学院生物物理学系
Email: wuchunsheng@xjtu.edu.cn

细胞与分子传感技术是本世纪的前沿领域之一，正日益受到人们的关注。本文围绕化学与生物信息传感技术，介绍了作者近年来在细胞和分子层面上，基于生物传感器的基本原理，采用生物活性敏感材料，包括嗅觉和味觉受体细胞、嗅觉和味觉受体蛋白以及 DNA 分子等作为敏感材料，结合不同的微纳器件作为换能器，比如光寻址电位传感器、声表面波器件、石英晶体微天平器件等，开发出多种新型的细胞和分子传感器，并应用于生物医学和环境保护等领域。这些工作揭示了细胞、分子与传感器件的耦合机理及其信号转导机制，开发出新型细胞和分子传感器，并应用于微环境中的化学与生物分析信号的检测，其中包括对多种细胞和分子响应参数的检测，不仅提高了传感器的检测性能，而且拓展了其应用领域。

生物医学检测装备的研发和工程化探索

周连群

中国科学院苏州生物医学工程技术研究所

生物医学检验为人体疾病的预防、诊断、治疗提供重要信息，是实现精准医疗、支撑分级诊疗的必要前提。检验手段灵敏度日益提升，特异性快速增强，应用范围迅速扩大，智能化渐趋成熟，价值日趋重要。生物医学检验科学重大创新常以科学仪器和技术方法的突破为先导，科学仪器的进步亦可有力促进医学检验科学前沿方向的突破。生物医学测量技术朝向高精尖的发展，有力支撑了以为单分子探测技术、高通量分子智能化检测、即时检测等为代表的生物医学新原理、新方法和新技术的出现，为医学健康检测注入了新动力。但是，医学检验技术现状和人们对生命高品质健康需求缺口依然巨大，对医学检验技术进行了大考验，显现出的医学检验领域迫切需要迭代新技术。新装备研发和工程化一直制约着医学测量装备的临床应用和产业，如何突破新装备的工程化“瓶颈”，一直是科研界和产业界思考的问题。本报告围绕生物医学检测装备的研发和工程化进行了思考和探索。

专题口头报告

卡巴胆碱介导 BK 通道在氧化应激与压力条件下对小梁网细胞的作用研究

樊攀、原慧萍 *

哈尔滨医科大学附属第二医院

目的：原发性开角型青光眼（POAG）的治疗核心是降低眼内压（IOP），人眼小梁网细胞（HTMCs）损伤可导致房水流出阻力升高，进而引起 IOP 升高。本研究探讨 BKca 通道对 HTMCs 的调节作用和 CCh 在此过程中对 BKca 通道和 HTMCs 的影响，探索房水流出通道的病理过程和离子通道相关的内在分子机制。

方法：体外培养 HTMCs，利用 300 mmol/L 过氧化氢（H2O2）诱导建立细胞氧化应激模型，并加入 CCh 孵育。建立体外 80 mmHg 病理性高压力条件模型培养 HTMCs，加入 CCh 孵育。采用 TUNEL、AnnexinV/PI 流式细胞仪、Western blot 分析、共聚焦显微镜和全细胞膜片钳等实验方法。

结果：00 mmol/L 的 H2O2 作用于 HTMCs 24 小时，与对照组相比，细胞的凋亡明显增多、凋亡相关蛋白 Bax/Bcl-2 和 c-caspase-3 表达上调、[Ca2+]i 升高、BKca 通道蛋白表达减少同时电流降低；10 mmol/L CCh 能够逆转由 H2O2 引发的凋亡和相关蛋白与离子变化，导致凋亡和凋亡相关蛋白降低、[Ca2+]i 降低、BKca 通道蛋白表达和电流均升高；CCh 逆转 H2O2 导致的 HTMCs 凋亡可被 1 mmol/L BKca 抑制剂 Paxilline 阻断；CCh 增加 p-Nedd4-2 的表达水平。80 mmHg 压力施加于 HTMCs 细胞 24 小时，得到与 H2O2 作用于 HTMCs 相似的结果。

结论：CCh 可以逆转氧化应激和高压引起的 HTMCs 凋亡，增加 BKca 通道蛋白表达，增加 BKca 通道电流，降低 [Ca2+]i，CCh 通过增加 p-Nedd4-2 蛋白表达水平使 Nedd4-2 磷酸化增加，减少 BKca 通道蛋白泛素化降解，从而增加 BKca 通道蛋白表达量，推断 CCh 逆转 HTMCs 凋亡是通过 BKca 通道实现的。

关键词：原发性开角型青光眼；人眼小梁网细胞；凋亡；大电导钙离子激活的钾离子通道；卡巴胆碱

基于 EEG 和 fNIRS 信号的注意力状态识别方法研究

尉增杰、余小新、王怡珊 *

中国科学院深圳先进技术研究院

目的：注意力状态识别是脑机接口领域的一个重要研究方向。研究表明，脑电图 (EEG) 与大脑血氧水平可用于表征大脑活动状态。脑血氧水平通常采用功能性近红外光谱 (fNIRS) 检测。然而，复杂的检测手段以及低准确度限制了这些方法的实际应用。本文开发了一种可同步检测 EEG 和 fNIRS 信号的可穿戴设备，提出了一种针对大脑注意力的多模态识别算法，从而即提高分类准确性，又简化信号检测系统。

方法：提出了一种基于多模态信号以及迁移学习的大脑注意力分类方法。首先，利用上海交通大学公开的 SEED 数据集，训练了轻量卷积神经网络模型 (LCNN)。然后，基于 25 名志愿者的 4 通道 EEG 信号和 fNIRS 信号构建注意力数据集。通过独立成分分析对 EEG 信号进行滤波，再利用连续小波变换得到时频图。其次，根据朗伯比尔定律，从 fNIRS 信号中提取含氧血红蛋白和脱氧血红蛋白的浓度变化。最后，对不同信

号的特征进行融合，通过迁移学习方法输入到迁移的 LCNN 模型去识别注意力集中和不集中状态。

结果：提出的多模态识别方法达到了 95.32% 的识别准确率。当仅使用 EEG 信号时，与快速傅里叶变换和功率谱密度相比，时频图特征值提取方法分别具有 3.13% 和 2.73% 的精度优势。当同时使用 EEG 和 fNIRS 信号时，与支持向量机和线性判别分析相比，LCNN 分别具有 6.32% 和 6.82% 的精度优势。

结论:本研究开发了一种采集 4 通道 EEG 信号和 fNIRS 信号的可穿戴设备，通过注意力实验建立数据集，构建了一个轻量级的卷积神经网络，同时采用迁移学习策略来弥补数据集数据的不足，从而进一步提高识别准确度。与别的研究相比，本研究具有以下特点：1. 采用多模态信号来提高识别精度。2. 在不牺牲识别精度的情况下，只需较少的信号和简单的设备。3.LCNN 和迁移学习方法不仅提高了分类精度，而且提高了模型的效率。因此，本研究论证了通过可穿戴设备监测注意力状态的可行性，具有较大的实际应用价值。

关键词：注意力状态；EEG；fNIRS；LCNN；转移学习

基于深度学习的左室舒张功能障碍心音信号的数据增强及识别研究

杨洋[1]、郭兴明*[1]、郑伊能[2]

1. 重庆大学生物工程学院

2. 重庆医科大学附属第一医院

目的：左室舒张功能障碍（LVDD）加重可引起心室重构、心室壁僵硬、顺应性降低，从而走向不可逆阶段并进展为射血分数保留型心力衰竭（HFpEF），而 HFpEF 患者约占所有心力衰竭患者的 50%。心音能够直接反映心脏活动的力学特性，可为心脏异常的早期识别提供有效信息，因此，为早期诊断 LVDD，本文提出一种基于心音和二维卷积神经网络（CNN）的无创检测方法。此外，由于对实验对象和环境的严格要求，很难采集大规模、高质量的 LVDD 心音，而深度学习模型的性能直接取决于数据集的大小。因此，本文还提出一种基于深度卷积生成对抗网络（DCGAN）的数据增强方法，用于扩展 LVDD 的心音数据库进行模型训练。

方法：首先对信号进行预处理，包括降采样、去噪、幅值归一化。其次，采用逻辑回归的隐半马尔可夫模型实现第一心音的定位，并采取周期同步定长度的分段策略对心音信号进行分段，得到 LVDD 组及控制组心音样本量分别为 3677、4803 例。再利用短时傅里叶变换（STFT）将其转换为大小 128*128 的语谱图，用于数据增强和模型识别。此外，为保证经 DCGAN 生成语谱图的有效性，本文进行了测试实验，得到生成语谱图与真实语谱图之间的相似性为 86.92%，这意味着生成语谱图保留了大部分特征，因此可将二者混合，作为支持向量机（SVM）、极限学习机（ELM）和 CNN 模型的输入。最后，选用十折交叉验证评估模型的鲁棒性，其中，训练集：测试集：验证集 =8:1:1。

结果：DCGAN_CNN 的识别性能优于其他两种模型，其准确率为 98.71±0.14%，灵敏度为 98.63±0.11%，特异度为 98.84±0.13%，比未进行数据增强的 CNN 模型的准确率提高了 13.28±1.14%。

结论：该方法表明了采用心音诊断 LVDD 的有效性，同时证明了基于 DCGAN 的数据增强方法能够有效增强心音信号，扩展数据库，从而提高模型识别性能，可为临床上 LVDD 的早期诊断提供辅助手段。

关键词：左室舒张功能障碍；心音；数据增强；深度卷积生成对抗网络；识别

基于心音和最小门控单元的心衰分型识别

王慧[1]、郭兴明*[1]、郑伊能[2]
1. 重庆大学生物工程学院
2. 重庆医科大学附属第一医院

目的：不同分型的心衰在发病机制和治疗方案上存在较大差异，对心衰进行早期筛查有助于患者进行及时有效的治疗。因此，本文提出了一种基于心音和最小门控单元的心衰自动分型方法，为心衰的早期诊断提供了一条无创、便捷的新途径。

方法：首先，需对心音信号进行预处理，包括将所有信号统一降采样至 600Hz，自适应小波去噪和幅值归一化处理。其次，使用基于逻辑回归的隐半马尔可夫模型定位基础心音的边界。以第一心音起点为起始位置，固定心音片段长度为 1.6s，并以 2 个周期为间隔对心音进行截取，共得到 HFrEF、HFpEF 以及正常心音样本量分别为 6616，8589，8623 例。最后，构建基于 MGU（Minimal Gated Unit）和 GRU（Gated Recurrent Unit）与 MGU 的组合（GRU+MGU）的心衰分型模型，以实现正常人群、HFpEF 和 HFrEF 心衰患者的分类识别。本文采用十折交叉验证方法以提高模型的鲁棒性和确保模型的可重复性。采用实验的方式确定网络结构。

结果：单层的网络结构无法实现较好的识别效果，每层节点数超过 64 时，3 层的分类准确率与 2 层的差别不大，并且由于模型过于复杂，训练难度加大，故最终确定隐层层数为 2，每层节点数为 64 的网络结构。十折交叉验证结果显示，GRU+MGU 的识别准确率达到了 96.48%，比 MGU 高 0.68%。此外，GRU+MGU 与 GRU 性能相当，且完成一次迭代所花时间比 GRU 快了 101.4s。

结论：GRU+MGU 模型取得了与 GRU 相当的精度，但结构更简单，参数更少，训练速度更快。因此，其可作为心衰识别的一种有效的工具，心衰分型的补充。

关键词：心音；心衰分型；最小门控单元

基于近场耦合频谱的缺血性卒中后脑水肿类型鉴别方法研究

祝睿[1]、李根*[1,2]
1. 重庆理工大学
2. 陆军军医大学第一附属医院

目的：近场耦合（near field coupling，NFC）是检测生物组织电磁特性的新方法，具有无创、穿透性强、可实时连续监测等优势。本文旨在探究利用 NFC 技术实现 IS 后脑水肿类型鉴别的可行性。

方法：结合对称抵消线圈传感器，构建可同步测量两路较宽频带 NFC 信号，即近场耦合频谱（near field coupling spectrum，NFCS）的实验平台；以凝血酶诱导家兔局灶性脑缺血并发脑水肿动物实验模型作为研究对象，分别对 15 只家兔 (实验组 10 只，对照组 5 只) 进行 24 小时的 NFCS 连续监测；根据缺血性卒中后细胞毒性、血管源性脑水肿的形成机制，采用时差抵消、对称抵消、特征提取等方法对实验数据进行处理，分析特征频带下 NFCS 的相位均值在 IS 后不同阶段的变化特点，验证 NFCS 鉴别不同水肿类型的可行性。

结果：实验组家兔特征频带下相位均值呈现先下降后上升的变化趋势；对照组家兔特征频带下相位均值则没有明显的上升或下降趋势；实验组前 5 个小时均值特征平均值，第 5 小时之后均值特征平均值。根据缺血性脑卒中的病理过程分析，脑缺血发生后的前期主要以细胞毒性水肿为主，后期血管源性水肿占主导作用。实验组相位均值变化趋势与缺血性脑卒中的病理过程相对应，均值特征平均值时，以细胞毒性水肿主；均值特征平均值时，以血管源性水肿为主。实验结果验证了 NFCS 鉴别不同水肿类型的可行性。

结论：本文的工作表明特征频带下 NFC 信号的相位均值特征具有区分细胞毒性水肿与血管源性水肿的能力，NFC 技术有望为缺血性卒中后脑水肿水肿类型的即时诊断提供一种新的解决方案。

关键词：近场耦合相位移；脑缺血；细胞毒性水肿；血管源性水肿

Research Progress in Electromagnetic Detection of Brain Diseases

Mingxin Qin*

School of Biomedical Engineering, Army Medical University, Chongqing 400038, China

Objective: Monitoring intracranial status imperatively needs bedside monitoring device in intensive care unit of neurosurgery and neurology. The techniques of electromagnetic detection use mainly electromagnetic waves cross a head to acquire the information about changes in the bulk electrical properties of intracranial components for diagnosis and treatment of brain diseases. The bulk electrical properties involve conductivity, permittivity and their dispersion related to pathological and physiological intracranial status. Comparing with other methods the potential advantages of electromagnetic detection are that it should be contactless, non-invasive, global, deep and portable.

Methods: We applied three ways for electromagnetic detection of brain diseases, which are magnetic induction, electromagnetic induction and microwave techniques and cover the frequency range of tissues electrical properties from β to γ dispersion. Changes in the brain electrical properties can be measured with the three ways.

In our studies four experimental systems were developed with a Lock in Amplifier, a dual-channel high-speed data acquisition card, a vector network analyzer and a vector network analyzer combined with external switching matrices, respectively for neuron cell model, animal experiments and clinical trail. Several different types of transducer for electromagnetic detection were designed to improve detection resolution and accuracy.

Results: Several animal models of rabbits were adopted in our feasible study of electromagnetic detection for diagnosis and treatment of brain diseases and the comparative study of magnetic induction and CT images revealed that the magnetic induction phase shift can also reflect the pathophysiological changes of the brain in our clinical research.

Conclusion: Our study illustrates that the electromagnetic induction method has a potential for the prehospital identification of the stroke type, bedside monitoring and diagnosis of brain diseases and that the potential advantages of this method should be contactless, non-invasive, global, deep and portable.

Key words: electromagnetic detection 1; traumatic brain injury 2; brain stroke 3; tissue electrical property 4; contactless 5

微流控芯片上糖尿病患者中性粒细胞趋化迁移表型研究

杨逍、杨柯 *、高朝茹
中国科学院合肥物质科学研究院

目的：糖尿病患者易病发感染与中性粒细胞的趋化性功能障碍密切相关。通过研究中性粒细胞的趋化运动，有助于评估糖尿病患者的免疫功能状态和治疗效果。

方法：本文首先设计了一种六通道微流控芯片，六组通道环形等距设置，单一物镜视野可同时采集六组通道中的细胞运动图像，而无需移动芯片和物镜，结合自主研制的中性粒细胞现场分离装置，可同时评估六位志愿者中性粒细胞的趋化性。首先，使用经过葡萄糖及其衍生物晚期糖基化终末产物体外预处理的中性粒细胞验证了六通道微流控芯片的基本性能；随后，系统性地研究了糖尿病人和正常人中性粒细胞趋化性，分析了粘附性指数、趋化性指数、趋化运动速度等参数；最后，根据空腹血糖和血清 C 反应蛋白（CRP）水平对二型糖尿病患者进行临床风险分层，并探究上述指标与趋化性参数的关联性。

结果：初步实验结果表明，糖尿病患者中性粒细胞的趋化性明显低于健康对照组；进一步地，发现血糖和 CRP 水平较高的“高风险”患者的中性粒细胞趋化性略优于“低风险”患者，提示血糖和 CRP 异常可能导致中性粒细胞的异常激活，但“高风险”组较于“低风险”组患者，血清 C 反应蛋白、总胆固醇、甘油三酸酯的水平显著升高。

结论：本文提供的六通道微流控芯片和细胞现场分离装置，一方面为从细胞运动功能层面评价糖尿病患者的免疫功能和预后提供了实验工具，另一方面，新的体外实验工具也可能有助于测试新的治疗策略，可能进一步转化为对患有代谢性或免疫功能疾病的其他患者进行风险分层和精确医学诊断的工具。

关键词：微流控芯片；糖尿病；中心粒细胞；迁移；表型

基于正交旋转激励磁场的兔脑出血磁感应相移检测新方法

贺中华 *、陈镜博、陈明生、秦明新
陆军军医大学

目的：早期诊断和早期治疗是降低脑出血致死率和致残率的最好方法。当前脑出血的无创检测主要依靠 CT 和 MRI 等影像学设备，但这些设备无法无法做到床旁监护。磁感应相位移（magnetic inductive phase shift, MIPS）技术可以对被测物体进行非接触、无创伤的连续快速测量。然而该技术对脑出血的 MIPS 检测的灵敏度低，磁场分布不均匀对脑出血 MIPS 的测量也有影响。因此，本文提出一种采用旋转均匀激励磁场的磁感应相移检测新方法，主要研究旋转均匀激励磁场对于提高脑出血 MIP 检测灵敏度的可行性，同时也研究磁场分布对脑出血 MIPS 测量的影响。

方法：首先研制了基于正交旋转激励磁场的磁感应检测系统，详细介绍了激励线圈、接收线圈、阻抗匹配等各部分的设计；接着进行了仿真设计和实际测试，验证了激励线圈的激励磁场的均匀性；然后通过脑出血物理模型实验和动物实验验证来进一步验证该设计提高磁感应相移检测的灵敏度的可靠性。

结果：脑出血物理模型实验验证了磁感应相移与注入的液体量成高度线性相关性；兔子脑出血模型实验数据，也验证了磁感应相移与注入的液体量成较高的线性相关性。自体血 3ml，磁感应相移平均升高 1.5°，且相移变化随注血量成较高线性变化。脑出血物理模型实验和动物实验验证了在旋转均匀激励磁场下磁感应相移随注血量的成线性变化，与单发射线圈单接收线圈检测系统相比，基于正交旋转激励磁场的磁感应检测系统的灵敏度有所提高。

结论：本论文介绍了基于正交旋转激励磁场的磁感应检测系统的研制、实验设计方法和实验结果，初步验证了旋转均匀激励磁场可以提高磁感应相移灵敏度，且磁感应相移随注血量的成线性变化。

关键词：磁感应相位移；旋转电磁场；脑出血

Two-zone GR-C electrochemical sensor based on the heparinase-linked differential time method for the detection of heparin potency in whole blood

Anran Zheng [1,2]、wei Zhang[1,2]、Chao Li[1,2]、Zhen Guo[1,2,3,4]、Lianqun Zhou*[1,2,4]

1. School of Biomedical Engineering (Suzhou), Division of Life Sciences and Medicine, University of Science and Technology of China, Hefei, 230026, China

2. CAS Key Lab of Bio-Medical Diagnostics, Suzhou Institute of Biomedical Engineering and Technology, Chinese Academy of Sciences, Suzhou, 215163, China

3. Zhongke Mass Spectrometry (Tianjin) Medical Technology Co., Ltd., Tianjin 300399, China

4. Ji Hua Laboratory, Foshan, 528000, China

Objective: Heparin, a commonly used anticoagulant, has a wide range of clinical applications. It complexes with antithrombin III (AT-III) to decrease thrombin activity and prolong coagulation and tends to cause spontaneous bleeding and requires regular measurements during therapy. Clinically, heparin potency is determined mainly by the activated partial thromboplastin time (aPTT) and activated clotting time (ACT), which are limited by different sensitivity ranges, or monitored by comparing the heparinase cup with the kaolin cup in thromboelastography (TEG). TEG monitoring requires a large sample volume, a long turnaround time, skilled operators, and special sample preparation. Most high-sensitivity heparin sensors have remained focused on the fluorescence method and measuring its concentration in clarified buffer solution. However, the pharmacodynamics of heparin are unstable and vary depending on the different patients or diseases, while potency detection is more meaningful than concentration detection in clinical diagnosis.

Methods: In this study, a two-zone electrochemical sensor was proposed to measure heparin potency in whole blood. A graphene-modified carbon (GR-C) conductive material exhibits excellent electrical conductivity and high biocompatibility, which can enhance the current signal and detection stability of the sensor. The symmetrical structure ensured simultaneous and uniform detection, which is beneficial to the sensitivity and consistency of the sensor. Heparinase inhibits the anticoagulant ability of heparin by forming a heparin–antithrombin–thrombin complex during coagulation. By introducing heparinase one in Zone-1, this two-zone sensor produced two different kinds of signals to improve analytical accuracy and diversity. The thrombin substrate was cleaved by thrombin, phenylenediamine was produced and oxidized at a constant voltage, and the current of the redox reaction was detected. The peak point was easily determined, which reflected the highest thrombin activity. In Zone-1, heparinase inhibited the anticoagulant ability of heparin, and T_1 was the peak time. Similarly, heparin bound antithrombin and thrombin to form a complex that inhibited thrombin activity in Zone-2; therefore, T_2 represents the change in thrombin activity due to the influence of heparin. The difference between T_2 and T_1, referred to as ΔT, was the heparin potency.

Results: The use of the GR-C heparin sensor based on the HLDT method was validated in clinical samples. The repeatability (CV) of the peak time was less than 3% in human plasma and less than 3.5% in human whole blood. The peak time repeatability (CV) of GR-C heparin sensor test for different heparin concentrations in whole blood samples was 3.25% for Zone-1 and 3.63% for Zone-2. The six groups of whole blood samples had a linear fitting of 0.988 (n=16), and the linear fit equation was Heparin = 0.00605*ΔT + 0.0609. For other substances (NaCl, BSA, PBS, blood cells, glucose, heparin solution), the peak current was less than 0.05 μA, which could be regarded as no signal. The present GR-C sensor showed high selectivity for heparin potency in 10 μL of whole blood with a detection limit of 0.1 U/mL, and the linear detection range was 0.1–5 U/mL. The linear correlation between the GR-C sensor and the TEG-5000 instrument was 0.987.; the coefficient of variation

of the nt time was less than 5%.

Conclusion This study proposes a design of a two-zone GR-C heparin sensor to measure heparin potency. It is based on the difference in the peak time of the two zones, which reflect thrombin activity and heparin effectiveness in the presence and absence of heparinase. The experiments demonstrated that the GR-C heparin sensor achieved a highly sensitive and wide-range detection of heparin potency in whole blood. Thus, The GR-C heparin sensor demonstrated excellent specificity and anti-interference ability, making it more specific and accurate than other methods for detecting heparin potency in whole blood. It provides better clinical application than current sensors with good repeatability, high sensitivity and wide-range. It can be concluded that the GR-C heparin sensor based on the HLDT method performed well for detecting heparin potency. There is high potential for optimizing this technology and combining it with POCT, enabling physicians to quickly make safe decisions during anticoagulation therapy.

Key words: Heparin potency; Two-zone on one Graphene-Carbon sensor; Heparinase, Thrombin; Electrochemical

A double-layered liquid metal-based electrochemical sensing system on fabric for wearable glucose detection in sweat

Liang Hu *、Xuanqi Chen

Beihang University

Objective: Integrated electrochemical sensing platform has been widely used in flexible electronics. However, traditional electrochemical platforms lack sufficient flexibility and portability. This paper presented a flexible electrochemical detection system on fabric based on liquid metal for wearable glucose detection in sweat.

Methods: A control software based on Labview was developed, which can realize the control and data collection of sensor detection through software on laptop, and display the sensor response curve in real time. Using template method and PMA glue, liquid metal patterned wires were printed on a 100% cotton fabric substrate and the electronic components were added to obtain a double-layer flexible circuit, which can be used for sensor signal detection and amplification.

Results: The test was performed on 0-16 mM potassium ferricyanide. Due to the amplification of the flexible circuit, the current was converted into a voltage display. The relationship between the output voltage displayed by the software on laptop at t=25 s and the substance concentration was calculated by the chronoamperometry method, and it was found that the linearity is good, and R2 can reach 0.99. Then we tested the glucose with or without artificial sweat interference. It could be found that the chronoamperometry curves under the same concentration of glucose with or without sweat basically overlapped, indicating that the system could eliminate the interference of other components of sweat to perform a more prepared test for glucose.

Conclusion: The detection of glucose in sweat interference proved the application value of the system in the detection of glucose in sweat. This fabric electrochemical system will have great potential in health monitoring and mobile medical applications.

Key words: liquid metal; double-layer electronics on fabric; electrochemical system; glucose detection

单分子检测技术在临床诊断中应用

张威

中国科学院苏州生物医学工程技术研究所

目的：随着现代生物医学工程技术的发展，越来越多的推动了临床诊断学的发展。生物医学检测覆盖了疾病诊断、药物治疗及预后评估的全疗程。对单个细胞、蛋白、核酸等单分子的检测需求日益提升，对高灵敏、高精准以及高度自动化新方法、新技术以及新装备的需求也越来越迫切。本文中以临床体外诊断对单细胞、蛋白及核酸分子检测的需求为出发点，重点阐述了基于高通量微米 / 纳米孔阵列芯片技术开展的单个细胞、蛋白及核酸分子水平的检测新方法以及新型自动化装备研发。

方法：针对高通量单细胞快速检测的需求，采用微孔滤膜反向富集技术，开发超高通量单细胞富集芯片和检测系统，实现高通量单细胞的计数统计分析，识别循环肿瘤细胞。利用微流控芯片优化反向富集体系，大面积捕获单细胞。基于微纳加工技术，开展高通量微孔阵列芯片的研制，通过表面孔内的不同亲疏水处理，已实现不同结构尺寸的阵列微孔设计，通过外周血循环肿瘤单细胞捕获、纯化及多靶标标记，并进行高分辨成像，从而实现单细胞检测；搭建高分辨率荧光成像系统样机，对自主研制的单分子芯片进行性能验证，基于修饰的单分子荧光探针，验证微弱荧光信号激发及有效探测评估手段。

结果：可实现 20-100nm 及 10-60um 高密度阵列孔的设计和加工，基于高精度激光扫描光路研制高分辨率大面积成像模块，基于闭环控制算法开发高精度自动成像运动模块，开发自动化高通量智能单分子多色荧光通道识别、配准算法，实现大面积、高分辨率的单分子成像。通过与单分子荧光检测平台配合，实现单分子细胞、免疫及核酸序列荧光检测。

结论：实现对外周循环肿瘤细胞的捕获标记和统计，单分子抗原成像及核酸序列分析。完成了超高通量单细胞微孔阵列芯片和高精度大面积荧光成像系统的工程化开发，相关指标已通过第三方检测机构检验；单分子核酸检测系统已完成电气安全及各项安规测试，完成注册检测，可进一步开展临床方面试验。

关键词：单分子检测；微 / 纳米孔阵列芯片；微流控；单分子荧光

近红外光谱技术在颅脑损伤监测的应用

魏梦林[1]、严荣国[*1]、梅竹松[1]、徐涛[2]

1. 上海理工大学

2. 上海长征医院

颅脑损伤在临床是一种高发病率和致死率的外伤，主要会出现颅内压升高、脑部缺血缺氧和脑脊液、脑血液循环受阻等症状。目前针对颅脑损伤的监测，较多为微创性的。而无创、实时和连续的监测是更被患者和医护人员需要的。因脑组织对波长在 700~900nm 的光具有低吸收、高散射的特性，所以可将近红外光谱技术应用于颅脑损伤的监测，主要监测参数为脑组织的血氧参数和颅内压的变化。本文基于氧合血红蛋白和还原血红蛋白具有的差异性分子光谱，结合朗伯 - 比尔定律，推算出了表达氧合血红蛋白和还原血红蛋白的浓度计算公式以及脑组织血氧饱和度的拟合公式。再通过实验探究近红外光谱在脑组织探测中的可行性。最后对近红外光谱技术在颅脑损伤监测方面的限制和未来的发展做出了总结。

关键词：近红外光谱；颅脑损伤；血氧参数；颅内压

基于希尔伯特变换和自适应阈值的 R 波检测算法

郭田雨[1]、严荣国*[1,2]、徐玉玲[1]、陶争屹[1]

1. 上海理工大学

2. 上海介入医疗器械工程技术研究中心

提出了一种基于希尔伯特变换和自适应双阈值的 R 波检测算法。首先对预处理后的信号进行幅度归一化和希尔伯特包络分析；然后采用自适应双阈值法检测 R 波；最后，根据增强后的信号定位检测到 R 波的位置。使用四个具有不同频率和信噪比的数据库对所提算法进行性能评估，检测结果为：在 MIT-BIH 数据库中（Se=99.36%，+P=99.77%），QT 数据库中（Se=99.96%，+P=99.66%），NST 数据库中（Se=96.61%，+P=87.01%），European ST-T 数据库中（Se=99.59%，+P=99.66%）。结果表明，在各种不规律和含有严重噪声干扰的心电信号中 R 波的位置依然能被所提算法准确检测出。在 MIT-BIH 心律失常数据库中，每条记录平均消耗时间比传统的 Pan and Tompkins 算法大大减少，实验证明该算法具有良好的鲁棒性和实时性。

关键词：心电信号；R 波检测；希尔伯特变换；自适应双阈值

有序多孔层光干涉测量技术及其生物医学应用

钱卫平*

东南大学生物科学与医学工程学院

目的：设计、构筑一个基于有序多孔层光干涉特性的分析体系，建立原位实时非标记分析新方法，为疾病防控以及精准治疗提供动态监测数据。

方法：光干涉测量技术（Optical interferometry）是一种能原位、实时监测界面上生物分子相互作用信息的非标记生物传感技术。ForteBio 公司将薄膜干涉层加到玻纤末端提高了检测通量并命名其为生物膜干涉技术（Bio-Layer Interferometry, BLI），主要用于生物分子间相互作用动力学参数以及蛋白质浓度的测定等。白光照射到薄膜干涉层界面被部分反射，产生多束反射光。根据入射角、波长、薄膜的物理厚度及折射率的不同，部分反射束叠加产生独特的反射干涉图，即相对光强的极大值和极小值随波长改变而交替分布图。在垂直入射情况下，可利用 Fresnel 公式描述，R1 和 R2 是两个界面上的 Fresnel 反射，n 为薄膜折射率，d 为薄膜的物理厚度，l 为入射光波长。生物分子在干涉层界面的结合或解离导致光学厚度值（平均折射率 n 与物理厚度 d 的乘积，nd）的增大或减小，在反射干涉光谱图中表现为极值点位置的偏移 Dlextremum。当 nd 增大时，光谱红移，反之蓝移。在给定阶数 m 的情况下，nd 可以通过跟踪极值点的位置计算出来，可得到时间分辨的结合、解离曲线。

结果：定制了不同厚度、曲率半径以及优异光干涉特性的有序多孔纳米材料；仿生构建了生物分子体系并赋予其光干涉性能；发展光干涉原位实时纤溶测量技术。

结论：光干涉测量技术不仅可以用于生物分子的定性和定量分析，还可以用于结合 / 解离动力学、亲和力和热力学等监测，能原位、实时反映生物分子相互作用（结合、解离）信息，应用前景十分诱人。

关键词：有序多孔层；光干涉测量技术；非标记分析

低温生物医学中的温度及热量精准测量

刘宝林

上海理工大学

目的：近年来，随着“个性化医疗”和“精准医疗”概念的提出，越来越多的细胞，如 CAR-T 细胞、NK 细胞等，都需要长期有效的低温保存，由此，生物样本库成为低温技术在生物样本保存中的重要应用平台。在细胞的低温保存过程中，温度、热量及质量是主要的控制参数。不同种类的细胞，获得最大成活率时的升降温速率是不同的；而且，水分通过细胞膜进出细胞的速率及量的多少也是不同的；如果加入了保护剂，其比热容、冰点等的确定也非常重要。以上参数直接决定了细胞的低温保存效果。所以，如何准确的测量温度、热量及质量，对低温生物医学是十分重要的。

方法：综合大型低温生物显微镜和差示扫描量热仪的特点，研制了一种新型的低温显微 DSC 系统，该系统使得在观察样品形态变化的同时，又能获得物理化学方面的数据信息，将二者结合起来对照和分析，可以获得更精确的结果。

结果：低温生物显微镜和差示扫描量热术是低温生物学研究的两个重要工具，低温生物显微镜可以直接观察和摄录生物体在升降温过程中的形态变化，而 DSC 则可以获得此过程中物理化学方面的数据。低温显微 DSC 系统将低温显微技术和差示扫描量热术结合起来，同时获得升降温过程中样品的显微图像和各种物理化学参数，把二者结合起来进行分析，相互对照和印证，能够得到更为精确的结果。

结论：本文介绍了一种低温显微 DSC 系统及其温度等测量方法，并验证其可行性。本文的实验结果已经充分证明了这一点。低温显微 DSC 系统的独特之处必将使它在生物医学等更多的领域中得到应用，为科学研究和生产提供一种更有力的工具。

关键词：低温生物；温度；传热传质

基于主成分分析的 PPG 预处理方法及其在手势识别中的应用

阮煜文、陈香 *、张旭

中国科学技术大学

旨在提高基于光电容积脉搏波（Photoplethysmography，PPG）的手势识别精度，本文通过对多通道 PPG 信号的分解和主成分分析，探索了影响手势 PPG 分类性能的噪声因素，提出了一种基于主成分分析（Principal Component Analysis，PCA）的 PPG 预处理方法。以 14 种手势为研究目标，采集了 14 位受试者、三种波长光（绿光、红光、红外光）、四种运动状态下的手势动作 PPG 数据，利用 K 最近邻（K-NearestNeighbor，KNN）分类器开展了手势识别实验。实验结果验证了所提方法的有效性，采用所提基于 PCA 的预处理方法，手势平均识别率均高于 95%，较未经 PCA 预处理的情况下提高了 (1-4)%。本论文研究成果为实现高精度 PPG 手势识别技术提供了一种新颖的思路。

关键词：PCA；PPG；预处理；KNN；手势识别

银包裹金纳米哑铃 SERS 基底的制备及其在福美双残留检测中的应用

杜慧芳、朱键、翁国军、李剑君、赵军武 *
西安交通大学生命科学与技术学院，生物医学信息工程教育部重点实验室，陕西　西安 710049

目的：金、银等贵金属纳米材料，由于其独特的局域表面等离子共振 (LSPR) 光学特性，使其在可见光及近红外波段表现出强烈的光吸收、光散射和局域场增强现象，且振荡频率及强度对颗粒的形貌、结构及金属成分都十分敏感。金纳米哑铃结构（AuNDs）因腰部存在负曲率表面，其 LSPR 相比其他纳米结构更具可调控性，且表面增强拉曼散射（SERS）活性随表面负曲率增加不断增加。因此，制备出具有不同负曲率表面的贵金属纳米结构是增加 LSPR 模式可调控性及构建高拉曼活性探针的有效途径。福美双作为一种含硫广谱杀菌剂，在生物体中其 S-S 键会断裂，诱发生物癌变或畸变，且其存在甲基不对称震动和 C-N 键震动现象，在拉曼光谱 1376 cm^{-1} 处具有特征峰。本文制备了一种表面曲率可调的 AuNDs，探究表面曲率对其 SERS 活性的影响，并通过包裹银层（AuNDs@Ag）进一步提高其 SERS 活性，开发了一种快速、选择性好的检测农药福美双的方法。

方法:首先，以纵向吸收峰为 780 nm 的金纳米棒为核，调节 KI 体积制备腰部负曲率不同的金纳米哑铃（790 nm、820 nm、840 nm）。接着，以 840 nm 金纳米哑铃为核，添加不同浓度的硝酸银来制备 AuNDs@Ag 颗粒，并以 SERS 活性最强的该颗粒为基底检测福美双。

结果：结果表明，AuNDs 纵向吸收峰红移最大时（840 nm），腰部曲率最大，SERS 活性最强，增强因子 EF 达到 1×10^5，得益于 AuNDs 的形貌特征带来的二聚体效应和热点。对于 AuNDs@Ag 颗粒，1 mM $AgNO_3$ 溶液制备的银层最厚，SERS 活性最强，EF 达到 1×10^7。最后，在 100 nM - 1 μM 的福美双溶液范围内，检测限低至 30 nM，满足国家检测标准中最低检出浓度要求，且该基底抗干扰性良好。

结论：本文提出的以 AuNDs@Ag 为基底的 SERS 方法有效精简了检测福美双的步骤，并且检测限满足要求，为福美双残留检测应用提供了基础。

关键词：金纳米哑铃；表面曲率；金纳米哑铃包银；SERS 活性；福美双

无创电磁神经调控技术与应用

殷涛
中国医学科学院生物医学工程研究所
中国医学科学院神经科学中心

目的：发展无创精准皮层和脑深部神经调控技术是脑科学研究和脑疾病诊疗的国家重大需求，本研究内容包括颅内精细电导率与刺激电流分布、脑区靶点精准定位、高空间分辨率、脑深部刺激、定位跟踪机器人和多靶点刺激系统研发等。

方法：通过数值计算方法研究真实头模型各向同性和各向异性精细电导率分布和电流分布，开展了提高磁刺激聚焦性和刺激深度关键技术研究，双目视觉实现脑区刺激靶点精准导航定位，多物理场耦合研究高空间分辨率脑深部刺激问题。

结果：建立了真实头电导率分布模型和感应电场分布分析方法，进行了磁刺激线圈与沟回夹角的电场仿真分析和磁刺激颅内感应电场与静电场占比分析，开展了脑深部磁刺激线圈设计与仿真，磁场聚焦面积减小 30%，负峰抑制比提高 85%，可调节脑深部聚焦区体积和部位，实现了多通道高频放电及输出一致性控制 、“双脉冲刺激对”输出控制，建立了个体影像和变形模型两种模式脑区定位和可视化方法、磁刺激机器人多目标坐标整合方法，可视化交互实现单点和阵列靶点规划和最优路径生成，重要脑功能区实现 nTMS 定位定界，将 nTMS、fMRI 和术中皮层及皮层下直接电刺激结合用于神经外科手术，研究显示 rTMS 可改善 5xFAD 小

鼠空间学习记忆能力。

结论：研发出国内首台三线圈导航定位经颅磁刺激系统、制定磁刺激设备国家行业标准，可视化多靶点多线圈交互导航定位技术实现了头部、皮层靶点、线圈多目标实时跟踪定位，神经外科完成了 nTMS 辅助脑功能区定位定界的脑胶质瘤手术，高频 rTMS 对鼠认知表现具有更好的调控作用。

关键词：无创神经调控；磁刺激；导航定位；脑深部刺激；脑功能区定位定界

Remote Photoplethysmography Methods Robust Against Spatially Uneven Illuminations

Rencheng Song*[1]、Xiaoxue Sun[1]、Juan Cheng[1]、Xun Chen[2]

1. 合肥工业大学

2. 中国科学技术大学

Objective: Accurate measurement of heart rate (HR) is highly demanded in telehealth systems, since it is closely relevant to the status of human health, mood, and stress etc. The remote photoplethysmography (rPPG) is a popular non-contact video-based HR measurement technique which has attracted much attention of researchers in recent years. In common scenarios of rPPG-based health screening, subjects are asked to put their faces within a predefined region on the screen and they need to keep stationary during the screening. This greatly avoids motion artifacts of rPPG and illumination noise becomes the main interference of the pulsatile signal in such case. In this talk, we will introduce some of our recent progresses to steadily extract pulse signals by rPPG with uneven facial illuminations.

Methods: The proposed rPPG methods are composed of three parts, including the selection of high-quality region of interest (ROI), the pulse extraction, and the HR estimation.

A. The selection of high-quality patch ROIs

The full facial region is divided into 4 × 4 patch ROIs and we select the optimal patch ROIs through comparing quality indices of green channel signals. The 4 optimal patch ROIs are determined according to the light intensity, light variation and the SNR indices of green signals defined from all patches.

B. Pulse extraction algorithms

We introduce two algorithms to extract the pulse signals from the green channels of optimal patch ROIs. In the first method, we take the multiset canonical correlation analysis (MCCA) technique to extract the shared pulsatile information from multiple patch ROIs. The intrinsic mode functions (IMFs), which are decomposed from the single-channel green signal on each patch by the ensemble empirical mode decomposition (EEMD), are prepared as input sets for MCCA. In the second method, we use the multivariate singular spectrum analysis (MSSA) to directly extract the pulse signals from the input green channels on all selected patch ROIs. The above two methods are named as EEMD-MCCA and MSSA, respectively.

C. HR Estimation

After getting the pulse signals from the EEMD-MCCA and MSSA methods, we select the candidate pulse as the one with the highest ratio of energy around the fundamental frequency and its first harmonic. The HR is further calculated by the fast Fourier transform (FFT) with the candidate pulse signal. This procedure can well

determine most of the HR measurements. However, there are still few outliers that destroy the stability of HR measurements. We further introduce a flowchart to remove outliers according to the HR continuity under the assumption that obtained HRs do not dramatically change during a short period.

Results: We test the proposed methods on the in-house BSIPL data set and the public COHFACE data set which contain strong uneven illuminations on facial regions. The BSIPL data set contains 37 1-minute videos of 37 subjects under natural light. The COHFACE data set contains 160 1-minute videos of 40 subjects. The processing window is set as 30 seconds, and the sliding step is taken as 5 seconds.

The EEMD-MCCA and the MSSA methods both achieve superior performance over existing methods. In detail, the root-mean-square error (RMSE), the mean absolute error (MAE), and the Pearson's correlation coefficient of EEMD-MCCA in COHFACE database are 4.81 bpm, 2.08 bpm, and 0.91, respectively, while the same quality indices of the MSSA method are 3.53 bpm, 1.65 bpm, and 0.95, respectively.

Conclusion: In this talk, we introduce two rPPG methods to estimate HR measurement from facial videos against spatially uneven illuminations. The two designed methods, the EEMD-MCCA and MSSA, fully take use of the spatial illumination variations and the strong cross correlations of pulsatile information in different patches. The experimental results have demonstrated the superior performance of the EEMD-MCCA and the MSSA over several typical rPPG methods. Particularly, the MSSA method achieves even better results compared to the EEMD-MCCA. The proposed methods provide a promising way to deal with the interference of spatially uneven illuminations in rPPG-based telehealth applications.

Key words: Remote photoplethysmography; heart rate estimation; joint blind source separation; uneven illumination

基于纳米管电穿孔阵列的高效准确的细胞内递送传感系统

方佳如[1]、徐冬馨[1]、谢曦[1]、胡宁*[1,2]

1. 中山大学电子与信息工程学院

2. 中国科学院传感技术联合国家重点实验室

电穿孔技术通过高强度电场的作用可以引入外源核苷酸、DNA、RNA、蛋白质等物质进入细胞，且通过显微镜 -ImageJ 或流式细胞术等标记的方法来分析其递送效率。然而，这些分析方法的准确性和复杂性仍然阻碍了高效精确的生物医学的研究。在这里，我们通过纳米管电穿孔阵列的技术开发了一种细胞内递送传感系统，可以通过细胞活力、递送效率和细胞死亡率有效评估电穿孔性能。该检测系统由纳米管电穿孔阵列、荧光显微镜和自动分析软件组成。系统的电穿孔效果评价是基于增强型荧光分水岭分割算法运行的，具有低偏差 (~5%) 、耗时短 (~8 s/10 张图像) 的优点。通过进一步优化，该检测系统将是一个可用于评估细胞生物学和医学领域的电穿孔效果的有潜力的平台。

关键词：细胞内递送检测系统；纳米管电穿孔阵列；增强型荧光分水岭分割；生物传感系统

多模态心肌细胞传感与调控器件、技术与系统

胡宁
中山大学

目的：心血管疾病一直是全球发病率和死亡率的主要原因，是人类健康的第一杀手 1-4。根据世界卫生组织的估计，全球每年超 1700 万人死于心血管疾病，约占全球死亡总数的 1/3，在心血管疾病的死亡病例中，心律失常是其关键性的诱因，心律失常的部分病因不明，且危害较大，因此，许多研究被广泛地开展起来旨在阐明心律失常的潜在机制。

方法:电生理研究是探索心律失常疾病机理的重要方法之一，具有良好的通用性，模型可以从亚细胞水平、组织水平到大型动物水平。然而动物模型与膜片钳技术存在这通量较低，操作复杂，参数单一等限制，难以满足高通量、高灵敏、高质量、长时稳定的心脏电生理研究与应用。

结果：多模态的心肌细胞传感与调控器件、技术与系统被发展起来，用于高通量高效高灵敏的开展心肌细胞的研究与药物分析。基于叉指阻抗传感器件与高速阻抗采集技术，实现了心肌细胞活性与机械搏动的同步传感检测，并实现了对各类心律失常药物的毒性分析。基于集成微电极与阻抗传感器件，开发了同步一体化传感检测技术，实现了心肌细胞电生理与机械搏动的同步一体化，并基于独特的耦联信息开发了离子通道药物的特异性筛选功能。基于多类三维微纳传感器件与多模态的电穿孔调控技术，实现了高质量高效的心肌细胞胞内电生理传感研究。

结论：多模态心肌细胞传感与调控器件、技术与系统，全面探索心肌细胞的电生理机制提供一种新型的、更加高效稳定传感调控方法，也将为进一步深入研究心血管疾病与新药开发提供一种有力的工具和平台，具有非常重要的理论和应用研究价值。

关键词：心肌细胞；多模态；微纳传感器件；生物医学传感与调控技术；传感检测系统

糖分子荧光检测及机理研究

孙晓龙
西安交通大学

目的：党的十九届五中全会提出“面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康”。糖分子因其结构多样性、高溶剂化能等特性，在生理条件下对其识别检测极其困难。1994 年，人们利用光诱导电子转移机理，开发了邻苯氨甲基硼酸荧光探针，成功应用于生理条件下单糖分子的检测，被大量应用报道，引发国际社会广泛关注。2003 年，科学家通过理论计算和实验验证，对上述识别机理提出质疑，并提出 pKa 转换机理。2017 年科学家提出聚集 - 解聚机理。但以上所有机理论断不能正确或完全解释荧光变化的真正原因。

方法：引入新分子，通过荧光滴定验证光学信号强度变化幅度；通过核磁共振硼谱确定溶剂嵌入的模式；pH 滴定确定 pKa。单晶结构解析预测能量转移形式，溶剂效应揭示硼酸酯结构效能，同位素效应反应羟基振动和转动能量模式。通过扩展到其他新硼酸荧光分子，分别通过糖分子响应、溶剂效应、同位素效应等技术分析手段，证实和上述同样的实验现象。

结果：1. 核磁共振显示硼原子四面体结构：溶剂嵌入；

2. 荧光滴定：水媒介中糖引发荧光增强；甲醇中无变化；

3. 糖结合前后 pH 滴定证明二醇与硼酸结合以及 pKa 变化；

4. 氘代水中质子交换引发信号增强且糖分子的结合无信号响应

结论：成功揭示了单糖分子荧光识别的新机理为分子内能量转移，即荧光能量通过硼酸二醇转动内部消耗，糖分子结合之后，能量转移被抑制，信号放大，否定了光诱导电子转移和 pKa 转换机理，为相关研究提供正确的理论指导。

关键词：糖分子；邻苯胺甲基硼酸；荧光探针；信号放大；传感机理

用多种适配体修饰的 LAPS 用于同时检测多种海洋生物毒素

田玉兰、朱平、陈雅婷、刘淑阁、杜立萍、陈炜、吴春生 *

西安交通大学医学部基础医学院生物物理学系医学工程研究所

目的：研制一种可同时检测多种海洋生物毒素的多位点光寻址电位传感器（LAPS）检测系统，实现两种海洋生物毒素大田软海绵酸 (OA) 和石房蛤毒素 (STX) 的同时检测。

方法：首先，将传统的 LAPS 检测平台与三维位移平台结合，构建 LAPS 多位点检测成像硬件系统，软件系统利用 Labview 编写，用于实现 I-V，I-f，I-t，一维，二维光电流的检测等多个功能；其次，在 DNA 修饰方法上，用带正电荷的聚丙烯胺盐酸盐 (PAH) 弱聚电解质层对 LAPS 表面进行修饰，可以将带负电荷的 DNA 链吸附在 LAPS 芯片表面；接着，将对 OA 和 STX 有特异性的适配体固定在 LAPS 芯片表面的多个位点上，以实现多通道，多毒素的同时检测，提高传感器的整体响应速度和灵敏度；最后，利用 LAPS 光可寻址的特性，测量每个位点的 I-V 曲线和光电流，实现对 OA 和 STX 的同时检测。

结果：成功构建了 LAPS 测量成像系统，可以用于 I-V，I-f，I-t，一维，二维光电流的检测。检测结果表明，PAH 可以成功将 DNA 固定在芯片表面，该生物传感器可以实现 OA 和 STX 的同时检测，并且对两种毒素的检测均具有较高的灵敏度和特异性。

结论：本工作搭建了可以多位点检测及成像的 LAPS 系统，构建了一种基于 LAPS 和适配体的用于海洋毒素检测的生物传感器，利用 PAH 固定 DNA 的方法操作简单，构建的传感器可以同时检测 OA 和 STX 两种海洋生物毒素，并且具有较高特异性和灵敏度，对于在食品安全，环境监测等方面的多种海洋生物毒素的现场快速和同时检测具有很大的应用潜力。

关键词：光寻址电位传感器（LAPS）；适配体；大田软海绵酸（OA）；石房蛤毒素（STX）；海洋生物毒素

金银铂核壳纳米颗粒非特异性检测牛血清白蛋白

孟利娜、朱键 *、翁国军、李剑君、赵军武

西安交通大学生命科学与技术学院 生物医学信息工程教育部重点实验室 陕西 西安 710049

目的：随着荧光共振能量转移（FRET）技术的发展，利用纳米颗粒进行生物检测成为热点。牛血清白蛋白（BSA）是牛血清中的一种球蛋白，被广泛应用于生物化学领域。因此，开发出能定量分析和检测 BSA 的方法具有重要意义。在各种贵金属纳米粒子中，铂纳米粒子由于高的体等离子体频率和较高的导电电子密度，使得其具有优异的光学特性。而在金纳米棒表面进行铂层包覆也将会产生不一样的荧光淬灭特性。本文通过优化 pH、铂浓度和内核金纳米棒纵横比，制备了具有最佳淬灭效果的金银铂核壳纳米颗粒，并基于 FRET 原理和静电吸附原理，来研究金银铂核壳纳米颗粒对 BSA 的荧光淬灭效应，从而获得金银铂核壳纳米颗粒对 BSA 的荧光淬灭规律，实现对 BSA 的非特异性检测。

方法：由于 FRET 非辐射能量转移与荧光基团和金属表面距离相关，当金银铂核壳纳米颗粒与 BSA 相互作用时，两者之间的静电结合作用大大减小了两者之间的间隙，使得 BSA 的荧光发生了很大程度的淬灭。

结果：通过探究金银铂核壳纳米颗粒的荧光淬灭效率随 BSA 浓度（0.1-2.7mg/mL）的变化关系，发现荧光淬灭效率关于 BSA 浓度（0.7-2.1mg/mL）呈线性关系，通过对实验数据做线性拟合，得到方程式 Y=0.78-0.15X，R^2=0.992，拟合效果良好。

结论：金银铂核壳纳米颗粒荧光淬灭 BSA 的机理是 BSA 与纳米颗粒间的非辐射能量转移，而产生能量转移的首要条件是供体的发射光谱与受体的吸收光谱之间有重叠；由于环境介电常数随 BSA 浓度增加而增加，这会导致金银铂核壳纳米颗粒的吸收峰位红移，进而使其与 BSA 荧光峰（约 340nm）之间的光谱重叠范围缩小。因此，金银铂核壳纳米颗粒的荧光淬灭效率会随着 BSA 浓度的增加而下降。在本研究中，实现了金银铂核壳纳米颗粒非特异性检测 BSA，且检测限可达 0.1mg/mL。

关键词：金银铂核壳纳米颗粒；牛血清白蛋白；荧光共振能量转移；荧光淬灭；非特异性检测

基于银包覆金纳米双锥体刻蚀的 C 反应蛋白多色酶联免疫检测

申珣、翁国军、李剑君、朱键、赵军武 *

西安交通大学生命科学与技术学院 生物医学信息工程教育部重点实验室

目的：C 反应蛋白（CRP）是一种合成于肝脏的蛋白质，机体发生炎症反应时会急剧升高，常用于临床监测感染及炎症过程。此外，作为心血管疾病的危险因子，CRP 也是心肌梗死检测的重要指标之一。目前成熟的 CRP 检测方法主要有酶联免疫吸附测定（ELISA）、放射免疫测定法和免疫比浊法，这些检测方法需要依托医院的检测体系，不利于 CRP 便携式检测和大规模推广应用。针对上述存在的问题，急需开发一种新的 CRP 检测方法。

方法：本文针对 CRP 的便携高灵敏检测，提出了一种结合贵金属纳米颗粒显色和 ELISA 方法的局部表面等离子体酶联免疫法。以银包裹金纳米双锥体 (Au NBP@Ag) 结构作为显色探针，利用 ELISA 的显色底物 3'-3-5'-5- 四甲基联苯胺 (TMB) 氧化状态下的 TMB2+ 定量刻蚀 Au NBP@Ag，构建多色彩可视化显色体系。ELISA 检测中酸性条件下生成 TMB2+ 刻蚀 Au NBP@Ag 导致其金银组分及形貌发生改变，从而引起胶体颜色在可见光范围内的多色彩变化，这种多色彩的颜色变化相比 TMB 单色变化更加灵敏，可显著提高传统 ELISA 的检测限，实现血清中 CRP 高灵敏度检测。

结果：本文还利用理论计方法算对 Au NBP@Ag 多色探针的银层包裹方式进行了优化，发现包裹的银壳形状为棒状时光谱波峰移动量对银壳厚度响应的变化最大，显色变化灵敏度最高。基于优化的棒状 Au NBP@Ag 探针刻蚀，本方法在 CRP 浓度为 0-25 ng/ml 的范围内可肉眼观察到 6 种颜色变化。

结论：相比于传统 ELISA，本文提出的多色酶联免疫检测变化的线性范围更大，肉眼半定量检测的灵敏度更高，在不依托医院检测系统的基础上能够便携的高灵敏检测 CRP 的浓度，为临床感染及炎症和心肌梗死快速诊断提供有效的途径。

关键词：C 反应蛋白；局部表面等离子体共振；银包裹金纳米双锥体；酶联免疫反应

A Taste Bud Organoid-based Biosensor for Chemical Sensing via Microelectrode Array Recordings

Shuge Liu、Ping Zhu、Yulan Tian、Yating Chen、Yage Liu、Wei Chen、Liping Du、Chunsheng Wu*

Institute of Medical Engineering, Department of Biophysics, School of Basic Medical Sciences, Health Science Center, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China

Objective: Taste loss so seriously affects the patient's life quality that has arouse people's great attention. In the recent years, taste bud organoids have been successfully developed and applied in many fields, especially in biomedicine[1]. Taste bud organoids provide a great convenience for the research of taste functions and the underlying mechanisms[2]. The combination of organoids and sensors is a very distinctive and dynamic emerging field in biomedicine[3]. This research aims to cultivate taste bud organoids and load onto microelectrode array (MEA) sensors, explore the electrophysiological changes when taste sensing occurs, which provide new **Methods:** for chemical sensing, taste signal transduction mechanisms, as well as the treatment of taste diseases.

Methods: The 7-days old C57BL6/J neonatal mice were put to death with anesthetic. The tongue were removed and put in sterile PBS buffer. The isolated single cells of circumvallate papilla (CV) and folate papillae (FL) were cultured in taste bud organoid medium for 2-3 generations. Then, the multi-electrode arrays (MEAs) are 64-channel, which can record the firing activities of multiple neurons in large quantities at the same time were combined with taste bud organoids to record cell physiological changes under different taste stimuli, in order to reveal the function of taste buds in taste sensing.

Results: CV and FL were successfully separated from tongues of mice. Single cells obtained from CV and FL were embedded in Matrigel and overlaid with growth medium adapted for taste bud tissue. At culture Day 10, there were sphere-like structures in which the multi-cell and bud conformation can be clearly observed under the microscope. On the 7th day of culture, cell spheres were digested to single cells which resulted in an increased number of spherical structures.

Conclusion: Taste cells can be obtained from CV and FL tissues, which can grow into a spherical structure under 3D culture conditions. This structure is composed of multiple cells, and there are obvious budding parts. After that, the multicellular spheres will be seeded on a 64-channel MEA chip and processed with different taste stimuli to detect changes in the electrophysiological signals in response. At the same time, the device's response to special substances that cause taste failure will also be tested. In addition, an injury model, such as oral mucositis, will be created, combined with MEA chip, for drug treatment, feedback control, and ultimately determine the possible mechanisms.

Key words: organoids; taste buds; MEAs; taste sensation; signal transduction

用于视网膜神经信号检测的新型 3D 微电极阵列研究

张奎[1,2]、何恩慧[1,2]、徐世弘[1,2]、戴玉川[1,2]、罗金平[1,2]、宋轶琳[1,2]、
吕诗雅[1,2]、刘瑶瑶[1,2]、杨燕[1,2]、景露易[1,2]、徐声伟[1,2]、蔡新霞*[1,2]
1. 中国科学院空天信息创新研究院 传感技术国家重点实验室
2. 中国科学院大学

目的：微电极阵列 (MEA) 因具有多通道同时记录群体细胞的优势，被广泛应用于研究视网膜视觉信息处理的编码机制。然而，由于离体视网膜组织在结构上呈现半球形，采用平面 MEA 进行实验时，一方面，视网膜会发生形变而导致异常生理状况。另一方面，由于组织与电极之间贴附不紧密，引入额外噪声，导致 MEA 记录效率低。为了克服这些问题，本研究提出了一种基于平面 MEA 制备三维（3D）MEA 的新方法，并通过该方法完成了 3D MEA 的制作。

方法：3D MEA 制作过程如下：一：以平面 MEA 为基底，在其表面旋涂 AZ4903 光刻胶，然后进行曝光、显影以打开平面 MEA 的检测位点；二：采用计时电流法将 PtNPs 电镀到每个位点上，通过调整不同参数控制电镀效果。选择参数为沉积电压 -1.2V，电镀时间 100s。为了获得更加紧密的 3D 结构，电镀过程在超声条件下进行；三：通过丙酮去除光刻胶以使 3D 结构暴露在平面电极上，再完成沉积绝缘层，开检测位点窗口，各向异性刻蚀绝缘层等步骤，制备得到 3D MEA。

结果：通过电镀 PtNPs 形成的 3D MEA 拥有致密且稳定的检测位点。在视网膜培养检测实验中，3D MEA 拥有更好的信噪比，其平均信噪比为 5.61，而平面 MEA 为 2.43。同时 3D MEA 相对于平面 MEA 能检测到更高幅值的信号，动作电位平均峰峰值从 78 μ V 增加到 203 μ V。在视网膜谷氨酸刺激实验中，3D MEA 检测到的动作电位的平均发放率为 6.32，平面 MEA 仅为 3.44，说明 3D MEA 能检测到更多神经节细胞的放电。

结论：3D MEA 形成的 3D 结构在视网膜离体检测中能起到改性的作用，这可能得益于高度的增加，组织与电极之间耦合系数增加，进而增加了信噪比。另外很多研究表明，这种 3D 结构的尖端能够实现对检测组织外侧坏死细胞的穿透从而获得更好的记录条件。所以基于本文提出的新方法制备的 3D MEA 未来在三维类脑器官或细胞检测等领域有广阔的应用前景。

关键词：PtNPs；3D MEA；视网膜神经节细胞；谷氨酸；电化学沉积

全自动贝类毒素现场前处理及检测一体化仪器的研制

孙先佑、马驰宇、孔留兵、王平*
浙江大学

目的：海洋中的有毒藻类引发赤潮时，贝类会摄食有毒藻类而在体内积累毒素，从而危及人类生命健康。由于贝类样品前处理复杂，检测依赖于大型仪器设备，目前国内外均无法做到样品的现场快速检测。为解决该问题，我们研制了一种全自动贝类毒素现场提取及检测一体化仪器，可以完成贝类毒素的现场提取和检测。

方法：为实现贝类毒素检测的现场化及仪器的便携化，我们创新性地依托于微型光谱仪设计了一种基于适配体和比色原理的贝类毒素检测方法。我们以腹泻性贝类毒素冈田酸（OA）为例设计了检测方法。首先将特异性适配体与待测液混合，使得 OA 与适配体特异性结合。再向混合液中加入纳米金溶液，未与 OA 特异性结合的适配体则会由于静电吸附而包裹在纳米金粒子表面，形成保护作用。最后向混合液中加入 NaCl 盐溶液，未被适配体包裹的纳米金粒子由于表面带有负电荷而被盐溶液中的正离子吸引，发生聚沉，从而引起溶液吸光度的变化[1]。我们通过波长范围 470nm-780nm 的 LED 光源和微型光谱仪测得溶液在 520nm 处和 650nm 处的吸光度变化，进而定量地计算出待测液中 OA 的浓度。以国标中对贝类样品的手工前处理为参考标准，我们设计了集成称重、绞碎、萃取、均质、离心、过滤和检测功能的全自动贝类毒素现场提取及检测一体化仪器。

结果：该仪器的前处理及检测时长分别为 20 分钟和 40 分钟左右，检出限为 1.80 μg/L 并具有 20-10000 μg/L 的检测范围。

结论：本研究成功开发出基于微型光谱仪的贝类毒素检测方案并设计了集贝类样品现场前处理和检测于一体的自动化仪器，操作简单，便于水产养殖户直接使用，可有效防治我国贝类毒素污染。

关键词：全自动仪器；贝类毒素；现场检测

面向肠道器官平滑肌的肌张力测试系统设计

倪伟杰 * 郭旭东

上海理工大学

为了研究胃肠道动力异常造成功能性胃肠病的发病机制，面向肠道器官平滑肌设计了一种高精度、高可靠性、重复性好的肌张力测试系统。测试系统主要包括：肌条夹持装置、肌张力放大装置、霍尔式力传感器、信号处理模块、数据处理与显示模块、微处理器、电源模块。为避免肌条夹持过程中预紧力过大导致断裂，而预紧力过小导致测试失效，采用了基于微处理器的自适应肌条夹持方法；肌张力放大装置采用多级杠杆结构，利用柔性铰链作为杠杆支点实现肌张力的放大，对设计的杠杆结构进行有限元分析，杠杆的放大倍数为 405.376;采用霍尔式力传感器与信号处理模块对放大后的力进行测量。基于以上原理,开发了测试系统的样机，并完成了性能验证实验。经过实验可知：测试系统的灵敏度为 34.419V/g，线性度误差为 1.627%，重复性误差为 0.633%，迟滞性为 3.323%。实验结果表明：测试系统能实现 0.15g 量程以内的肌张力测试，且具有较高的测量精度。

关键词：胃肠道动力；肌张力放大装置；霍尔式力传感器；信号处理模块

基于等离子体纳米材料的新冠病毒变异预防平台

张博

南方科技大学

目的：随着新冠病毒的变异不断升级，区分不同变异株的新冠病毒感染和精准确定新冠病毒变异及溯源成为了我国对抗疫情的重要课题。本项目提出一种基于等离子体金属纳米材料微阵列芯片的多通道、高通量检测技术，利用等离子体金属纳米材料在近红外区能够实现荧光信号两个数量级的增强，以及微阵列技术高通量的特点，构建新冠病毒变异株特异性识别的核酸和蛋白微阵列，实现在同一样本中对不同变异株新冠病毒的核酸检测，同时利用抗原抗体的特异性识别，实现同一样本中多种抗体的多通道检测及结合强度检测。这一技术的实现将有助于全国范围对新冠病毒的检测，以及已接种疫苗人群免疫效果的评价，分别从核酸检测和免疫屏障建立的角度，构建可调节性高、多通道、高通量的新冠病毒变异预防平台。

方法:本研究以创新学科交叉的方式，综合了临床检验诊断学、纳米化学、材料化学、免疫学等重要学科。首先基于文献调研及现有研究基础，设计合成等离子体金属纳米芯片，并研究其不同表面化学修饰对荧光信号放大的效果；通过对所合成的芯片进行材料成分、微观结构进行表征，反馈于材料的设计与合成；进一步设计微阵列芯片，构建不同病毒变异株抗原及核酸序列固载的微阵列芯片；利用标准品对芯片进行性能测试，表征其应用于病毒变异株检测的性能，根据得到的结果进一步指导芯片表面修饰的优化；对所检测的免疫标志物指标进行应用范围测试，根据信号范围确定不同标志物的检测限；最终进行临床分析并确立其灵敏度和选择性指标。

结果：a. 设计并构建了一系列等离子体金属荧光增强的核酸、蛋白微阵列芯片；
b. 实现了新冠病毒 RNA 序列及主要变异体 RNA 序列的高通量检测；
c. 建立了高通量的对不同新冠病毒变异免疫效果的评价体系。
d. 相关技术已进行临床试验，服务了超过 1000 万群众，并获得了美国医疗器械注册。

结论：新型等离子体纳米材料新冠检测平台可以实现多种病毒核酸的高通量分析，并实现新冠病人的高通量免疫评价。

关键词：新冠检测；等离子体纳米材料；蛋白与核酸分析

Odor Induced Modification of Oscillations and Related Theta-Higher Gamma Coupling in Olfactory Bulb Neurons of Awake Rats

Ping Zhu (graduate)[1,2], Shuge Liu[1,2], Yulan Tian[1,2], Yating Chen[1,2], Wei Chen[1,2], Ping Wang[3], Liping Du[1,2,3*], Chunsheng Wu[1,2*]

1 (Institute of Medical Engineering, Department of Biophysics, School of Basic Medical Sciences, Health Science Center, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China)

2 (Key Laboratory of Environment and Genes Related to Diseases (Xi'an Jiaotong University), Ministry of Education of China, 710061, Xi'an, China)

3 (Biosensor National Special Laboratory, Key Laboratory for Biomedical Engineering of Ministry of Education, Department of Biomedical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract : Olfactory gamma oscillations (40-100 Hz) are generated spontaneously in awake animals, and represent the activity of local OB networks, which play important roles in cognitive mechanisms. In addition, high-frequency oscillations (HFO, 130-180 Hz) has also attracted widespread attention, which is a novel neuronal oscillation with a frequency range close to high gamma (HG) oscillations. Both of two oscillations are distinctly regulated by theta rhythm in the hippocampus. In order to understand their mediation mechanisms in the OB, we testes whether HG and HFOs, and even their coupling with theta rhythm are modified by odor stimulation in freely-moving rats by combining electrophysiological and cross-frequency coupling analysis approaches. The obtained results indicate that HG and HFOs and their theta phase-locked coupling were differently modified by odor stimulation, suggesting that these oscillations and their interactions with theta oscillations may play roles in olfactory network activity. This could pave the way to further understand the underlying mechanisms of oscillations in olfactory bulb neurons towards odor sensation.

Key words : neuronal oscillations; high gamma; high-frequency oscillations; cross-frequency coupling; odor stimulation

基于 CsPbBr3/Fe3O4)@MPSS@SiO2@Gelatin 钙钛矿纳米复合微球用于循环肿瘤细胞的高效分选和无损释放

李蕊 [1,2]

[1.] 新疆大学

[2.] 武汉大学

目的：设计出一个高效分选及无损释放循环肿瘤细胞的复合材料，实现癌症早期诊断

方法：采用微乳液法制备复合材料，在抗原抗体特异性结合下分选肿瘤细胞

结果：分选和释放效率高于 80%，释放活性高达 95%，释放后的细胞具有很强的增殖能力。

结论：纳米材料具有良好的生物兼容性、很好的化学稳定性、加上材料表面富含基团易于修饰，被广泛应用于循环肿瘤细胞的捕获与释放。为此我们将磁性纳米颗粒与荧光量子点材料复合起来，制备了一种磁珠量子点复合材料用于细胞分选。XRD 实验结果发现，CFMS-MOMS 所有的衍射峰与 CsPbBr3NCS、Fe3O4 量子点和 MPSs 有很好的一致性，证实了 CFMS-MOMS 的成功组装。扫描电子显微镜结果显示，制备的磁珠量子点复合材料尺寸均匀，成球形，尺寸在 10 μ m 左右。XPS 没有检测到明显的 Fe2p 特征信号，这证明样品表面没有 Fe 或微量的 Fe，表明几乎所有的 Fe3O4 量子点都包裹在 MPSs 和 SiO2 壳层中。此外合成的 CsPbBr3 纳米碳管的荧光光谱在 508 nm 处有一个非常高强度的发射峰，呈现出明亮的绿光，且不易猝灭。免疫荧光微球具有优异的磁 / 荧光特性，在复杂基质中具有非凡的稳定性，采用具有良好生物兼容性的明胶包覆复合微球，经过逐步修饰，将抗体嫁接到明胶表面，在抗原抗体的特异性结合下，成功实现了患者外周血中循环肿瘤细胞的高效分离和同步荧光识别。采用金属基质蛋白酶溶解明胶，从而将捕获到的细胞释放下来，实验结果显示，在最佳孵育条件下，肿瘤细胞的捕获和释放效率均在 80% 以上，对释放后的细胞收集再培养发现，释放后细胞活性高达 95% 且具有很强的增殖能力。这种基于磁光微球的细胞分离方法操作简单，分选效率高，活性不受影响，有助于揭开肿瘤转移的面纱，实现个性化治疗。

关键词：循环肿瘤细胞 ; 磁 / 荧光特性 ; 高效分选 ; 无损释放 ;

基于多孔基底与离子液体的微型电化学气体传感器研究进展

万浩 *、王平

浙江大学

目的：气体检测是生物医学传感检测技术的重要组成部分，电化学气体传感器具有灵敏度高、选择性好、检出限低、易微型化的优点，广泛应用于各类气体的检测，在安全防护、环境检测、疾病诊断等领域发挥着重要作用。然而，电化学气体传感器仍面临着诸多挑战：一是传统的支持电解质易挥发，影响了传感器的寿命及微型化；二是气体通常需要扩散通过支持电解质，气体在支持电解质中较慢的扩散速度影响了传感器的响应时间。

方法：针对这些问题，我们提出了基于柔性多孔基底与离子液体的微型电化学气体传感器，利用离子液体难挥发、寿命长、电导率较高、电化学稳定性好的特点，使用离子液体作为支持电解质构建气体传感器。

而离子液体的高黏性特点进一步阻碍了气体的扩散，延长了传感器的响应时间。为解决这一问题，我们通过在多孔基底表面加工电化学电极，使气体直接经多孔基底扩散，大大缩短传感器的响应时间。基于这一技术路线，我们使用多孔聚四氟乙烯或多孔陶瓷作为基底，结合不同的传感器加工技术，在多孔基底上制备微型化的三电极系统，再使用离子液体作为支持电解质，研制了多种高性能电化学气体传感器。

结果：结合微加工技术，研制了基于多孔聚四氟乙烯的金叉指气体传感器，提出瞬态气体检测方法，实现氧气的快速检测；研制了基于多孔聚四氟乙烯的铂圆盘气体传感器，结合不同的催化电位，实现甲烷、氧气、臭氧、二氧化硫四种气体的检测；结合丝网印刷技术，研制了基于多孔聚四氟乙烯的碳纳米管气体传感器，通过氧气检测验证了传感器的可行性，为离子液体电化学气体传感器的快速、灵活加工提供了解决方案；进一步研制了基于多孔陶瓷基底的碳气体传感器，使用离子液体与聚偏二氟乙烯制备固态电解质，实现二氧化氮气体的检测。

结论：基于多孔基底与离子液体的微型电化学气体传感器具有寿命长、体积小、响应速度快、加工简单、价格低廉等优点，将有望应用于各类有毒、有害气体的检测，为气体检测提供新的技术手段。

关键词：电化学气体传感器；多孔基底；离子液体；气体检测；快速响应；

利用相衬细化和相位抽取的深度级联增强类同轴 X 射线相衬成像

吴越、张林、贾梦宇 *

天津大学

与传统的基于吸收作用的 X 射线成像方法相比类同轴 X 射线相衬成像提供了更多的附加信息，在临床诊断、材料检测等方面显示出巨大的潜力。传统的相位抽取方法受其内在的物理特性影响，可行性受限。为此提出了一种基于深度学习的图像重建增强策略，在提高相位抽取噪声抑制能力的同时提高空间分辨率。该网络由相衬细化模块和相位抽取模块组成并以即插即用的方式进行组合，使用有限的训练数据对组合网络进行微调训练。用组织病理学图像模拟的相衬图像进行了验证实验，并与传统的相位 - 吸收二元性方法进行了比较。与传统的相位抽取方法相比，该算法获得的相位抽取结果的结构相似性指数和峰值信噪比分别提高了 8.05% 和 30.35%，均方根误差以及半高全宽降低了 45.80% 和 15.86%。在类同轴相衬成像中使用深度学习展开的初步研究中显示，深度学习在提高空间分辨率和抑制噪声方面比传统的相位抽取方法更具优势。

关键词：类同轴 X 射线相衬成像；相位抽取；空间分辨率；噪声抑制；深度学习

WMCNTs/PEDOT:PSS 修饰微电极阵列用于甘氨酸调控下的大鼠皮层神经元检测

吕诗雅 [1,2]、罗金平 [1,2]、徐世弘 [1,2]、邓宇 [3]、何恩慧 [1,2]、张奎 [1,2]、徐声伟 [1,2]、沙龙泽 [3]、许琪 [3]、蔡新霞 *[1,2]

1. 中国科学院空天信息创新研究院 传感技术国家重点实验室

2. 中国科学院大学

3. 中国医学科学院基础医学研究所 医学分子生物学国家重点实验室

目的：甘氨酸为抑制性神经递质，多应用于治疗癫痫等神经系统疾病。微电极阵列检测有助于精确了解甘氨酸对神经元或神经网络的调控。本文设计并制备了一种基于 MWCNTs/PEDOT:PSS 的微电极阵列，用于检测不同浓度甘氨酸调控下大鼠皮层神经元的神经动力学变化。该方案具有更低阻抗、更高表面积、更高电荷存储容量，提高了神经元电生理信号的检测灵敏度。

方法：制备流程包括：首先，将玻璃基片经过甩胶、光刻、曝光、显影；再将钛、铂溅射于基片表面；接着，

用等离子体增强化学气相沉积，沉积 300nm 氧化硅和 500nm 氮化硅；最后，用 CHF3 刻蚀氧化硅和氮化硅的绝缘层，清洗后得到所需 MEA。利用电镀法定向修饰微电极位点：通过循环伏安法使 MWCNTs/PEDOT:PSS 沉积于位点表面。神经元培养及电生理信号记录：在制备好的微电极阵列上培养大鼠皮层神经元，待神经元功能成熟并形成网络。分别往测量溶液中滴加 5、10、50、100、200 μ M 及 1、3、5、10mM 的甘氨酸，并用 128 通道数据记录系统记录神经元电生理信号 10 分钟。

结果：对比不同浓度甘氨酸下的神经元电生理信号，发现初始状态与甘氨酸浓度为 5、10、50、100、200 μ M，神经元 spike 放电率随甘氨酸浓度增加而降低；甘氨酸浓度达到 1mM 时，神经元 spike 的放电率增高，平均 spike 放电率为初始的 1.7 倍，并激活部分未放电的神经元产生电生理活动；甘氨酸浓度超过 3mM 时，对神经元开始产生毒性，神经元放电被明显抑制；甘氨酸浓度超过 5mM 时，部分放电通道消失；超过 10mM 时神经元放电生理信号全部消失，细胞死亡。

结论：本论文制备了微电极阵列，实现了对该电极位点 MWCNTs/PEDOT:PSS 的定向修饰，使微电极阵列达到低阻抗、小相位延迟、高信噪比的特点，可以在电生理层面上评价甘氨酸对神经元的影响，有望为理解甘氨酸引发疾病的潜在机制提供了新的检测技术与研究方法。

关键词：WMCNTs/PEDOT:PSS；微电极阵列；甘氨酸；神经网络

基于多时间序列融合的可穿戴呼吸率估测

赵艳、杨于民、孔德元、丁晓蓉 *

电子科技大学

呼吸率作为临床诊断最重要的生命体征之一，其无创连续实时监测在临床上具有重要意义。基于可穿戴心电或脉搏波信号对呼吸率进行间接估测，是较为普遍的无创呼吸率监测手段。其通过从心电或脉搏波信号中提取一个或多个呼吸相关的调制信号，并将基于这些调制信号所估测得到的多个呼吸率数值进行融合，得到呼吸率估测值。但可穿戴的心电或脉搏波容易受运动伪迹等外部因素的干扰，影响所提取的呼吸调制信号质量，进而影响呼吸率的估测精度。基于此，本研究提出一种基于多时间序列融合的呼吸率估测方法，该方法通过动态时间规整和主成分分析方法将可穿戴信号中提取的多个呼吸调制时间序列进行融合，使其最大限度保留呼吸活动相关信息，获得一个融合后的呼吸信号进行最终的呼吸率估测。该方法通过 CapnoBase 数据验证，结果表明多时间序列融合估测的呼吸率平均误差和平均绝对误差分别为 -0.254±2.932 和 1.683 次 / 分，相较于基于单个呼吸时间序列的融合估计，具有相对更高的估测精度。

关键词：可穿戴；呼吸率；连续；时间序列；融合；

基于非酶电极的微型化、智能化电化学检测系统

张晓涛、韦漪、严洪立、潘海波、杜民、高跃明 *

福州大学

目的：电化学检测为准确及时的医疗保健、临床诊断、环境监测和食品分析提供了一个很好的检测方案。在目前的工作中，开发了一种基于非酶电极的微型化、智能化电化学检测系统。该检测系统的组成包括：自研便携式微型化电化学恒电位仪、安装有自主开发安卓电化学检测应用程序（APP）的智能手机、非酶材料修饰丝网印刷电极（SPE）传感器。

方法：该基于非酶电极的微型化、智能化电化学检测系统可实现循环伏安法、计时电流法、差分脉冲伏

安法等多种电化学检测方法。此外，该系统用于电化学检测时，输出电压激励的分辨率可达到 62.5μV，响应电流的检测分辨率可低至 3.125 pA。同时，该系统具有电化学分析灵敏度自动调节功能，系统实时为电化学检测自动匹配最佳的电流分析灵敏度，最大限度的提高响应电流检测精度。安装有安卓电化学检测应用程序的智能手机用于与恒电位仪之间的无线通信、检测参数设置、曲线拟合和数据定标等功能。在丝网印刷电极上修饰了氧化镍纳米颗粒（NiONP）和全氟化树脂溶液（Nafion），并用作生物医学分子检测的非酶传感器，该非酶传感器在电化学系统的检测过程中被用于转换和放大响应电流。

结果：将该基于非酶电极的微型化、智能化电化学检测系统与电化学工作站（CHI660E，上海）在铁氰化钾 / 亚铁氰化钾（1：1）水溶液中进行循环伏安法的检测性能对比实验，实验对比了不同溶液浓度下和不同扫描速率下二者检测波形之间的差异，检测结果显示该系统与电化学工作站的检测波形差异小于 1.63%，表明了该系统具有出色的电化学检测性能。将该系统用于乳酸的电化学检测，检测结果表明，该系统具有良好的乳酸检测性能，系统对乳酸检测的线性范围为 0.1 ～ 30mm，相关系数 R^2 为 0.997。

结论：检测范围满足了乳酸临床检测范围的需求。原则上，该基于非酶电极的微型化、智能化电化学检测系统还可用于其他具有临床意义的生物医学分子的电化学检测。

关键词：电化学；恒电位仪；乳酸；非酶检测；生物医学分子

无袖带连续血压估计问题中因果关系的挖掘

刘磊、丁晓蓉 *

电子科技大学

血压是人体重要的生理指标之一，无袖带连续血压估测对人体健康监测和心血管疾病的早期预防、诊断及治疗具有重要意义。在过去十几年里，研究者们尝试使用无创可穿戴体表生理信号如心电和光电容积脉搏波信号来间接地对连续血压进行估测，通常是利用与血压具有较强相关性的一些特征指标来对血压进行估计。基于相关性建立的血压估测模型因为忽略了这些特征与血压间的因果关系，而无法可靠及精准地估测血压。本文提出利用基于条件独立性检验的快算因果推断 (Fast Causal Inference, FCI) 算法对体表可获特征与血压间关系进行因果推断，通过筛选合适的特征，从而避免因果网络的割裂。因果推断结果发现收缩压和舒张压是导致脉搏波传导时间 (Pulse Transit Time, PTT) 的直接原因；此外，舒张压间接地导致了特征 Am_dpmax-sdpb(Amplitude between dPPG_max and sdPPG_b) 和 (c+d-b)/a。因果推断的结果与目前学者们利用 PTT 进行无袖带连续血压估计的工作思路相互印证，且有利挖掘了除 PTT 外其他的血压变化相关特征指标，为无袖带连续血压估计问题提供了新的思路。

关键词：因果推断；FCI；无袖带血压；PTT

基于电容耦合的呼吸检测

殷圣童

重庆理工大学

目的：当今社会，诸如慢性阻塞性肺疾病，睡眠呼吸暂停综合症，哮喘病等各类呼吸系统疾病已经给人的身体健康造成了极大的影响。大多数呼吸系统疾病是慢性疾病，对患者和社会都有严重的影响。因此，人体呼吸状态的信息，不仅在医学应用中具有重要意义，也有助于人们监控自身健康。呼吸流量作为一种主流的呼吸状态的生理指标，通常使用鼻插管进行测量，侵入式的方法易给使用者造成不适。现实生活中，利用

无线、非侵入性的设备来实时监测呼吸过程变得越来越重要，这不仅为病人减轻了痛苦，也为疾病的早期发现和诊断提供了足够的信息。

方法：电容器与人体耦合，在呼吸运动过程中引发的电极的微小位移会导致电容值的变化，将电极与皮肤之间的距离直接关联，无需传感器与人体直接接触，以实现呼吸信息的非接触检测，同时传感电极与皮肤形成了一种不易察觉和持久的界面，确保了信号简单可靠的处理。在本研究设计的呼吸监测装置中，金属板构成的皮肤电极的能够感知人体内的生物信号，并将生物信号准确地转换并传输至基于 FDC2214 电容数字转换器构建的信号采集处理系统，提高了采集信号的精确度。

结果：过对志愿者的日常活动中呼吸状态的持续监测以及与传统呼吸监测设备的对比，实验结果显示出该测量方式能够稳定测量实验对象的呼吸且能正确反映实验对象的呼吸频率，测量误差在 3% 以内。

结论：本研究表明该电容耦合监测呼吸信号的方式的输出信号具备出良好的可靠性和可行性，实验用自供电传感装置可用于实时，连续，无创监测细微的肌肉运动以及人体呼吸状态。

关键词：呼吸监测；电容耦合；无创检测

Carbon Nitride-based Electrochemical Aptasensor for the Sensitive Detection of Okadaic Acid

Yating Chen、Wei Chen、Dongxin Liang、Yulan Tian、Ping Zhu、Shu Kong、Liping Du、Chunsheng Wu*

西安交通大学

Abstract: Marine toxin, Okadaic acid (OA), can be accumulated in bivalves and cause diarrhetic shellfish poisoning. It is urgent to develop a cost-effective and sensitive method for the detection of okadaic acid. Here an electrochemical impedance spectroscopy (EIS) sensor was developed using graphite-phase carbon nitride nanosheets conjugated aptamer. The biosensor showed simple preparation, convenient operation, and good performance. The detection range of OA ranged from 1×10-14 mol L-1 to 1×10-7 mol L-1 with a detection limit of 1×10-14 mol L-1. The biosensor also exhibited a high selectivity towards other toxins including dinophysistoxins (DTX), pectenotoxins (PTX), and yessotoxin (YTX). All these results suggested that this biosensor has great potential applications in toxins and biomolecules detection.

Key words: graphite-phase carbon nitride; aptamer; marine toxin; electrochemical impedance spectroscopy

Biochemical and genomic analysis of unique Paenibacillus agaridevorans strain isolated from murine host

Jun Chen、Chun Loong HO*

南方科技大学

Objective: The human microbiome is the sum of all microbiota that reside on or within the human body, playing an essential role in our daily lives. However, little is known about the bone microbiome, mainly since microbial communities were generally considered unable to grow within bone matrices. In this study we investigated if microbes are prabably present in normal bones of healthy animals.

Methods: We isolated a unique microbial colony that generates a transparent zone and shallow fossa on the Mueller Hinton plate during our investigation of the bone microbiota of rat tibia and femur. Following studies were used for validating if this microbe are capable of surviving in bone-like environment, including the complete genome sequence analysis, biochemical analysis (e.g., anaerobic growth, agarase, amylase activity, motility, endospore staining, biofilm formation, antibiotics susceptibility tests), and immunohistochemistry.

Results: The 16S rRNA gene sequencing result revealed that this strain belongs to Paenibacillus agaridevorans. P. agaridevorans is generally found in soil samples rather than animal hosts, prompting us to study its various biochemical properties and potential applications. The biochemcial studies suggest this microbe is highly prabably able to live within bone matrix.

Conclusion: These preliminary biochemical data suggested that this P. agaridevorans strain can live within bone matrices, but understanding how its impacts on bone health need further investigations.

Key words: Bone microbiome; Paenibacillus agaridevorans; biochemical analysis; genomic analysis; immunohistochemistry

基于格拉姆角场和卷积神经网络的电子鼻气味智能识别算法的研究

熊忆舟 [1,2,3]、薛莹莹 [2,3]、张钧煜 [2,3]、于伟杰 [2,3]、张希 [4,5]、孙启永 [4,5]、万浩 [1,2,3]、王平 *[1,2,3]

1. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院
2. 浙江大学生物传感器国家专业实验室
3. 浙江大学教育部脑与脑机融合前沿科学中心
4. 浙江省健康智慧厨房系统集成重点实验室
5. 宁波方太厨具有限公司

电子鼻是一种模拟生物嗅觉原理实现复杂气味检测和识别的仪器，其通常由非特异性的气体传感器阵列和模式识别算法组成。本文针对目前电子鼻的识别算法中特征提取过程繁琐、识别速度慢、识别准确率不高等问题，提出了一种基于改进的格拉姆角场和深度残差卷积神经网络的模式识别算法 GAF+GAFNet。该算法将传感器响应数据使用格拉姆角场进行升维，保证信号的特征不会损失，再将变换后的数据合成为三维数据块，输入深度残差卷积神经网络进行特征提取和气味识别。针对电子鼻对水果新鲜度的复杂气味识别面临的难题，应用本文的算法进行识别，得到了 89.92% 的识别准确率。此外，通过与多种主流算法进行了对比和分析，表明了本文提出的 GAF+GAFNet 算法具有简便、快速和准确率高的优点，证明了本文提出的电子鼻气味识别算法对复杂气味具有最佳的识别能力。

关键词：电子鼻；模式识别；气味识别算法；格拉姆角场；卷积神经网络

基于石墨烯修饰的电化学免疫传感器免标记检测肿瘤标志物 CA19-9

杜立萍、池苗苗、陈炜、吴春生 *

西安交通大学

目的：快速检测血清中的肿瘤标志物对于癌症的早期筛选与诊断具有重要的临床意义。复杂的血清组分严重影响电化学生物传感器的检测性能，提高电极表面的抗生物污染能力有助于改善传感的检测性能。鉴于

二维石墨烯材料优良的导电性及牛血清白蛋白的抗污作用，本文用戊二醛将牛血清白蛋白和石墨烯交联在电极表面，制备出具有抗生物污染性能的三维导电纳米复合物，结合特异性抗体制备出电化学免疫传感器，用于肿瘤标志物 CA19-9 的免标记、灵敏检测。

方法：优化牛血清白蛋白、石墨烯、戊二醛的分散混合比例，利用滴涂法交联在金电极表面，电化学循环伏安法表征交联修饰前后电极的电化学特性；利用 EDC/NHS 将 CA19-9 抗体共价固定在修饰后的电极表面，制备电化学免疫传感器；利用电化学阻抗法，免标记检测传感器对 CA19-9 的响应性能。

结果：循环伏安曲线表明牛血清白蛋白（15 mg/mL）和石墨烯（1 mg/mL）在戊二醛修饰交联后的电极保持良好的电化学特性；经修饰的电极在血清中具有良好的抗污性、可重复性及电化学稳定性；该电化学免疫传感器对 CA19-9 抗原的电化学阻抗响应，在 3-100 U/mL 范围内具有浓度依赖关系，检测下限可达 10 U/mL，检测时间可控制在 1 小时以内；该电化学传感器对血清样品中 CA19-9 的检测结果与 ELISA 检测结果具有良好的相关性。

结论：基于牛血清白蛋白和石墨烯修饰的电化学免疫传感器具有良好的抗生物污染特性，能实现对血清中 CA19-9 抗原的快速灵敏检测，有望作为一种快速检测技术用于癌症筛选及早期诊断。

关键词：抗污；电化学免疫传感器；CA19-9；石墨烯；牛血清白蛋白

铁氰化物对光电化学传感器中溶解氧的屏蔽

安子建、施政涵、吕静江、李鑫、刘光、李亚茹、鄢祖鹏、卢妍利、张芬妮、刘清君 *

浙江大学

光电化学 (photoelectrochemical PEC) 传感器作为一种灵敏而有前途的检测方法，在生化分析领域得到了广泛的应用。然而，来自环境特别是溶解氧的干扰，往往影响传感器的稳定性和精度，限制了其实际应用。通过对电荷转移过程的详细研究，我们提出了一种抗溶解氧干扰的策略。实验表明光电流主要来自光化学产物与电极之间的电化学反应，而不是光电材料与电极之间的直接电荷转移。新设计 PEC 传感器在极宽的溶解氧浓度范围 (1.0-7.5 mg/L) 内保持一致的响应。为进一步证明该方法的有效性，构建了用于人血清白蛋白 (human serum albumin HSA) 检测的免疫传感器。与传统方法相比，电流的相对误差降低了 81.3%。该工作有效地提高了传感器的稳定性，为 PEC 传感器在现场快速检测中的应用奠定了基础

关键词：光电化学传感器；溶解氧；干扰；免疫传感器

神经元钙振荡的长时程监测与 CaV1.3 信号复合体

耿金丽、杨亚雄、樊瑜波、刘晓冬 *

北京航空航天大学

目的：钙离子通道与多种信号蛋白形成复合体，如电压门控钙通道 - 钙调素 CaV/CaM 复合体，在神经元病生理中发挥着重要作用。在神经元中，CaV1.3 通道介导的钙动态，能够表现为自发性钙振荡这一独特表型。CaV1.3 通道碳末端可竞争性结合通道的 CaM 结合域，其作为神经元信号的新颖调控机制正逐步得到重视。常用基因编码钙探针 GCaMP 干扰这一机制，长期表达造成严重的钙信号紊乱及神经元损伤。GCaMP-X 消除了对 CaV/CaM 复合体的干扰，有望在神经元长期钙动态监测发面取得突破。

方法：GCaMP6f 转基因小鼠；培养皮层神经元；活体小鼠神经元双光子成像；GCaMP 及 GCaMP-X 病毒；激光共聚焦荧光成像（神经元的钙动态及突起形态）；膜片钳电生理。

结果：GCaMP-X 在长期钙成像方面显著优于 GCaMP。活体小鼠胡须刺激响应及自发钙波动表明，GCaMP-X 与神经元的兼容性更高，比 GCaMP 更为可靠。培养皮层神经元的长期（一个月及以上）钙成像数据表明，自发 / 局部钙活动将逐渐发展为自主 / 全局钙振荡。除了神经突起长度等形态学指标外，钙振荡的振幅、同步性等主要动力学指标也在不同发育阶段进行了分析。在病毒感染或转基因神经元中，神经突起发育和钙振荡都被 GCaMP 严重扰乱。相比之下，GCaMP-X 消除了对 CaV/CaM 复合体的干扰，保持神经元处于健康状态，提示自发钙振荡在神经元发育中发挥着重要作用。同时，相关的证据支持 CaV1 是介导神经元钙振荡中的关键分子基础。细胞调控因子，如 CaV1 碳端多肽、CaM 结合蛋白等，通过影响 CaV1 与 CaM 结合 / 非结合的动态平衡，调节钙振荡 / 钙信号，调控神经元基因表达等下游通路及输出。

结论：利用神经元高相容性钙探针 GCaMP-X，本工作首次实现在体及体外的长实程钙成像。同时，揭示了 CaV1.3 复合体、钙振荡与神经元突起发育间存在着密切关联，为阐明钙信号蛋白的调控机制提供了新思路。

关键词：离子 - 通道工程；CaV1.3；GCaMP-X 钙探针；神经元发育；自发性钙振荡

检测微生物代谢动态变化的微流控光寻址电位传感器系统的研究

姜楠、秦春莲、袁群琛、庄柳静、王平 *

浙江大学

随着人们对饮食健康的重视，越来越多食品饮料中的高热量甜味剂被代糖所替代。但是代糖和传统的单双糖在口感上有着极大的不同，有些产品也会通过添加柠檬酸或其他酸来改善口感。那么口腔中微生物发酵葡萄糖产生酸性物质会不会是造成两者口感区别的原因之一呢？为证实这一猜想，有必要对甜味剂代谢过程进行监测并检测 pH 变化。由于常规的 pH 计灵敏度不足，本研究提出了基于光寻址电位传感器（LAPS）构建微环境检测系统的方法。虽然在细胞胞外酸化检测中 LAPS 体现出了客观、定量、灵敏度高的优势，但细菌不能像细胞一样简单地固定于芯片表面，所以细菌代谢监测有一定难度，本研究构建了一种结合 Transwell 嵌套结构和微流控芯片的微生理系统来解决这一难题。该系统成功监测到了鼠李糖乳杆菌葡萄糖代谢过程中的 pH 变化，为代糖调节酸度提升口感提供依据，通过系统的进一步完善，可推广应用于其他微生物动态检测的传感器研究领域。

关键词：光寻址电位传感器；微生理计；pH 检测；微流控系统

光谱法无创定量分析人体血液成分

李刚、王康、王丹、林凌 *

天津大学

目的：无创检测血液成分是预防和检测多种临床疾病最理想、最有效的方法，因此，无创检测人体血液成分是人类追求的梦想，是人类全力追逐的目标，本文进行了实现光谱法无创定量分析人体血液成分的研究。

方法：本文提出“M+N”理论、动态光谱和谱线差异等方法，“M+N”理论基于朗伯 - 比尔定律的化学定量分析基本形式、误差来源以及提高分析（测量）精度的主要技术手段等方面为抑制复杂溶液光谱定量分析中“M”和“N”因素引起的误差提供了一些系统的测量和建模策略。动态光谱是基于光电容积脉搏波描记（PPG）技术，通过计算不同时间的吸光度构成只包含人体血液成分的光谱，从而可以消除个体差异和测量环境的影响。谱线差异理论研究了待测组分与干扰组分的吸光系数间的多重复共线程度对模型预测精度的影响，

为提高目标成分的建模精度提供了方向。

结果：本文根据提出的多种方法，研究得到一套完整的、简单的、高精度的、低成本的和无创的光谱法定量分析人体血液成分系统，并进行实验，建立了具有较高准确性的、多种血液成分含量（血红蛋白、血糖、红细胞计数、白细胞计数、血小板计数、总蛋白、白蛋白、球蛋白、总胆红素、直接胆红素、间接胆红素、总胆固醇、甘油三脂、尿素氮、肌酐和尿酸）与光谱数据间的模型。

结论：本文中的整体实验证明了本文所提出方法的可行性和有效性。本文的无创定量分析人体血液成分系统不仅在光谱法无创定量分析人体血液成分方面取得重大进展，还在家庭健康、预防疾病和医疗诊断方面具有极大的应用价值。

关键词：无创；人体血液成分；无创分析；动态光谱；“M+N”理论；谱线差异

基于 CiteSpace 图谱对表面肌电在康复医学领域应用热点及发展趋势的可视化分析

徐利亚[1]、古鸿毅[1]、张一民*[2]

1. 北京体育大学

2. 北京体育大学

目的：应用可视化方法分析近 12 年表面肌电在国内外康复医学领域应用的概况，总结该领域近期研究方向并梳理国内外知识结构。

方法：通过 Web of Science 和中国知网数据库中收集 2010 年 1 月 1 日至 2021 年 12 月 31 日表面肌电在康复医学领域应用的相关文献，运用 Citespace 软件进行相关指标的可视化分析，最终呈现该领域研究热点及发展趋势。

结果：肌电康复相关研究的发文量总体不断上升。①最终 Web of Science 数据库中共纳入 1949 篇文献，其中发文最多的作者是来自美国的 Zhang X；热点关键词是 Electromyographic Activation(肌电活化作用)、Exercise(运动)、Strength(信号强度)、Reliability(信度)、Muscle(肌肉)、Performance(运动表现) 和 low back pai(腰痛) 等；聚类分析得到 Pattern recognition(图像识别)、Low back pain(腰痛)、Transcranial magnetic stimulation(经颅磁刺激)、Kinematic(运动力学)、Shoulder(肩关节)、Trunk muscles(躯干肌)、Surface emg(表面肌电)、Gluteus medius(臀中肌) 等类别。②中国知网数据库中共纳入分析 1368 篇文献，其中发文量最多的作者是来自河南中医药大学第一附属医院的冯晓东；热点关键词是脑卒中、偏瘫、吞咽障碍、运动功能、盆底功能、痉挛和脑性瘫痪等；聚类分析得到肌电信号、脑卒中、表面肌电、肌电图、康复、生物反馈、稳定性、三角肌、功能恢复等类别。

结论：中国在表面肌电在康复医学领域应用的研究基本处于国际前沿，但作者合作关系有进步的空间；表面肌电在康复医学领域应用主要包括临床研究和基础技术研究，在脑卒中康复治疗中应用的研究最多。

关键词：表面肌电；康复医学；CiteSpace；可视化分析

基于心电 - 心音耦合分析的冠心病严重程度评估研究

董慧雯、王新沛 *

山东大学控制科学与工程学院

目的：近年来冠心病的发病率和致死率逐渐上升，且呈年轻化趋势，成为城乡居民死亡的主要原因之一。长期监测、早诊早治可以有效降低冠心病的发病率与致死率，冠脉造影和冠脉 CT 的有创有损性限制了其在冠心病筛查中的应用。因此本文旨在寻找一种能够有效识别不同严重程度冠心病的无损筛查方案。

方法：本文同步采集了 237 例受试者的心电和心音信号，根据受试者冠状动脉狭窄程度将其划分为重度组（Ⅰ组）111 例、轻中度组（Ⅱ组）37 例、疑似组（Ⅲ组）38 例和健康组（Ⅳ组）51 例，通过提取心电、心音信号的时间序列，计算三类耦合特征：互熵特征（互样本熵、互模糊熵、联合分布熵、Renyi 熵、KL 距离）、非熵特征（互信息、幅值平方相干函数、互功率谱密度、相干互功率）和多变量熵特征（多变量样本熵、多变量模糊熵、多变量分布熵），对提取的特征进行统计差异性分析，采用递归特征消除法进行特征选择，利用支持向量机对不同冠脉狭窄程度组进行分类。

结果：使用单类耦合特征分析时，多变量熵在Ⅰ组 - Ⅱ组、Ⅱ组 - Ⅲ组、Ⅰ组 - Ⅳ组、Ⅱ组 - Ⅳ组和Ⅲ组 - Ⅳ组间分类准确率最高，分别为 83.10%、82.67%、96.31%、94.38% 和 97.78%；互熵在Ⅰ组 - Ⅲ组间分类准确率最高，为 83.22%。三类耦合特征联合分析时，除Ⅲ组 - Ⅳ组保持不变外，Ⅰ组 - Ⅱ组、Ⅰ组 - Ⅲ组、Ⅱ组 - Ⅲ组、Ⅰ组 - Ⅳ组和Ⅱ组 - Ⅳ组间的分类准确率分别提高至 91.17%、96.64%、93.33%、99.39% 和 98.89%。

结论：本研究中相较于互熵和非熵，多变量熵能更好的区分冠状动脉狭窄程度。三类熵联合分析时分类结果进一步得到提高，证实了心电和心音信号耦合分析能更全面地描述心血管系统功能状态及变化规律，为无损的评估不同严重程度的冠心病提供了可行方案。

关键词：冠心病；耦合分析；多变量熵；心电信号；心音信号

青年学者 - 青年优秀论文复赛

An Electrochemical PAH-Modified Aptasensor for the Label-Free and Highly-Sensitive Detection of Saxitoxin

Beenish Noureen[1], Najeeb Ullah[2], Yulan Tian[1], Liping Du[1], Wei Chen[1], Chunsheng Wu[1*], Ping Wang[3*]

[1](Institute of Medical Engineering, Department of Biophysics, School of Basic Medical Science, Xi'an Jiaotong University Health Science Center, Xi'an, Shaanxi 710061, China)

[2] (Department of Biochemistry and Molecular Biology, School of Basic Medical Sciences, Xi'an Jiaotong University Health Science Center, Xi'an, Shaanxi 710061, China)

[3] (Biosensor National Special Laboratory, Key Laboratory for Biomedical Engineering of Ministry of Education, Department of Biomedical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

[#]Beenish Noureen and Najeeb Ullah contributed equally to this work

* Corresponding author: wuchunsheng@xjtu.edu.cn (C. Wu) and cnpwang@zju.edu.cn (P. Wang)

Abstract: The paralytic shellfish toxin, saxitoxin (STX) is one of the deadliest and rare toxins, causing a risk to both human health and the environment. So, it is critical to developing a novel approach for STX detection in an easy, desirable, and low-cost manner. Herein, an electrolyte-insulator-semiconductor (EIS) sensor covered with a layer-by-layer (LbL) prepared, positively-charged weak polyelectrolyte layer of poly(allylamine hydrochloride) (PAH) was applied for the label-free detection of STX. The aptamer (Apt) was electrostatically adsorbed onto the PAH layer, resulting in a preferentially flat orientation of the Apt within the Debye length, thus yielding a reduced charge-screening influence and a higher sensor signal. Each sensor surface modification step (PAH adsorption, immobilization of Apt, and attachment of STX), was monitored by capacitance-voltage (C-V) and constant-capacitance (ConCap) measurements. Furthermore, atomic force microscopy (AFM) and scanning electron microscopy (SEM) analyses were used to describe the surface morphology of the PAH layer. Fluorescence microscopy was served to confirm the effective immobilization of Apt onto the PAH-modified EIS sensor. The results showed that the detection range was 0.1-100 nM and a low detection limit of 0.01 nM. Moreover, the aptasensor was observed to have good selectivity and 14 day's stability. The detection period of STX was 1 hour, and the aptasensor is successfully applicable for STX detection in real samples. This method provides a convenient approach for moderate, rapid, and label-free detection of marine biological toxins.

Key words: Poly(allylamine hydrochloride); Aptamer; Saxitoxin; Layer-by-layer adsorption; Electrolyte-insulator-semiconductor

CPSC: Conformal prediction with shrunken centroids for efficient prediction reliability quantification and data augmentation, a case in alternative herbal medicine classification with electronic nose

Li Liu[1] Xianghao Zhan[1] Xikai Yang[2] Xiaoqing Guan[1] Rumeng Wu[1] Zhan Wang[1] Zhiyuan Luo [3] You Wang [1] Guang Li[1]

[1] (*Institute of Cyber-syste and Control, Zhejiang University, Hangzhou, 310007, China.*)

[2]（*University of Michigan - Shanghai Jiao Tong University Joint Institute, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200240, China.*)

[3]（*Department of Computer Science, Royal Holloway, University of London, Egham, UK.*)

Abstract: In machine learning applications, the reliability of predictions is significant for assisted decision and risk control. As an effective framework to quantify the prediction reliability, conformal prediction (CP) was developed with the CPKNN (CP with kNN). However, the conventional CPKNN suffers from high variance and bias and long computational time as the feature dimensionality increases. To address these limitations, a new CP framework-conformal prediction with shrunken centroids (CPSC) is proposed. It regularizes the class centroids to attenuate the irrelevant features and shrink the sample space for predictions and reliability quantification. To compare CPKNN and CPSC, we employed them in classifying 12 categories of alternative herbal medicine with electronic nose as a case and assessed them in two tasks: 1) offline prediction: the training set was fixed and the accuracy on the testing set was evaluated; 2) online prediction with data augmentation: they filtered unlabeled data to augment the training data based on the prediction reliability and the final accuracy of testing set was compared. The result shows that CPSC significantly outperformed CPKNN in both two tasks: 1) CPSC reached a significantly higher accuracy with lower computation cost, and with the same credibility output, CPSC generally achieves a higher accuracy; 2) the data augmentation process with CPSC robustly manifested a statistically significant improvement in prediction accuracy with different reliability thresholds, and the augmented data were more balanced in classes. This novel CPSC provides higher prediction accuracy and better reliability quantification, which can assist in reliable decision support.

Key words: conformal prediction; shrunken centroids; reliability, herbal medicine; electronic nose

研究生 - 青年优秀论文复赛

场效应管传感器快速灵敏检测结核分枝杆菌

马金标[1]，蒋冠羽[1]，杜漫漫[1]，王浩[3]，王灿[1*]，谢新武[2*]

[1]（天津大学环境与科学工程学院，天津，300072）

[2]（军事科学院系统工程研究院卫勤保障技术研究所，天津，300161）

[3]（天津科技大学电子信息与自动化学院，天津，300222）

结核病主要通过结核分枝杆菌在人与人之间传播。然而，传统的结核分枝杆菌检测方法不能满足实际结核病检测的要求。生物传感器作为最有前途的强大平台之一，在结核病检测中显示出良好的应用前景。本研究开发了一种硅纳米线场效应管生物传感器，用于快速、灵敏地检测结核分枝杆菌。对生物传感器的检测性能进行了测试：生物传感器具有良好的灵敏度，对靶标蛋白质的检测限为 0.01 fg/mL，并且电流信号在 1 fg/mL-100 μ g/mL 浓度梯度范围内线性相关；在 30 秒内即可完成检测；更重要的是，在没有预处理的情况下，正常人和结核病患者的痰中实现了良好的区分，这大大缩短了结核病检测时间 (考虑到痰的稀释，仅 2-5 分钟)；此外，生物传感器可以重复使用至少五次，以降低成本。与其他方法相比，硅纳米线场效应管生物传感器可以在更短的时间内检测出更大浓度范围的结核分枝杆菌

关键词：结核分枝杆菌；生物传感器；痰；硅纳米线；场效应管

基于纳米颗粒微调控突破热力学极限的动态分子传感

曾强[#] 余辉[#*]

（上海交通大学生物医学工程学院，上海，200000）

分子生物标志物的灵敏及特异性检测对早期诊断具有重要意义。开发这种分子传感器的挑战在于分析物与受体相互作用的热力学极限。在这里，我们报告了一种动态检测方法，称为传感单分子在微调控 (SSM3)，以绕过上述限制。分子相互作用的动力学通过纳米颗粒的微调控来主动调节，以促进分析物与受体的重复结合作为信号放大配合背景信号筛除策略。我们证明了电场调控金纳米颗粒可以直接检测 microRNA 并具有单碱基对错配的高置信分辨力，以及磁调控纳米粒子的 A β 1-42 蛋白检测。在 15 分钟的测定中，极限值达到了亚飞摩水平，比热力学极限值高出 2~3 个数量级。该方案将有望开拓对基因组和蛋白质组生物标志物超灵敏检测的更多应用。

关键词：单分子检测；动态传感；纳米颗粒调控

Detection of Pulmonary Hypertension Based on wavelet-scattering convolution network and LSTM Using Heart Sounds Recordings

Miao Wang[1](研究生), GuoFeng Wei[2], YaTing Hu[3], BinBin Guo[4], Hong Tang[5*]

[1,3,4,5] *(School of Biomedical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)*

[2] *(Cardiovascular Department, The Second Hospital of DaLian Medical University, Dalian 116023, China)*

Abstract: Aims: Pulmonary hypertension (PH) was a progressive condition with high mortality. At present, the most accurate diagnosis method was invasive. However, non-invasive methods existed were somewhat inaccurate, and could not be used for continuous monitoring. The heart sounds (HSs) signals allowed the earliest monitoring to diagnose a possible cardiovascular pathology. Recently, it has become an important tool for diagnostic testing to evaluate hemodynamic status of heart in outpatient monitoring. The primary aim of this study was to detect the PH disease using the HSs signal. Methods and results: The authors developed and tested a wavelet scattering convolution network (WSCN) based on Long Short Term Memory (LSTM) approach to detect the PH by using the HSs signals. We conducted validation by using 131 subjects through five cross-validations. Six methods had been used to test the different training strategies and models. We had validated our experiment on subject dependent, subject independent, subject without segmentation, classification with feature extraction, classification without feature extraction and classification by CNN and ensemble methods. Our best general model had a classification accuracy of 94.40%, which outperformed the previous best performance in terms of PH in the literature. The capability of the method was high as it was assessed by the five evaluation indicators, such as the accuracy, specificity, precision, sensitivity, and F1 score. Moreover, establishing the diagnosis with the WSCN+LSTM approach was less time cost.

Conclusion: The WSCN based on the LSTM approach was developed and applied to detect PH disease. The system for PH classification, allowed for non-invasive operation of a heart condition in suspect patients without the cost and risk of invasive detection.

Key words: heart sounds, pulmonary hypertension; classification; wavelet scattering convolution network; LSTM; deep learning

基于改进型泰曼格林干涉仪的人眼眼轴长度测量

皇甫胜男 (研究生)[1] 周岐 [1] 李砚瑞 [1] 项华中 [1] 陈明惠 [1] 郑刚 [1] 庄松林 [1,2] 赵婕 [3] 张大伟 [1,2] 王成 [1*]

[1]（上海理工大学 生物医学光学与视光学研究所 医用光学技术与仪器教育部重点实验室，上海 200093）

[2]（教育部光学仪器与系统工程研究中心 上海理工大学现代光学系统重点实验室，上海 200093）

[3]（上海市杨浦区市东医院眼科，上海 200438）

为满足我国近视防控的需求，以及我国日益增长的屈光和白内障手术中眼轴长度（AL）测量需求，研发了一种基于改进型泰曼格林 (Twyman-Green) 干涉仪与数字信号处理相结合的新型眼轴长度测量系统（New AL）。分别使用 New AL 和 IOL master 对 33 例（33 眼）受试者的右眼（屈光度范围 -8.50~0.50 D）进行 AL 测量。通过变异系数（CoV）和组内相关系数（ICC）评估 New AL 测量 AL 的重复性，并分析两种设备测量 AL 值的差异性、相关性、线性回归和一致性。统计分析结果显示，New AL 具有良好的重复性（CoV = 0.0617%，ICC = 0.9999），且两种设备测量 AL 结果的一致性较好。这表明与 IOL master 相比，New AL 能够提供精确的 AL 测量值。

关键词：眼轴长度；外差；低相干；泰曼格林干涉仪；统计分析

Reconstruction of Aortic Pressure Waveform Using a Two-level Adaptive Transfer Function Strategy

Shuo Du [1] (Ph. D candidate), Yang Yao [2], Guozhe Sun[3], Lisheng Xu [1,4*]

[1] (*College of Medicine and Biological Information Engineering, Northeastern University, Shenyang 110169, China*)

[2]（*School of Information Science and Technology, ShanghaiTech University, Shanghai 201210, China*)

[3] (*Department of Cardiology, the First Hospital of China Medical University, Shenyang 110001, China*)

[4] (*Neusoft Research of Intelligent Healthcare Technology, Co. Ltd. Shenyang 110169, China*)

Objective: This paper proposes and evaluates a two-level adaptive transfer function (ATF) strategy to reconstruct aortic pressure waveform based on autoregressive exogenous (ARX) model from the raw and normalized brachial pressure waveforms.

Materials and methods: Invasive aortic and brachial pressure waveforms were recorded from 34 subjects for the validation of the proposed method. Individual transfer functions (ITFs) from the raw and normalized pressure waveforms were separately trained using an ARX model. Two generalized transfer functions (GTFs) were then derived: the first, by averaging the ITFs from the raw pressure waveform and the second, from its normalized counterpart. Two adaptive transfer functions (ATFs) were then obtained by adjusting the gains and phases of GTFs using the regression formulas calculated from ITFs and brachial hemodynamic parameters. The estimated aortic pressure waveform was reconstructed from the results of the two ATFs.

Results: The two-level ATF strategy achieved lower absolute error of high frequency index, augmentation index (AIx) than that of the traditional GTF (9.65 versus 10.81 %, $P<0.05$) compared with the traditional GTF.

Conclusion: The proposed method yielded better performance in estimating the high frequency components of aortic pressure waveform than the traditional GTF.

Key words: adaptive transfer function; autoregressive exogenous model; aortic pressure waveform; brachial pressure waveform

基于纳米棒微电极阵列的心肌细胞内外动作电位同步记录技术

徐冬馨 [1]（研究生）方佳如 [1] 谢曦 [1] 胡宁 [12*]

[1]（中山大学电子与信息工程学院，广州 510006）

[2]（中国科学院传感技术联合国家重点实验室，上海 200050）

电生理学研究是探索电兴奋细胞生物学机制的重要策略。目前，先进的纳米器件可以实现高保真的细胞内电生理记录，但是大多数检测系统对于细胞外和细胞内动作电位 (EAP 和 IAP) 的记录是异步的或孤立的，因此开发用于揭示 EAP 和 IAP 之间相关性的平台是必要的。在这里，我们建立了一种实用策略，通过三维 (3D) 纳米棒低压电穿孔实现新生大鼠心肌细胞的细胞内和细胞外同步记录。结合纳米结构和微电极阵列的优点，我们开发了 3D 纳米棒微电极阵列器件，实现了高通量大规模的细胞内外同步电生理研究。通过应用低压电穿孔，可以分别从细胞内通路和细胞外耦合同步获得细胞内和细胞外信号。记录的同步信号包含典型的 EAP 和 IAP，它们在每个记录位点具有良好的时空同步性。此外，进一步以实验和仿真的方式对两个信号之间的相关性进行了分析。这种细胞内电生理平台与传统平台相比具有独特的优势，可在膜电压水平上实现同步的细胞内和细胞外电生理研究。

关键词：细胞内外动作电位；同步记录；纳米棒微电极阵列；电穿孔；心肌细胞

基于有限状态机引导去噪和谱峰追踪的心率估计研究

郭景斌（研究生）[1] 陈香 [1*]
[1]（中国科学技术大学电子科学与技术系，安徽 合肥 230026）

针对利用光电容积脉搏波（Photoplethysmography，PPG）进行心率估计存在的运动伪影和低信噪比两大挑战，本文提出了一种基于有限状态机引导去噪和谱峰追踪的心率估计方案。该方案采用级联自适应滤波方法和有限状态机引导的差分去噪方法去除 PPG 信号中的运动伪影，并利用有限状态机（Finite State Machine，FSM）引导的基于能量函数的谱峰追踪方法进行心率估计。对 IEEE Signal Processing Cup 数据库以及自行创建的 WeData 数据库开展的心率估计实验结果显示，所提方法可有效应对低信噪比以及噪声与心率同频等情况，在两个数据库上的心率估计平均绝对误差分别为 1. 76BPM（beats per minute）和 2. 77BPM。

关键词：级联自适应滤波；有限状态机；PPG；谱峰跟踪；心率估计

视觉引导下的运动执行与运动想象 EEG 时频特征对比分析

伍彪（研究生），覃兵，吴鑫，周璐，钱志余，李琵韬，高凡，祝桥桥△
（南京航空航天大学自动化学院，江苏 南京 210016）

基于运动想象（Motor Imagery，MI）的脑 - 机接口（Brain-Computer Interface，BCI）技术在过去的几十年里迅速发展，广泛运用与各个领域。为了比较运动执行（Motor Execution，ME）与运动想象脑活动的区别，本论文提出一种基于脑电信号（Electroencephalogram，EEG）时频域分析的方法来比较 ME 与 MI 过程中脑电活动的差异性。本论文通过设计视觉诱导的上肢 ME 与 MI 对照实验，对 10 名健康被试实验过程时的 EEG 脑电信号数据进行采集。运用滤波、独立成分分析（Independence Component Analysis，ICA）等方法对数据进行预处理，通过时频域分析方法对信号进行分解，将数据转化为各波段特征值，最后分析 ME 与 MI 各波段功率值，以及 ME 与 MI 各波段功率差值。结果显示 MI 过程 alpha 波为优势波，ME 过程中，delta 波为优势波。同时与 MI 相比，ME 中的 alpha 波呈下降趋势，delta 波呈上升趋势。本论文研究结果表明 ME 与 MI 的脑电活动有明显的差异性，为进一步提高基于 MI 的 BCI 系统的实时性和普适性提供理论和数据支撑。

关键词：脑电信号 EEG；时频分析；运动想象；运动执行；BCI

基于单颗粒成像的小细胞外囊泡亚型分析方法

翟春荟（研究生），丁显廷，余辉 *
上海交通大学生物医学工程学院，上海 200030

目的：发展一种免分离的小细胞外囊泡（sEV）亚型分析方法；方法：提出了一种基于单颗粒干涉等离子体成像的多参数检测方法，能够在亚群水平上检测 sEV 相关的肿瘤标志物表达，从而避免了亚群分离的困难。

结果：芯片表面修饰有特异性捕获 sEV 的适配体，被捕获的 sEV 被逐个地检测粒径、计数，而且能够从混合样本中获取粒径相关的亚群结合动力学信息。利用亚群尺度的信息，结合机器学习的分析方法，能够对五种不同细胞系产生的 sEV 进行区分，准确率达到 73.66%，相比于传统大量样本的检测（准确率 34%）有了很大的提高。由于免于亚群分离过程，该方法能够更方便快捷地提供丰富的亚型信息，我们预期该方法能够在临床上更准确地诊断癌症。

关键词：细胞外囊泡；亚型分析；粒径；干涉等离子体成像；单颗粒分析

An Electrochemical Impedance Biosensor Based on Hybrid Nanomaterial UiO-66@Au NPs@FA for Label-Free and Sensitive Detection of Cancer Cells

Liang Dongxin[1]（研究生）Chen Yating[2] Liu Shuge[2] Tian Yulan[2] Zhu Ping[2] Li Qiling[1*] Du Liping[2*] Wu Chunsheng[2]

[1](Department of Obstetrics and Gynecology, the First Affiliated Hospital of Xi’an Jiaotong University, Xi’an, 710061, China)

[2](Institute of Medical Engineering, Department of Biophysics, School of Basic Medical Sciences, Health Science Center, Xi’an Jiaotong University, Xi’an, 710061, China)

Abstract: Early diagnosis of malignant tumor is of great significance to improve the cancer therapy efficiency. It is highly essential to develop a novel and convenient method for the detection of cancer cells towards early diagnosis. For this purpose, this study developed a label-free electrochemical impedance spectrometry (EIS) biosensor for rapid detection of cancer cells using hybrid nanomaterial modified screen-printing gold electrode (SPGE). Hybrid nanomaterial (UiO-66@Au NPs) was prepared by in-situ incoporating gold nanoparticles (Au NPs) intosynthesized UiO-66. Folate acid (FA) was covalently bound onto Au NPs via Au-S bonds to form UiO-66@Au NPs@FA as the sensitive material of biosensor, which was characterized by transmission electron microscopy (TEM), Fourier transform infrared (FTIR), Zeta potentials, contact angles, and ultraviolet spectra. All the results confirmed the successful preparation of UiO-66@Au NPs@FA. In addition, UiO-66@Au NPs@FA modified SPGE was successfully used to detect HeLa cells with overexpression of folate receptor (FAR) via EIS measurement. The limit of detection was as low as 80 cells/mL. This electrochemical impedance biosensor showed good specificity towards FAR-positive cancer cells,which has great potential to be applied in detecting cancer cells with FAR overexpression for the early cancer diagnosis.

Key words: electrochemical impedance spectrometry; biosensor; cancer cell; folate receptor-α; metal organic frameworks

磁纳米粒子非线性磁化信号二次谐波检测方法研究

武明 柯丽 杜强 祖婉妮 刘丹

（沈阳工业大学电气工程学院，辽宁 110870）

磁纳米粒子成像（Magnetic particle imaging, MPI）是一种新型医学成像方法。MPI 中磁纳米粒子信号的检测精度直接影响图像分辨率。针对 MPI 中磁纳米粒子信号检测的关键问题，提出一种基于二次谐波的磁纳米粒子非线性磁化信号检测方法。首先，设计交流磁场与直流偏置场耦合场作为激励磁场，增强磁纳米粒子检测信号能量。其次，设计双平面梯度检测线圈，检测粒子信号的二次谐波信号，去除背景信号的干扰。最后，仿真与检测实验证明，本文提出的基于二次谐波的磁纳米粒子信号检测方法，在交流激励场强和直流偏置场强的比值最优时，该方法获得粒子信号的信噪比是原有三次谐波检测方法的 1.52 倍，有效增强了粒子检测信号的信噪比。本文为 MPI 系统提供了一种更高精度的信号检测方法。

关键词：磁纳米粒子信号；直流偏磁；二次谐波

发育水平对婴幼儿爬行运动关节运动协同影响的研究

张丽[1,3] 刘苑[2] 陈玉霞[2] 肖农[2] 吴小鹰[1,3] 侯文生[1,3*1]

[1]（生物流变科学与技术教育部重点实验室，重庆大学，重庆 400044）

[2]（重庆医科大学附属儿童医院康复科，重庆 400014）

[3]（人工智能与服务机器人控制技术重庆市重点实验室，重庆 400044）

本研究的目的是提取和评估不同发育水平婴幼儿爬行时关节角度的时空运动学协同。当婴幼儿以自选速度手膝爬行时，三维运动捕捉系统记录四肢关节的运动学数据。肩 / 髋外展 / 内收、屈曲 / 伸展和内 / 外旋以及肘 / 膝屈曲 / 伸展的角度通过相应关节的三维轨迹进行量化。利用主成分分析从这些关节角度提取协同模式。基于运动学协同计算样本熵和 Spearman 秩相关系数。结果表明，四肢的关节角度可以表示为前两个运动学协同，其中 synergy 1 可以反映肢体运动的整体趋势，synergy 2 可以显示出与爬行能力相关的个体表现。运动发育迟缓婴幼儿下肢的协调性更差，爬行运动复杂度更高 (稳定性更差)。此外，运动功能的代偿机制有助于婴幼儿爬行时双侧肢体对称。本文提出的基于关节角度的运动学协同模式，为客观评估运动发育迟缓婴幼儿的异常运动协调提供了潜在的指标。

关键词：运动学协同；婴幼儿膝爬；关节角度；主成分分析；运动发育迟缓

降温过程中兔子血液在 1Hz-100kHz 下电导率的变化规律

王伟策（研究生）史学涛 *

（空军军医大学军事生物医学工程学系，西安 710032）

目的：本课题组在使用电阻抗断层成像系统进行全主动脉弓置换术中脑损伤的监测和预警过程中，发现电阻抗数据深受组织降温干扰，而低温血液是其中影响的主要因素，所以首先探究血液在低温变化过程中电导率的变化规律。方法：首先研究血液离体后 37℃下电导率随时间的变化情况；其次我们使用水浴降温方式来对生理盐水、血液进行控温（37-10℃），使用四电极法测试生理盐水、血液在 1Hz-100kHz 频率下电导率的频率响应，并进行电导率温度拟合。结果：在两个小时之内，血液电导率随时间变化无明显规律；在 1Hz-100kHz 频率范围内，在某一温度下生理盐水或血液的电导率保持恒定；在给定频率下生理盐水或血液的电导率与温度呈线性关系。结论：兔子血液在离体后两个小时之内，电导率不会发生显著变化；所建立的电导率温度表达式可以用于特定频率和温度下对血液电导率的预测，为脑部整体组织介电特性随温度变化的建模奠定基础。

关键词：血液；电导率；四电极法；温度特性

A Prediction Evaluation Model for Italian COVID-19 using LSTM based on Feature Extraction

Xiaodan Chen[1] Yongshen Zeng[1] Yini Lu[1] Quanhua Han[1] Jiajun Liang[1] Wei Li[2,1] Yan Kang[1,2]

[1] (*School of Biomedical Engineering, Shenzhen Technology University, Shenzhen, 518118, China*)

[2] (*Medical Device Innovation Center, Shenzhen Technology University, Shenzhen, 518118, China*)

Abstract: COVID-19 has caused a serious threat to human health. It is of great significance to determine its influencing factors and development in order to inhibit the spread of the virus. In this paper, an efficient

prediction model using LSTM based on feature extraction and an evaluation model based on PCA are provided to analysis the Italian COVID-19 affecting factors, development and risk evaluation. Firstly, the multiple linear regression model is applied to calculate the regression values of existing confirmed diagnoses number. Secondly, based on this regression value, LSTM is used to establish the prediction model to predict the existing confirmed cases number in the next 17 days. Finally, PCA is implemented to establish the evaluation model to provide a comprehensive risk evaluation function of Italian COVID-19 development. The MAPE of the predicted data of the existing confirmed diagnoses in the next 17 days compared to the real data from October 24th to November 9th is only 2.7% which has verified the efficiency of this model. The PCA evaluation model analyzes that the development trend of covid-19 is consistent with the actual situation. Therefore, the efficient prediction model in this paper can be used to analyze the factors and trends influencing COVID-19 in other countries.

Key words：Italian COVID-19; LSTM model; multiple linear regression model; principal component analysis

Muscle activation patterns and muscle synergies reflect different modes of coordination during upper extremity movement

Xiaojiao Dong (研究生) Xiaoling Chen* Peiguo Hou Ping Xie

(*Key Lab of Measurement Technology and Instrumentation of Hebei Province, Institute Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei, 066004, China*)

Abstract: A core issue in motor control is how the central nervous system generates and selects the muscle activation patterns necessary to achieve a variety of behaviors and movements. Extensive researches have investigated that the muscle synergy activated by the nervous system is the basis to achieve the complex behaviors and movements through the flexible combinations of muscle synergy modular structure. In this study, we applied the non-negative matrix factorization (NMF) method to explore the muscle activation patterns and muscle synergy based on the analysis of the surface electromyography (sEMG) signals of upper limbs from 10 subjects under 6 types motions, hand open (HO), hand close (HC), wrist flexion (WF), wrist extension (WE), supination (SU) and pronation(PR). The results showed a high similarity of the average muscle synergy among subjects under the same motion. Further analysis indicated a significant similarities ($p<0.001$) among HO-WE, HO-SU, and WE-SU groups synergy, and the similarity of synergy matrix was of statistical significance ($p<0.05$) among the four groups of HO-WF, HO-PR, WF-PR, WF-WE. Furthermore, the shared synergy and special synergy under different motions showed a correlation to the corresponding motion. This study confirms the theory of modular structure in the central nervous system, and yields stable muscle synergy model under the same motion among subjects, but reflects its own specific muscle activation patterns for the specific motion. Our findings on muscle synergy will be of great significance to motor control and even to the clinical assessment techniques.

Key words：muscle activation patterns; muscle synergies; nonnegative matrix factorization; surface electromyography

基于视觉注意力机制和 LMCL 损失函数的手指静脉识别

柏浩瀚 (研究生) 谭玉博 韦新栩 赵世轩 李永杰 *

[1]（电子科技大学生命科学与技术学院，成都，610054）

手指静脉属于生物特征识别范畴中基于生理特征的一种，最近已出现了许多优秀的方法。但采集装置获取的手指静脉图像背景复杂、质量低、提取出的特征区分性不强等问题一直是特征提取算法的瓶颈，提取出鲁棒的特征已成为手指静脉识别的关键。本文提出了一种基于改进 DenseNet 的方法。首先，为了克服手指静脉图像对比度低、局部过曝和过暗、平移等问题，对图像进行了预处理，包括图像增强、ROI 提取等步骤，以消除无关因素带来的偏差和减轻后续特征提取算法的负担；其次，对 DenseNet 网络进行了改进，使其更适合手指静脉识别任务，并在此基础上引入了 CBAM 注意力模块，引导网络关注静脉特征，给予其更大的权值；然后，针对手指静脉特征提取算法所提取出的特征类内之间不紧凑，类间特征区分性不够这一问题，引入了 IMCL 损失，相比传统的 Softmax 损失函数，该损失函数在优化类间距离的同时，还能约束类内距离，使得网络所学出的特征在相同类型手指和不同类型手指上都有较好的效果；最后，通过上述网络提取出 1024 维的向量，基于欧式距离进行识别匹配，该类模式在添加新类别时可以无需重新训练网络。我们在 SDUMLA 数据库上进行了一系列实验，实验方式都为开集测试，最后得到了 1.76% 的等错误率。

关键词：手指静脉；DenseNet；注意力机制；开集测试；

检测呼出气体快速筛查牙周疾病的电子鼻技术研究

薛莹莹 [1] 于伟杰 [1] 张钧煜 [1] 万浩 [1] 叶 玮 [2] 王 平 [1*]

[1]（浙江大学生物医学工程与仪器科学学院，生物传感器国家专业实验室，
生物医学工程教育部重点实验室，杭州 310027）

[2]（上海交通大学医学院 附属第九人民医院，上海 200011）

牙周疾病是全球最流行的疾病之一，严重影响了人们的生理健康和社交生活。电子鼻技术由于其简便、快速、无创检测气味的特点，在检测呼出气体诊断疾病中获得了广泛应用。本文提出了一种新的基于呼出气体中的特征性气体成分快速筛查牙周疾病的电子鼻设计方法。首先，采用 GC-MS 技术分析近 100 例健康、厚舌苔和牙周疾病人群的呼出气体成分，并根据 GC-MS 结果设计了基于电化学传感器的电子鼻仪器。进一步利用电子鼻分析近 30 例呼出气体样本，并建立基于线性判别分析、逻辑回归、支持向量机方法的牙周疾病诊断模型。结果表明，硫化氢在健康和牙周疾病组之间有显著性（$P<0.05$）。电子鼻结合线性判别分析和逻辑回归模型对牙周疾病的识别准确率为 88.89%，灵敏度和特异度分别为 84.62% 和 92.86%。实验结果证明，本文提出的结合智能模式识别算法的电子鼻检测呼出气体的方法可用于牙周疾病的快速筛查推广应用。

关键词：电子鼻；呼出气体检测；牙周疾病；呼出气体的疾病标志物

基于脉搏波脉幅半宽的无袖式非侵入连续血压估计

杨于民 丁晓蓉 *

（电子科技大学生命科学与技术学院，成都 611731）

无创、连续血压测量对于高血压相关的心脑血管疾病的早期预防、诊断及治疗至关重要。基于脉搏波传播时间（Pulse Transit Time, PTT）的无袖带连续血压测量方法因其无创、低价及操作简单等特性而被广泛研

究，但单一的 PTT 无法准确跟踪血压的各类变化，因此有必要探索除 PTT 外其他可反映血压变化及用于血压估测的新参数。我们已有研究表明脉搏波半幅宽度（Pulse Width at Half Amplitude, PWHA）与血压具有相关性。本文在已有研究的基础上，提出采用 PWHA 进行血压估测。血压估测应用线性回归模型，通过 52 位受试者的数据验证结果显示，收缩压与舒张压的估测精度分别为 -0.79±6.07 mmHg 和 -0.18±3.83 mmHg，精度显著高于基于 PTT 的血压估测方法；且基于 PWHA 与 PTT 的血压估测精度相较于单一 PWHA 及单一 PTT 的血压估测精度有所提高。初步结果表明 PWHA 可有效估测无袖带连续血压，为无袖带连续血压估测提供了新的思路，也为后续多特征融合的血压估测机理模型奠定了一定的基础。

关键词：脉搏波脉幅半宽；脉搏波传播时间；血压；无袖带；非侵入

C 反应蛋白、前白蛋白双参数纸基电化学传感器的研究

朱雨鑫 [1,2] 孙帅 [1, 2] 邢宇 [1, 2] 明涛 [1, 2] 孔凡立 [1, 2] 刘军涛 [1, 2] 阎石 [3] 杨跃 [3] 罗金平 [1, 2, *] 蔡新霞 [1, 2, *]

[1]（中国科学院空天信息创新研究院 传感技术国家重点实验室，北京 100190）

[2]（中国科学院大学，北京 100049）

[3]（北京大学肿瘤医院胸外科，北京 100142）

食管癌术后并发症是导致食管癌死亡率高的主要原因之一，本研究针对术后生物标志物——C 反应蛋白、前白蛋白的联合检测，设计并制备了一个折纸式电化学传感器，来实现对食管癌术后并发症的快速、高灵敏、高特异性筛查。使用喷蜡打印和丝网印刷的方式来构建电化学传感器基底，然后在检测工作电极上修饰单壁碳纳米管 - 亚甲基蓝 - 纳米金纳米复合材料，提高了电极转移电子的能力，同时利用纳米金的生物相容性固定后续的生物特异性识别元件（CRP 适配体、PAB 抗体），来构建双参数纸基电化学传感器。使用直接电化学法对制备完成的传感器进行测试，实验结果表明该传感器对 5 pg mL^{-1}~100 ng mL^{-1} 的 CRP 检测具有良好的线性度（R^2=0.990），最低检测限为 5pg mL^{-1}，对 10pg mL^{-1}~1000 ng mL^{-1} 的 PAB 检测具有良好的线性度（R^2=0.998），最低检测限为 10pg mL^{-1}。本研究提出的双参数纸基电化学传感器，有望为食管癌术后患者的临床筛查提供新的技术和平台。

关键词：微流控器件；C 反应蛋白；前白蛋白；即时快速检测

基于电阻抗断层成像技术的大鼠急性癫痫发作实时监测成像

王蓉 朱文静 梁国华 王蕾 *

西北工业大学医学研究院 陕西西安 710072

癫痫是由于大脑神经元异常放电导致的神经性疾病。对于难治性癫痫患者，治疗的关键是癫痫灶的准确定位，但是若无法定位，手术治疗将无法开展。理论上，电阻抗断层成像（EIT）作为一种新兴的功能成像技术，可以准确定位病变部位。然而由于各研究小组在使用的实验模型、关注的时间尺度以及参数设置等方面不同，使得癫痫发作期间的电阻抗变化存在争议。本研究使用 EIT 长时间监测大鼠癫痫模型的急性期发作，研究结果表明，癫痫发作期间阻抗明显降低，且重建图像可以较为准确地定位到阻抗降低的区域。证明 EIT 可以用来检测和成像癫痫发作期间病灶内的电阻抗变化。

关键词：电阻抗断层成像；致痫灶；电阻抗；癫痫发作；海人酸

S03
生物医学成像与图像处理

特邀报告

基于多先验约束的光声断层成像系统性创新研究

陈武凡
南方医科大学
Email: chenwf@smu.edu.cn

目的：光声断层成像（PAT）结合了光学成像和声学成像的优点，同时具有超声的成像深度和光学的对比度，被用于活体无创结构、功能和分子成像。在 PAT 成像中，由于光在经过组织的前向传播过程中发生非线性衰减，且在声学反演过程中缺乏对声波传播和检测的精确描述，导致重建图像结构信息缺失、伪影干扰严重，图像质量较低。

方法：为了提高 PAT 成像质量，可在图像重建过程中引入适当的约束或先验知识，使迭代过程收敛到更优解。本工作围绕基于多先验约束的 PAT 成像方法开展了系统性创新研究，提出了多曲线积分的系统矩阵构造、双先验约束高分辨迭代算法、多光谱交错稀疏采样技术、基于 MRI 先验的光衰减校正等新方法，从成像系统建模、多模先验设计、优化问题求解等方面系统性地解决了 PAT 图像重建中的若干关键理论问题。

结果：本工作基于商用环阵 PAT 成像系统在数值仿真、成像体模、健康小鼠、肿瘤小鼠等开展了全面的测试与实验，PAT 成像效果与系统自带成像软件及当前通用算法相比均取得了较大的提升，验证了所提方法的有效性和先进性。

结论：上述成果的取得可为 PAT 这一新颖成像模态在临床前研究的推广应用提供有力支持，从而为相关疾病的基础研究创造新的科学资料。

关键词：光声断层成像；图像重建；多先验约束

基于分子影像的“透明病理”

张宏
浙江大学生物医学工程与仪器科学学院

重大疾病精准诊治的重要前提是弄清疾病病理学特征。病理学是研究人体疾病发生原因、发生机制、发展规律的一门学科，在基础医学和临床医学之间起了巨大的桥梁沟通作用。病理学的发展，已经极大扩展了我们对疾病的认识，并对临床患者的诊治管理产生了深远的影响。然而，当前的病理学实践需要侵入性操作，所取标本也无法完全反映病灶的异质性，这些因素制约着病理学的进一步发展。近年来，随着影像学，尤其是分子影像学的发展，许多组织、细胞和亚细胞水平的分子和生物学行为得以活体进行定性和定量研究。越来越多疾病的病理生理改变，能够通过分子影像进行精准评价。临床上正在形成一套基于分子影像的病理生理可视化体系，并具备变革当前病理学实践的巨大潜力。

我们提出基于分子影像的病理学实践新理论“透明病理”，通过特异性“透明化”疾病，多尺度在体呈现评价病理生理改变，实现更好地支撑从基础研究到临床转化的精准医学新实践。

A new era of functional brain imaging: 7T MRI + MEG

Jia-Hong Gao

Center for MRI Research, Beijing City Key Lab for Medical Physics and Engineering, McGovern Institute for Brain Research, Peking University, Beijing, China

Email: *jgao@pku.edu.cn

Abstract: Functional brain imaging technology has developed rapidly in recent years. On the one hand, high-field 7T MRI has surpassed the spatial resolution constraints of 3T MRI, allowing us to enter a new world of mesoscopic imaging from the macroscopic imaging of human brain functions. On the other hand, the novel atomic magnetometer magnetoencephalography (MEG) has broken down the technical barriers of traditional superconducting MEG, which brings imaging of neuronal electromagnetic signals from cortical imaging to whole brain imaging. This report will focus on the research and development status of high-field magnetic resonance imaging and the new generation of MEG technology from both domestic and international perspective, foreseeing the new era of brain imaging applications that will soon be opened up.

Key words: Brain imaging; 7T MRI; MEG

MRI-guided precise rTMS treatment of brain disorders

臧玉峰

杭州师范大学

Resting-state functional MRI (RS-fMRI) usually refers to the blood ogxygentaiton level dependent (BOLD) technique. It measures the spontaneous or on-going brain activity during a continuous state (a few minutes or longer) without specific cognitive tasks. With the advantages of fairly good spatial (~3mm) and temporal resolution (0.1-2s), no radioactivity, and easy implementation, RS-fMRI is a promising functional neuroimaging technique for the diagnosis and to guide TMS treatment of brain disorders. Of the analytic methods, metrics for local activity (e.g., ALFF) and metrics for point-to-point functional connectivity showed potentials to guide TMS treatment. Multicenter data analysis is necessary to validate the reproducibility of abnormal brain activity, and hence, guide precise focused brain stimulation.

Beyond Image: Radiomics in Oncology

Zaiyi Liu

Guangdong Provincial People's Hospital

Email: zyliu@163.com

Abstract: Non-invasive medical imaging modalities including computed tomography (CT), magnetic resonance (MR), Ultrasound, and positron emission tomography (PET) are routinely used for tumor evaluation in clinical practice, such as tumor detection, tissue characterization, and cancer staging, etc. In addition, imaging can potentially provide valuable information for personalized medicine that aims to tailor treatment strategy based on the characteristics of individual patients and their tumors. However, traditional tumor imaging evaluation was based on some subjective

imaging features, such as tumor size, number, attenuation, enhancement pattern, etc., which cannot meet the need for individualized evaluation of the patients.

With the development of high-throughput computing sciences, it is now feasible to rapidly extract innumerable imaging quantitative features from CT, MR, and PET. The digital medical images can be converted into mineable high-dimensional data, and the extraction process is termed as radiomics. The notion of radiomics is motivated by the concept that biomedical images contain information that reflects underlying pathophysiology and that these relationships can be revealed via quantitative image analyses. Radiomics can extract advanced quantitative imaging features to objectively and quantitatively describe tumor phenotypes. These features, termed radiomics features, are extracted from medical images using advanced mathematical algorithms to uncover tumor characteristics that may fail to be appreciated by the naked eye. Radiomics may thus provide great potential to capture important phenotypic information, such as intra-tumor heterogeneity, subsequently providing valuable information for personalized therapy. In this topic, the presenter will briefly introduce the application of radiomics in oncology, including decoding genome information，tumor tissue characterization, tumor staging, treatment response evaluation, and outcomes prediction, etc.

Key words: radiomics; oncology; precision medicine

深度学习磁共振心脏电影成像

梁栋

中国科学院深圳先进技术研究院

Email: dong.liang@siat.ac.cn

磁共振心脏电影成像能够用于评估心功能，室壁运动异常等，为心脏临床诊断提供丰富的信息。然而，由于磁共振物理及硬件、和心脏运动周期时长的制约，磁共振心脏电影成像往往时间和空间分辨率受限。因此，在保证成像质量的前提下，利用快速成像方法提高磁共振心脏电影成像的时间和空间分辨率尤为重要。过去十年基于压缩感知的快速成像技术极大的提高了磁共振的采集速度，但是同时也面对着很多挑战如重建时间长、参数选择困难，丢失细节等。近年来，借助深度学习的强大学习能力来解决上述问题已经成为研究热点。本次报告中，我们将介绍课题组在深度学习磁共振心脏电影成像及动态成像方面的进展，提出可学习成像模型框架，克服了传统方法的缺陷，在高倍加速下实现高质量成像。

关键词：心脏电影成像；深度学习；可学习成像模型

猕猴全脑神经纤维束的病毒示踪与 11.7T 扩散张量成像

王征

北京大学

Resolving trajectories of axonal pathways in the primate prefrontal cortex remains crucial to gain insights into higher-order processes of cognition and emotion, which requires a comprehensive map of axonal projections linking demarcated subdivisions of prefrontal cortex and the rest of brain. Here we report a mesoscale excitatory projectome issued from the ventrolateral prefrontal cortex (vlPFC) to the entire macaque brain by using viral-based genetic axonal tracing in tandem with high-throughput serial two-photon tomography, which demonstrated prominent monosynaptic projections to other prefrontal areas, temporal, limbic and subcortical areas, relatively weak projections to parietal and insular cortices but no projections directly to the occipital lobe. In a common 3D space, we quantitatively validated an atlas of diffusion tractography-derived vlPFC connections with correlative enhanced

green fluorescent protein-labelled axonal tracing, and observed generally good agreement except a major difference in the posterior projections of inferior fronto-occipital fasciculus. These findings raise an intriguing question as to how neural information passes along long-range association fiber bundles in macaque brains, and call for the caution of using diffusion tractography to map the wiring diagram of brain circuits.

脑血管易损斑块 MR 成像与智能分析

赵锡海
清华大学医学院生物医学工程系
Email: xihaizhao@tsinghua.edu.cn

目的：脑卒中现已成为国人首位致死性疾病。脑血管易损斑块破裂引起的血栓栓塞是缺血性脑卒中的主要致病原因。现阶段临床上仍以血管成像评估脑血管狭窄程度来评价粥样硬化斑块的易损性，并以此作为临床决策的依据。然而，由于血管存在正性重构效应，60% 的易损斑块并不引起管腔严重狭窄，单纯测量管腔狭窄程度会显著低估斑块的易损性。MR 血管壁成像是脑血管易损斑块的最佳无创性评估手段，可以准备识别斑块易损特征，该方法的准确性已经过病理学验证。本讲座主要探讨颈动脉和颅内动脉易损斑块 MR 成像技术与人工智能分析进展，为临床提供新方法和新思路。

方法：MR 血管壁成像是颈动脉和颅内动脉易损斑块的最佳无创性评估方法，成像技术进展包括：（1）从二维成像到三维成像；（2）从单一对比度到杂交成像；（3）从单一血管床到多血管床一站式成像；（4）从定性评估到定量成像。图像分析进展主要包括：（1）基于传统方法的图像分割、配准与成分识别；（2）基于人工智能方法的图像分割和成分识别。

结果：通过技术进展，单一成像序列可实现多血管床、大范围一站式多对比度成像，定量成像可获取斑块微结构的形态和空间信息，是的斑块易损性评估更为精准。通过引入人工智能算法，可以快速、准确得对 MR 血管壁图像进行自动分析和危险度评估，大大提高了图像数据的分析和诊断效率。

结论：通过 MR 成像方法和图像分析方法的研究开发，现已实现脑血管易损斑块的快速、一站式高分辨率成像和智能分析。

关键词：脑血管；粥样硬化易损斑块；磁共振成像；人工智能

癫痫网络脑成像

张志强
东部战区总医院 / 南京大学医学院金陵医院
Email：zhangzq2001@126.com

癫痫活动沿特定途径向远处脑区传播，形成特异的癫痫网络；是癫痫症状的主要病生机制之一。多模态神经影像技术，是描绘癫痫网络的主要手段。相反，癫痫网络也是研究和理解脑网络的最佳疾病模型。

不同的神经成像技术，并结合各种分析方法，可以构建不同的癫痫网络：EEG 等电生理技术构建小的空间和时间尺度的网络、fMRI、PET、SPECT 核素显像等构建中时间尺度和大的空间尺度网络，而协变技术构建大时间尺度网络。

各种技术所构建的癫痫网络存在空间特异的不同；并且，癫痫网络与行使正常认知功能的脑网络产生互相影响；可以为理解癫痫症状发生、癫痫治疗等提供理论基础。

关键词：癫痫；脑网络；影像学

青少年抑郁症的形态学脑网络研究

邱小凡、王金辉
华南师范大学
Email: jinhui.wang.1982@m.scnu.edu.cn

目的：越来越多的影像学研究表明抑郁症可以视为一种脑网络紊乱疾病，但这种脑网络紊乱在青少年抑郁症患者中的具体模式尚不清楚。本研究旨在探索青少年抑郁症患者形态学脑网络的异常组织模式，并分析其与患者临床特点和认知功能紊乱之间的关系。

方法：我们招募了 25 名首发、未用药的青少年抑郁症患者和 19 名在年龄、性别、受教育程度上相匹配的健康青少年。所有参与者都完成了结构磁共振扫描和认知行为测试。我们首先采用 CAT12 软件包对每个被试的结构磁共振数据进行处理，提取了大脑皮层的厚度特征。然后采用我们团队开发的方法通过计算不同脑区的形态学特征分布相似性构建了个体水平的形态学脑网络。最后我们计算了一系列基于图论的网络属性（小世界属性：聚类系数、特征路径长度；节点中心性：度、效率、介数、特征向量和 PageRank）。我们采用了非参的置换检验方法比较了组间差异，并通过偏相关方法研究了有显著组间差异的网络属性与患者临床、认知之间的关系。

结果：相对于正常青少年，我们发现青少年抑郁症患者的注意抑制能力显著下降。形态学脑网络分析则发现青少年抑郁症患者的左侧初级感觉皮层的节点中心性显著升高，而左侧 ParaBelt Complex、右侧 Perirhinal Ectorhinal Cortex、右侧 Area PHT 和右侧 Ventral Visual Complex 的节点中心性则显著降低。这其中，左侧 ParaBelt Complex 的节点中心性与患者的注意抑制能力呈显著负相关，而右侧 Perirhinal Ectorhinal Cortex 的节点中心性与患者的发病年龄和病程呈显著负相关。脑区的皮层厚度比较以及脑区间的形态学连接比较均未发现任何组间差异。

结论：我们的结果表明青少年抑郁症患者的形态学网络表现出异常连接模式，这些异常与患者的临床特点和认知问题紧密相关。鉴于形态学脑网络的高可重测信度，上述异常有望成为辅助青少年抑郁症诊断的潜在标记物。

关键词：青少年抑郁症；形态学脑网络；结构磁共振成像；小世界模型

基于人工智能与多模态脑影像的脑发育障碍研究

隋婧
北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室
Email: jsui@bnu.edu.cn

目的：多模态神经影像已成为脑科学研究不可或缺的工具。本报告面向脑疾病与人工智能的交叉学科前沿，将介绍两大类基于数据驱动的多模态影像学标记检测方法及其在脑发育障碍研究中的应用。

方法：1) 系统介绍基于独立成分分析的有监督多模态 MRI 融合技术，以及如何基于该技术发现 (a) 人格评分 + 多模态脑影像能够评估青少年罹患多种精神疾病的风险指数；(b) 儿童孤独症社交功能障碍对应的功能和结构脑区异常及其跨物种一致性。

2) 基于深度学习技术结合时空域、动静态信息构建基于神经影像的孤独症、ADHD 脑发育障碍判别系统，为儿童青少年精神疾病的早期诊断提供方法学支撑和影像学证据。

结果：1）1100 例 14 岁青少年中过高的猎奇人格评分与奖赏环路中的关键脑区的多模态损伤显著相关，并可提示其 19 岁时出现抽烟、酗酒、多动症、抑郁症和精神分裂症等多种精神疾病的风险。

2）孤独症儿童社会交流能力的降低与前额叶 / 默认网络的功能受损相关，并且与 MECP2 转基因大鼠的脑影像异常存在跨物种一致性。

3）基于 ICA 的动静态信息整合，联合 GCN, RNN 等技术，脑发育障碍中的 ASD, ADHD 分类精度得到了进一步提高，能够发现更稳定可靠的影像学判别性标记。

结论：综上，基于独立成分分析、深度学习、个体化预测等技术，结合多模态脑影像 + 认知行为数据，能充分整合多视角信息，有望发现更稳定可靠的判别性影像学标记，更敏感地捕捉儿童青少年在不同类型发育障碍中的细微差异，提高测评精度，辅助早期干预。

关键词：脑影像；独立成分分析；风险预测；多模态融合；深度学习

磁共振智能云重建

屈小波

厦门大学

Email: quxiaobo@xmu.edu.cn

目的：指数函数是信号建模的基本形式之一。本报告主要讨论通过指数对磁共振波谱和图像建模，进行低秩 Hankel 矩阵 / 张量和深度学习超快速重建，以及部署在云平台的智能计算，展示相关工作在快速磁共振生物医学成像的前沿应用。

实现基于云计算的快速磁共振智能重建

方法：将磁共振时域信号建模成指数函数，并构建低秩 Hankel 矩阵 / 张量，通过信号模型与重建算法突破奈奎斯特采样瓶颈。然后，根据低秩 Hankel 矩阵的最优化模型和数值算法来设计深度学习网络结构，利用仿真的指数函数作为训练集，可以克服了深度学习需要大量训练数据而磁共振实验又难以提供的问题，实现低误差高保真重建，提高网络稳定性和可解释性。建立 XCloud 云计算重建平台，实现磁共振波谱和图像的云端重建与评估。

结果：磁共振 MRS 和 MRI 都可以建模成指数函数，并进行欠采样信号的高保真重建；提出的指数函数机器学习和深度学习重建方法可以实现在毫秒级 ~ 秒级的超快速高保真重建。与最前沿的并行 MRI 快速成像的重建方法相比，所提方法的重建图像误差最低，能在抑制采样伪影的同时很好地保留图像的细节，对并行 MRI 校准数据量的鲁棒性更高。对 MRS，基于指数函数的磁共振波谱重建方法一定程度上解决密集谱峰、低强度谱峰和低采样数据量等挑战性的应用问题。MRI 和 MRS 在计算感知实验室开发的生物医学智能云平台 XCloud 成功部署。

结论：指数函数、低秩模型、深度学习和云计算为磁共振波谱与成像的智能化计算带了很好的机遇，有望实现磁共振设备数据 - 重建 - 临床分析的一体化一站式服务，有望加速快速成像方法的开发、临床验证和产业化的全过程。

关键词：磁共振；图像；波谱；重建；人工智能；云计算

Deep learning in X-ray multimodality imaging

Tianye Niu, Xin Ge

深圳湾实验室

Email: tyniu@zju.edu.cn

Objective: Multimodality imaging is usually performed to provide deep information such as function, morphology, and anatomy information in spatial or temporal domain. Interpretation of X-ray images would greatly benefit from the development of reliable deep neural learning technology in the transition to

multimodality imaging. However, current practice of multimodality imaging is labor intensive and requires a sophisticated experimental setup. Recognizing these bottlenecks, we focused on developing deep learning networks for image style transformations. Recent progress in our work have led to promising results, including but not limited to magnetic resonance (MR) images from computed tomography (CT), multi-contrast X-ray images from X-ray absorption images and dynamic images from static data acquisition. Cross-modality learning, as described, may accelerate operational process, decrease experimental costs, provide complementary information, and enhance parallel data access, all of which will benefit a variety of applications. In this presentation, I will discuss recent multimodality imaging research utilizing deep learning and classifying the results according to imaging tasks: (1) MR based synthetic CT generation; (2) X-ray absorption image based multi-contrast X-ray image generation; (3) A static routine scan based 4D conebeam CT (CBCT) image generation.

Methods: Using deep learning networks, we focus on image style transformations based on X-ray images. This approach allows the generation of reliable cross-modality images, bypassing complicated and sophisticated experimental efforts. The multimodality images are obtained from different experimental setups and trained with paired or unpaired datasets. Connections between multimodality images can be created with supervised or unsupervised learning. Within network training, the structure and parameters of the network are optimized. After training, cross-modal images can be generated directly from X-ray images without physical data acquisition. To compare the performance of different deep learning frameworks, peak signal-to-noise ratio (PSNR), root mean square error (RMSE) and structural similarity (SSIM) are evaluated. Alternatively, a random blind test is used to compare the interpretation of the deep learning network with the subjective evaluation by medical experts to determine the accuracy of the generated images.

Results: In biomedical imaging, X-ray data-driven cross-modality image transformations result in high quality X-ray images that are comparable to the ground truth. Simulation study, proof-of-concept study, patient study, network architecture comparison, network training and testing, evaluation metrics, and related applications will be presented. (1) Cross-modality CT-to-MR image synthesis is achieved using the presented context-enhanced cycle-generative neural network (cycle-GAN) with weakly supervision on tumors. Results on unpaired abdomen and pelvic cavity CT-to-MR image synthesis demonstrate that the proposed image synthesis method has promising synthetic performance, especially in preserving the details of tumors. (2) Multi-contrast virtual projections are successfully generated by the X-ray absorption images. High-quality tomography in insect specimens can deliver the multi-contrast and quantitative information by smearing back all of the virtual projections. (3) Based on the test results of simulation study, the proposed method deformable vector field multiscale-discriminator GAN (DVF-MSD-GAN) outperforms MSD-GAN in image quality and accuracy. Quantitative analysis reveals that the CBCT images produced by the proposed method have a higher SSIM value and a lower RMSE than the other Methods used within the ten phases. In reconstructed 4D-CBCT images using the estimated DVFs, the proposed method achieves a lower RMSE than DVF-Feldkamp-Davis-Kress (DVF-FDK) and DVF- total-variation (DVF-TV) by 23.82% and 8.12 %, respectively.

Conclusion: Using deep learning for cross-modal X-ray images, particularly with network structures, big data available for training, computing power and cloud storage, will have a profound impact on the future research and clinical treatment. For researchers, deep learning generated images can provide complementary and high quality images. For clinicians, deep learning assisted diagnosis can provide fast and accurate image interpretation. For patients, deep learning analyzed images can help them make a preliminary evaluation and reduce the burden of healthcare.

Key words: X-ray; deep learning; cross modality

颈动脉超声平面波血流成像新方法研究

郑音飞
浙江大学
Email: zyfnjupt@126.com

目的：用的血流成像方法（如彩超），只能获得血流沿着超声传播方向的速度分量，测量误差大．超声平面波血流速度矢量成像可以获得二维或三维的血流速度矢量，弥补了传统彩超的缺陷，成为医学超声成像领域的研究热点。然而，超声平面波技术仍存在着目标旁瓣幅度高、平面波发射序列复杂及组织结构成像质量差等问题，限制着超声平面波在颈动脉成像领域的进一步应用．针对上述技术问题，本文创新性地对传统超声平面波成像技术进行了三方面改进：单角度平面波发射替代双偏角平面波发射、低脉冲重复频率发射序列取代高脉冲重复频率序列、优化血管及外周软组织结构图像。

方法：具体研究内容包括：

（1）单角度平面波发射颈动脉血流速度矢量成像．通过分析平面波成像的旁瓣幅度特性及平面波发射序列对血流速度估计的影响，设计单角度平面波发射序列，以降低成像目标旁瓣幅度，降低多次散射杂波的干扰；通过采用方向波束合成的方式接收回波信号，获取不同方向上的目标速度分量，从而合成血流速度矢量。

（2）单角度平面波组织结构成像．为提升单角度超声平面波对颈动脉组织结构成像的图像质量，设计由能量最小方差自适应窗函数计算、特征空间阵列信号降噪和信号后滤波等三个环节组成的自适应波束合成算法。

结果：角度平面波方法与双偏角平面波方法检测的均方根误差（RMSE）中位值分别为 0.045 m/s 和 0.051 m/s；对于纵向速度分量，两者 RMSE 中位值分别为 0.006 m/s 和 0.008 m/s．在体实验表明，单角度平面波方法对颈动脉血流速度矢量的成像效果优于双偏角平面波方法，其能更好的展现颈动脉内血流漩涡的分布。

结论：利用实验系统，采集了 22 例超声平面波颈动脉血流病例，从中选取具有典型形态特征的颈动脉血流速度矢量成像结果 :4 例．平面波颈动脉血流速度矢量图像能够展示出颈动脉内复杂的血流速度分布变化情况。

关键词：医学超声；单角度超声平面波；血流速度矢量成像；自适应波束合成

Mapping brain connectivity using higher-order streamline differential equation

Yuanjing Feng
浙江工业大学
Email: fyjing@zjut.edu.cn

Objective: Tractography based on diffusion magnetic resonance imaging (dMRI) plays an important role in the study of brain connectivity. However, state-of-the-art fiber tractography algorithms are commonly tracking the principal direction of the symmetrical or asymmetrical fiber orientation distribution step by step. These tractography algorithms incrementally grow the fiber path by discretely integrating the line segment along with the fiber orientation distribution, that is, peaks-based tractography. Theoretically, reconstructing the fiber trajectory in the “single path to single path”, “step by step” manner is essentially based on Frenet’s differential equation, similar to a single-particle motion in fluid mechanics, and Euler’s method is typically used to numerically solve. Peaks-based tractography algorithms are inevitable to the fact that the entire diffusion information is not globally used and may be incorrect in regions containing complex fiber geometries, such as bending, asymmetric crossing, fanning, or kissing. Our previous work shows that two-order streamline differential equation based on neighborhood voxels is a powerful tractography method to address these

problems. Nevertheless, two-order streamline differential equation based tractography still faces a challenge when tracking the complex global fiber structure, such as slender cranial nerves, large bends, and divergent tracts, as the limited fitting ability to these complex fiber bundles. Substantial methodological innovation is needed to resolve these problems.

In this work, we further explore the tractography ability of streamline differential equations in the whole streamline cluster. Based on the definition of the streamline differential equation, herein, we propose unified any order streamline differential framework to reconstruct the complex fiber pathway, such as slender, large curved, and large fanning fiber bundles. A novel global tractography optimization model is presented with higher-order streamline differential equation realizing the whole fiber flows between ROIs and handing prior anatomical knowledge as well as spatial changes of fiber pathway due to brain pathological change.

Methods: Based on the commonly accepted anatomical prior that the fibers impossibly originate or terminate in the white matter, and the fibers in the white matter show the form of not intertwined streamlines, we proposed a fiber trajectory reconstructed model defined on the whole flow field by using streamline differential equation. The optical fiber bundle can be viewed as a superposition of non-intertwined fiber streamlines starting from region *A* to region *B* along the diffusion tensor vector field, which is expressed as n-order polynomials. According to the continuous incompressible fluid theory and fibers do not originate or terminate in the white matter, we can globally minimize the cost function and find the optimal fiber trajectory flow obeying these constraints. The cost function can be expressed as an integral of a cost assigned to the streamlines. The solution of the problem is decomposed into two stages: first, we minimize the cost function to obtain the coefficient matrix of the polynomials; second, we use the coefficient matrix to obtain the flow field vectors and use the fourth-order Runge-Kutta method to solve the streamline differential equation.

Results: Multiple simulated complex fiber pathway datasets, such as long thin, large fanning fiber bundles, which are not easily reconstructed by conventional tractography algorithms, are used to compare the results of the proposed algorithms. Experiments are performed on Hough and the ISMRM 2015 tractography challenge data for qualitative and quantitative evaluation. The longitudinal comparison shows that the proposed method has great advantages in asymmetric fiber structures such as slender, large curved, and large fanning. The horizontal comparison shows that as the order of the differential equation increases, the ability for fiber reconstructing will gradually increase. The fifth or sixth order will get better results.

Conclusion: The proposed high-order streamline differential equation can reveal continuous asymmetric fiber trajectory distribution details, such as slender, large curved, and large fanning, and show better spatial consistency, which is potential for robust tractography.

Key words: Diffusion MRI; Tractography; High-order streamline differential equation.

基于深度迁移学习的癌症病理图像分类方法研究

李勇明、王品、李普飞

重庆大学

Email: yongmingli@cqu.edu.cn

目的：在基于深度神经网络的结肠癌组织病理学图像分类任务中，深度学习对数据依赖比较强，需要大量的标记数据来理解数据的潜在特征。迁移学习可在一定程度上缓解样本标签不足的问题，然而基于自然图像的深度迁移学习的方法和单一的深度高阶特征未能充分挖掘组织病理学图像的隐含特征，会限制模型的分类识别准确率和模型的稳定性。

方法：针对以上问题，我们提出了三种深度迁移学习的病理图像分类方法。

提出了基于双深度高阶特征的交互式跨域极限学习的乳腺癌组织病理图像分类方法。首先，一次迁移学

习方法 TL 和二次迁移学习方法 DSTL 分别用来提取出同一个乳腺癌病理学显微图像的两种深度高阶特征。然后，利用交互式跨域极限学习模型 ICELM，将提取的两种深度高阶特征分别作为 ICELM 的正则项，进一步提高整体模型分类识别的准确率和稳定性。最终得到最优的乳腺癌组织病理学显微图像分类模型。

提出了基于双通道网络的多元特征融合的乳腺组织病理图像分类算法。首先，设计了一个能够同步提取卷积特征和胶囊特征的双通道网络。然后，将卷积特征和胶囊特征结合，使模型具备同时关注图像的语义信息和空间信息的能力，以获得更具判别力的特征，增强特征对细胞排列、方向等空间信息的表征。并且，利用增强路由自适应地调整路由系数，进而优化模型。

提出了基于多重加权损失函数的病人结肠癌全视野数字切片（Whole Slide Image，WSI）图像的迁移半监督域自适应分类算法。首先，针对病理学图像的特点设计了一个用于提取图像高阶特征的卷积网络模型。然后，通过基于多重加权损失函数的半监督域自适应算法，对源域病人数据集和目标域病人数据集的高阶特征分布进行充分对齐。通过流形正则化项提高了模型对目标域数据分布空间的适应性。

结果：与最新主流算法相比，本文提出的方法准确率取得了显著提升。

结论：本文研究的深度迁移方法通过提高特征的表征能力，更加全面地挖掘组织病理图像的细胞信息，增强了模型的分类性能。

关键词：癌症病理图像；双步深度迁移学习；小样本；跨域；特征融合

A Practical Alzheimer Disease Classifier via Brain Imaging-Based Deep Learning on 85,721 Samples

Chaogan Yan

中国科学院心理研究所

Objective: Magnetic resonance imaging (MRI) is widely used in neuroradiology to detect brain lesions including stroke, vascular disease, and tumor tissue. Even so, MRI has been less useful in definitively identifying degenerative diseases including Alzheimer's disease (AD), mainly because signatures of the disease are diffusely found in the images and hard to distinguish from normal aging. Machine learning and deep learning methods have been trained on relatively small datasets, but the limited training data often leads to poor generalization performance on new datasets not used the train the algorithms. In the current study, we aim to create a practical brain imaging-based AD classifier with high generalization capability via learning/transfer learning on a diverse range of large-scale datasets.

Methods: We pooled MRI data from more than 217 sites/scanners to constitute the largest brain MRI sample to date (85,721 scans from 50,876 participants). Next, we applied a state-of-the-art deep convolutional neural network, Inception-ResNet-V2, to build a sex classifier with high generalization capability. The sex classifier achieved 94.9% accuracy and served as a base model in transfer learning for the objective diagnosis of AD. To ensure generalizability, we used cross-dataset validation. In the testing phase, all the data from a given dataset would never be seen during the classifier training phase. This also ensured the data from a given site (and thus a given scanner) were unseen by the classifier during training. This strict setting can limit classifier performance, but it makes it feasible to generalize to any participant at any site (scanner).

Results: After transfer learning, the model fine-tuned for AD classification achieved 91.3% accuracy in leave-sites-out cross-validation on the Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative (ADNI) dataset and 94.2%/93.6% accuracy for direct tests on two unseen independent datasets (AIBL/MIRIAD). When this AD

classifier was tested on brain images from unseen mild cognitive impairment (MCI) patients, MCI patients who finally converted to AD were 3 times more likely to be predicted as AD than MCI patients who did not convert (65.2% vs 20.6%). Predicted scores from the AD classifier showed significant correlations with illness severity. The occlusion map for the AD classifier highlighted that the hippocampus and parahippocampal gyrus played unique roles in predicting AD.

Conclusion: In sum, the proposed AD classifier could offer a medical-grade biomarker that have potential to be integrated into AD diagnostic practice.

Key words: Alzheimer's disease; convolutional neural network; magnetic resonance brain imaging; sex difference; transfer learning

专题口头报告

移动 MRI 卒中单元于超早期卒中鉴别诊断的应用研究

谭亮

陆军军医大学第一附属医院（西南医院）

目的：脑血管病根据发病机制主要分为缺血性和出血性卒中，急性缺血性卒中约占全部脑血管意外的67%。缺血性卒中治疗关键在于 4.5 小时内静脉溶栓治疗，以开通颅内闭塞动脉。由于难以在狭窄时间窗内完成两个卒中类型的鉴别诊断，目前溶栓治疗难以惠及急性卒中患者。

方法：本团队在国家 973 计划的支持下，联合研发了基于永磁体的超低场磁共振（MRI）颅脑成像系统。其中主磁体重量 700Kg，磁场强度为 50mT，目标区域为直径 270mm 的球形空间，主磁场均匀度 60ppm，图像分辨率达到 1.5mm*2.0mm2，全序列成像时间仅需 6 分钟，完全满足快速颅脑成像需求，并克服固定、屏蔽、匀场的难题完成了车载化，建立国内首台移动 MRI 卒中单元（mobile MRI stroke unit，MMSU）。

结果：我们团队采集了脑出血猕猴与巴马香猪及健康人在超低场磁共振颅脑成像后，通过临床伦理审查，将 MMSU 应用于临床试验，收集出血性卒中病例 21 例，缺血性卒中病例 16 例。通过 MMSU 对于卒中患者行 T1 与 T2 加权成像，通过不同系列对比，可以有效鉴别诊断缺血性卒中与出血性卒中，与患者入院后行商用 CT 及 MRI 诊断结果一致，准确性与特异性均达 100%。同时本团队也完成了对神经重症病人颅内血肿动态成像监护，对于后期脑血肿扩大与水肿形成进行了动态监测。

结论：本研究证明 MMSU 为前移卒中战线至急救第一线，变传统急性脑卒中“固定医疗资源，而转运患者”的急救模式为“固定患者，而转运医疗服务”的新模式，缩短溶栓时间，改善卒中预后创造了理论与实验条件。

关键词：磁共振；移动卒中单元；超低场；卒中；溶栓时间窗

LANDSCAPE 2.0: 基于脑网络的皮层复杂度对经颅电刺激电场影响的模拟研究

路翰娜 *[1,2]、李京 [1]、张力 [1]、陈秀雯 [1]、林翠华 [1]

1. 香港中文大学

2. 广州医科大学附属脑科医院

目的：近年来，经颅神经调控与其生物物理模型在脑科学中成为快速发展的领域之一 [1,2]。头皮 - 皮层距离（Scalp-to-cortex distance, SCD）和大脑皮层特征是影响刺激相关的电场强度与分布的重要因素 [3]，但是目前尚未有纵向研究深入分析头皮 - 皮层距离和大脑皮层特征的动态变化。在 2018 年，我们启动 LANDSCAPE 项目 (大脑图景研究) 系统地分析年龄相关的头皮 - 皮层距离的变化 [4]。基于经颅脑刺激常用的治疗靶点，这个研究的目的包括：(1) 分析老化对左侧初级运动皮层 (M1) 和背外侧前额叶 (DLPFC) 的头皮 - 皮层距离和大脑皮层特征的作用；(2) 定量分析头皮 - 皮层距离对于刺电场强度的影响并建立头模型。

方法：来自 OASIS-2 开始数据库的 32 位正常老化的长者和 22 位轻度认知障碍转化者包含基线、1 年期和三年期的磁共振成像和认知表现的随访。我们在 BrainSight 系统中通过 MNI 坐标定位左侧 M1 和 DLPFC 并测量头皮 - 皮层距离。基于皮层的形态分析灰质体积、白质体积、皮层厚度和褶皱。建立头皮 - 皮层距离对经颅脑刺激相关的电场强度的影响的模拟头模型。

结果：老化对于轻度认知障碍转化者的左侧 DLPFC 的头皮皮层距离的作用更为显著。从基线到第三年随访的左侧 DLPFC 头皮皮层距离的变化相较于其他形态学测量 (比如体积) 可以更有效地区分正常老化者和轻度认知障碍转化者。

结论：在为期三年的随访中，老化对于头皮皮层距离和大脑皮层特征的作用表现出显著的脑区特异性。我们的结果提示治疗靶点的头皮皮层距离、皮层厚度和褶皱可以作为极具价值的影像学标记物用来指导脑萎缩患者的经颅脑刺激治疗。

关键词：经颅脑刺激；头皮皮层距离；磁共振成像；电场模拟

腹部凸阵超声探头向量血流技术的测量与验证

郝鹏慧 *、杜宜纲、李双双

深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司

传统的血流成像技术存在依赖校正角度、不能显示涡流和湍流等局限性，而向量血流作为一种新的血流成像技术则可以较好地解决以上问题。本文主要从横向声场法入手，从仿真和多普勒体模实验两个方面验证计算得到的向量血流速度的准确性以及其应用在腹部凸阵探头上的可行性。横向声场法使用双峰值接收变迹产生横纵向双向振动声场，通过微微偏转接收声束产生横向空间正交信号用于计算血流速度的横纵向分量。仿真实验得到的最大血流速度为 0.48m/s 与设定值 0.5m/s 接近，多普勒体模实验得到的血流速度和 PW 测值相近，误差均在 ±5% 以内，通过仿真和多普勒体模实验可以得出向量血流方法计算得到的血流速度值符合实际情况，该技术可以应用在腹部凸阵探头上。

关键词：血流成像；向量血流；腹部凸阵探头；横向声场法

基于彩色编码血管显像技术的主动脉夹层分支血流分析研究

方坤 [1]、赵嘉伟 [1]、罗明尧 [1]、薛云飞 [1]、王慧 [2]、张雪岚 [3]、郑连存 [3]、舒畅 *[1,2]

1. 国家心血管病中心，中国医学科学院阜外医院 血管外科

2. 中南大学湘雅二医院 血管外科

3. 北京科技大学 数理学院

目的：利用血流彩色编码技术 syngo iFlow，定量分析 Stanford B 型主动脉夹层 TEVAR 手术前后肾动脉血流及肾脏灌注的变化，进而评价 TEVAR 干预方法对肾脏血运的改善疗效。

方法：2017 年 4 月至 2019 年 9 月，51 例 TBAD 患者接受 TEVAR 手术，并在主动脉支架释放前后各完成一次腹主动脉造影。将 DSA 图像利用 syngo iFlow 生成反映血流信息的彩色编码图并完成感兴趣区域（ROI）参数测量，结合临床肾功能指标进行术前术后对比分析。

结果：TEVAR 治疗前后 iFlow 评价参数变化显著，肾动脉平均峰值比 avg.Pr 和时间 - 强度曲线下面积比 avg.AUCr 分别提高 33%(P<0.001) 和 35.1%(P<0.001)，肾皮质 avg.Pr 和 avg.AUCr 分别提高 24.5%(P=0.004) 和 38.3%(P=0.009)，肾皮质平均达峰时间 avg.dTTP 缩短 12.2%(P=0.001)。术后 iFlow 评价参数与临床肾功能指标存在相关性，术后肾动脉 avg.Pr 与 eGFR 存在相关性 (P=0.0349)，术后肾皮质 avg.Pr 与 eGFR 相关 (P=0.0300)，avg.AUCr 与 BUN 存在相关性 (P=0.0289)。

结论：syngo iFlow 作为 TEVAR 术中的一种新型评估工具，其提供的时间 - 强度曲线及其相关参数可进一步量化术中肾血流和灌注评估，以补充 DSA 定性评估的精确性和敏感性，在一定程度上可预测临床肾功能变化。

关键词：主动脉夹层；胸主动脉腔内修复术；syngo iFlow；肾动脉血流；肾皮质灌注

Inversion-recovery prepared 3D oscillating gradient sequence improves diffusion-time dependency measurements in the human brain

Haotian Li[1]、Tao Zu[1]、Yicheng Xu[2]、Zhiyong Zhao[1]、Ruibin Liu[1]、Yi Sun[2]、Yi Zhang[1]、Dan Wu*[1]

1. College of Biomedical Engineering & Instrument Science, Zhejiang University

2. MR Collaboration, Siemens Healthcare China

Objective: Oscillating gradient (OG)[1] diffusion MRI has been used to assess restricted water diffusion at short diffusion-time (t_d), and to infer about the tissue microstructures[2-5]. Clinical application of this technique, however, is limited due to the low gradient strength on clinical MRI systems, which results in a long echo time (TE) and repetition time (TR) to reach a reasonable oscillating frequency and b-value. We recently proposed a 3D oscillating gradient-prepared gradient spin-echo (OGprep-GRASE) sequence to target these two problems[6]. Moreover, we found that the t_d-dependency could be affected by CSF signals due to partial volume and point-spread-function effects, for tissues close to the ventricle and sulci, such as the hippocampus and cortical gray matter (GM).

The present study aimed to eliminating CSF contamination using the inversion recovery (IR) technique in the OGprep-GRASE sequence. Moreover, we accelerated the OGprep-GRASE sequence with parallel imaging using the Generalized auto-calibrating Partial Parallel Acquisition (GRAPPA)[7] method to further shorten the TE and readout duration. We tested the proposed 3D IR prepared OGprep-GRASE sequence with GRAPPA acceleration in measuring t_d-dependency in several GM and white matter (WM) regions of the human brain on a 3T system.

Methods: Pulse sequence: Our 3D IR-OGprep-GRASE sequence consisted of four modules: the IR module, diffusion preparation module, fat saturation module, and GRASE readout module. An IR module with an inversion time (TI) of 2500 ms was added at the beginning of the sequence to null the CSF signal. GRAPPA acceleration was achieved in the EPI phase-encoding direction but not the turbo-echo direction.

Data acquisition: Six healthy volunteers were enrolled with IRB approval. All scans were performed on a 3T MAGNETOM Prisma scanner with a 64-channel head coil. dMRI data were acquired using the 3D OGprep-GRASE sequence with or without the IR module with a PG-encoding ($\triangle$ eff = 40ms, 0Hz) and OG-encodings at frequencies of 20 Hz (1 cycle), 40 Hz (2 cycles), and 60 Hz (3cycles) (effective t_d = 25, 12.5, and 8.3 ms). The other parameters were kept the same: FOV = 220 × 200 mm^2, voxel size = 2 × 2 × 4 mm^3, TR/TI/TE1 (TE of the diffusion module)/TE2 (TE of the GRASE module) = 9000/2500/103.46/31.94 ms, NEPI = 39, NTSE = 12, b = 420 s/mm^2 with 6 directions and two averages, b = 0 with 4 averages, GRAPPA accelerated factor = 2.

Data analysis: The acquired K-space data were reconstructed by GRAPPA reconstruction[8] with Tikhonov Regularization[9]. Regions of interest (ROIs) including the hippocampal subfields (head, body, and tail), cortical GM, thalamus, posterior WM, and splenium of the corpus callosum (CC) were manually delineated on b0 images. The differences in ADC between the multi-frequency OG-dMRI and PG-dMRI data were assessed by ANOVA followed by post-hoc t-tests with Bonferroni correction.

Results: Statistical results demonstrated significant t_d-dependent ADC changes in the thalamus and posterior WM regions ($p < 0.001$) using both IR-OGprep-GRASE and OGprep-GRASE sequences. However, in the hippocampus, cortical GM, and splenium of CC that are close to the CSF, t_d-dependent ADC changes were only clear with the IR module ($p<0.001$), suggesting the necessity to suppress CSF in t_d-dependent diffusion MRI studies of the human brain. In addition, we found ADCs measured with the IR sequence was significantly lower than that of the non-IR sequence ($p < 0.001$).

Comparing the ADC values from different ROIs, we found ADCs in the hippocampal head were lower than that in the body or tail, and its t_d–dependent change was faster (from PG to OG-20Hz) than the other two sub-regions. For the other ROIs, we found the t_d–dependency pattern of cortical GM was distinct compared to other GM and WM regions, with a slower change from PG to OG-20Hz.

Conclusion: In this work, we proposed a 3D IR-OGprep-GRASE sequence to investigate t_d-dependent diffusivity in the human brain. Compared with the previously developed OGprep-GRASE sequence, the proposed sequence with IR preparation can effectively suppress the CSF signal, and therefore improve the t_d-dependency measurements in the hippocampus, cortical GM, and CC. Besides, the current sequence is equipped with parallel acceleration to reduce the TE and improve the PSF profile.

Based on IR-OGprep-GRASE measurements, we identified distinct t_d-dependency profiles in the human brain; moreover, sub-regions (head, body, and tail) of the hippocampus exhibited different t_d-dependency, possibly related to the different structural-functional organization of the sub-regions.

Key words: inversion-recovery; oscillating gradient diffusion MRI; 3D GRASE, diffusion-time dependency; CSF contamination

MRI 图像中直肠癌区域分割的研究

陈树超 [1]、黎浩江 [2]、刘立志 [2]、陈洪波 *[1]

1. 桂林电子科技大学

2. 中山大学肿瘤防治中心（中山大学附属肿瘤医院、中山大学肿瘤研究所）

目的：直肠癌是危害人类健康的十大癌症之一。在直肠癌的临床治疗中，医生在手术前要先通过 MRI 图像来划定直肠癌的区域，而目前这个过程需要人工来完成。而且医学影像中的直肠癌边界模糊，给图像分割和医生勾画都带来了挑战。本文的研究目的是自动地从医学图像中分割得到直肠癌区域，辅助医生对直肠癌进行诊断和影像组学研究。

方法：基于深度学习方法设计了一种特征分离的模型框架——TGB-Net，用于 MRI 图像中直肠癌区域的精确分割。TGB-Net 通过分离高级语义特征和初级纹理特征来使模型的中间特征得到更充分的利用和表达，有效的产生从粗分割到细分割的结果，其中粗分割又用于指导细分割过程，使得小视野下模型有明确的关注点。粗分割有利于解决 MRI 图像中直肠癌区域存在边界模糊的问题，这是因为粗分割标签的确定性高于细分割的标签，进而产生有效的定位信息。模型中使用最大池化来对标签进行下采样而得到粗分割的标准，使得粗分割区域总是可以有效包围细分割区域，同时发挥空间注意力的作用。TGB-Net 的上级特征对下级特征只起到区域指导作用因而不需要采用复杂的特征图上采样算法，有利于减少模型的参数量。

结果：实验数据来自中山大学肿瘤防治中心，总共包含 686 张患者的 MRI 直肠癌切片数据，其中 495 张切片用于模型训练，其余用于测试。训练和测试数据的切片来自不同患者，不存在重叠，训练数据和测试数据严格独立分离。在测试集上，TGB-Net 方法的 Dice 得分为 0.70±0.03，而当前主流模型 U-Net++ 和 U-Net 方法的 Dice 得分分别为 0.69±0.205 和 0.64±0.19。新方法获得最好性能。

结论：实验结果表明了新方法中的特征分离对分割任务有良好表现，本文方法可以用于 MRI 图像中的直肠癌区域分割，为直肠癌的辅助诊断的影像组学研究提供技术手段。

关键词：直肠癌；特征分离；语义分割；MRI 图像

鼻咽癌三维概率图谱分析及应用探索

陈洪波 *[1]、刘立志 [2]、黎浩江 [2]、杨世鑫 [1]、黄文捷 [2]、阮广英 [2]、陈树超 [1]

1. 桂林电子科技大学

2. 中山大学肿瘤防治中心（中山大学附属肿瘤医院、中山大学肿瘤研究所）

目的：鼻咽癌概率图谱可以为鼻咽癌的放疗靶区勾画、辅助诊断以及预后等提供重要的信息。但由于患者之间的个体差异，缺乏头部影像分析的标准空间，鼻咽癌图谱分析及应用受限。本研究旨在利用头部的稳定解剖结构点信息构建用于医学影像分析的标准空间，获取鼻咽癌概率图谱，并探索其在鼻咽癌预后中的应用。

方法：图谱构建：本文以双左侧内耳门和双侧颈内动脉海绵窦段垂直部四个解剖标志点构建头部标准坐标系。坐标系的原点定位在两侧内耳门连线的中点。两侧内耳门的连线方向为 X 轴方向，在该横断面内垂直该连线的方向为 Y 轴，Z 轴为与横断面垂直。选定一位健康者的 MRI 影像作为参考，所有鼻咽患者的 MRI 影像，根据所选定的稳定解剖结构点与参考之间的位置关系，计算三维坐标变换矩阵，并将其 MRI 影像与参考进行配准。然后，将医生勾画好的肿瘤部位 ROI 同样进行三维空间坐标变换，映射到参考空间中。通过叠加统计分析并形成鼻咽癌三维图谱。

图谱应用：针对每个患者的鼻咽癌 ROI 区域，映射到标准空间后的 ROI 区域概率图谱的最小值可以视为肿瘤向外侵犯程度。通过对各患者的肿瘤向外侵犯程度的分布找到预后风险切割值，并试图找到具有预后较差的高风险鼻咽癌患者。

结果：本实验研究所使用的图像数据由中山大学附属肿瘤医院提供，总共 808 例 MRI 数据。鼻咽癌肿瘤区域 ROI 和四个解剖结构点的勾画工作由中山大学附属肿瘤医院影像科一名具有五年以上的影像科医师勾画完成，并由一名医学影像学主任医师确认。已经获得了 808 例患者所构成的鼻咽癌概率图谱。通过肿瘤向外侵犯程度的分布分析，得到高低风险的概率切割值为 0.016。通过五年 DMFS 生成分析得到，肿瘤高发区域的患者的预后要好于低发区域的患者（P<0.001，多因素分析后 P=0.001）。

结论：为鼻咽癌分析定义了一个三维标准空间坐标系，获取了鼻咽癌概率图谱，可以为鼻咽癌预后分析提供一种新的有效方法。

关键词：鼻咽癌；概率图谱；医学影像；预后风险；图像配准

化学交换饱和转移成像在结节性硬化症继发性癫痫中的优化应用研究

温清清 [1]、王康 [3]、徐义程 [2]、徐炎 [4]、孙毅 [2]、吴丹 [1,3]、张祎 *[1,3]

1. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院

2. 西门子医疗系统有限公司磁共振事业部

3. 浙江大学医学院附属第一医院

4. 浙江省人民医院

目的：探索化学交换饱和转移 (CEST) 成像对于结节性硬化症 (TSC) 继发性癫痫结节成像的可行性，并优化 CEST 成像序列，得到最佳结节成像参数。

方法：在 3T 西门子磁共振平台进行 9 例 TSC 癫痫患者的大脑扫描。从 T2 加权成像中选择结节最明显的一层作为 CEST 扫描层面。为了优化 CEST 成像参数，设置三种饱和时间 400、700 和 1000ms，四种饱和脉冲强度 1、2、3、4 μT，共 12 种成像参数组合。FOV=212×185.5mm^2；矩阵 416×364；层厚 5mm；饱和频率 -6:0.25:6ppm。

CEST 信号计算公式为：MTR(-Δw)=S(-Δw)/S-S(Δw)/S。Δw 为饱和频率，S 是饱和后的信号，S 是不饱和信号。手工勾画结节和对侧正常白质 ROI 并计算 MTR 均值。结节和正常白质的对比度为：

ΔMTR=MTR(结节)-MTR(白质)。

结果：1000ms 是区分结节和正常组织的最佳饱和时间。在 1000ms 条件下，四种饱和脉冲强度均可得到良好的结节与正常组织对比度，但不同饱和脉冲强度对应的最优观察频率并不相同。在饱和脉冲 2、3、4μT 条件下，对应的 MTR 和 ΔMTR 的最大值都分别位于 1.75、2.5、3ppm。在 1μT 条件下，3.5ppm 处可以观察到最大的 ΔMTR，但 MTR 最大值在 0.75ppm 处。在最优成像条件下，结节中的 CEST 信号明显比正常组织中的信号强（P<0.01），并且某些在常规 T2 加权像中显示结构正常的脑区，在 CEST 图中会表现出异常高信号，表明这一脑区的代谢很可能已先于结构发生了改变。

结论：CEST 首次被应用于 TSC 癫痫研究中，结节和正常组织之间的 CEST 信号有显著差异，并且 CEST 能够提供一些常规结构像中无法观察到的信息。3T CEST 对结节成像的最优饱和时间为 1000ms，2、3、4μT 饱和脉冲强度分别对应最优观察频率 1.75、2.5 和 3ppm。

关键词：化学交换饱和转移成像；结节性硬化症继发性癫痫；优化应用

Reconstructing four-dimensional atlas of the fetal brain based on diffusion MRI

Ruike Chen[3]、Dan Wu*[3]、Cong Sun[1]、Guangbin Wang[1,2]、Yi Sun[5]、Yi Zhang[3]、Junyan Wang[4]

1. Department of Radiology, Shandong Provincial Hospital, Cheeloo College of Medicine, Shandong University, Jinan, Shandong, China

2. Department of Radiology, Shandong Provincial Hospital Shandong Provincial Hospital Affiliated to Shandong First Medical University, Jinan, Shandong, China

3. Key Laboratory for Biomedical Engineering of Ministry of Education, Department of Biomedical Engineering, College of Biomedical Engineering & Instrument Science, Zhejiang University, Hangzhou, China

4. Zhejiang Lab

5. MR Collaboration, Siemens Healthcare Ltd., Shanghai, China

Objective: Human brain undergoes rapid structural and functional development during fetal period [1]. Although T1- or T2-weighted magnetic resonance imaging (MRI) of the fetal brain is useful in depicting volumetric [2] and morphological [3] development, they were not able to capture the patterns of white matter (WM) maturation due to limited imaging contrast in WM. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging (dMRI) is able to depict WM microstructures by probing water diffusion in biological tissues. Previous studies have reported increasing fractional anisotropy (FA) and decreasing mean diffusivity (MD) in fetal brain during the second to third trimester of gestation based on the diffusion tensor model [4-6], while others reported non-monotonic changes of FA or MD in some WM regions [7-10]. dMRI atlases of the normal fetal brain are desired to characterize the developmental trajectories of the WM, which would also provide biomarkers for in-utero diagnosis of prenatal disorders.

The goal of this work is 1) to develop a pipeline for fetal brain dMRI reconstruction and atlas generation; 2) to generate a four-dimensional spatiotemporal atlas of the fetal brain in a Chinese population; and 3) to decipher the microstructural pattern of early WM development.

Methods: 135 healthy fetuses were scanned on a 3T Siemens scanner using a diffusion-weighted echo-planar imaging sequence with a b-value of 600 s/mm^2, 30 gradient directions, eight non-diffusion-weighted images, 1.73 mm in-plane resolution, 4 mm slice thickness, and two averages. We excluded scans with extreme motion, noise or other abnormalities, which resulted in 95 remaining scans acquired at gestational age (GA) from 24 to

38 weeks, with 4 to 9 subjects in each week.

Raw data were preprocessed using a pipeline in MRtrix3 that involves denoising, bias removal and volume-to-volume motion correction [12]. Images were then slice-to-volume registered and reconstructed to 1.2 mm isotropic resolution using SVRTK [13]. Diffusion tensors and FA, MD metrics were estimated from the reconstructed data. Fiber orientation distribution (FOD) functions were calculated using constrained spherical deconvolution [14]. Fixel-based analysis (FBA) were performed to obtained fiber density (FD) and fiber-bundle cross-section (FC) maps of subjects [15].

Atlas construction followed an FOD-based registration pipeline. For each GA, the template was initialized by pair-wise registrations between subject FODs [16]. Kernel regression in age were used to calculated the weights of each subject to the corresponding template [17]. Subject FODs were then registered to the template and weighted averaged to obtain an updated template, and the process was repeated 10 times to obtain the final FOD atlas. Diffusion tensor imaging (DTI) atlas were acquired by applying the nonlinear subject-to-atlas warps to diffusion tensors and weighted averaging of subjects at each GA.

Probabilistic tractography were performed in the atlas space to estimate eight major WM tracts including the genu, body and splenium of corpus callosum (GCC, BCC, SCC), cortico-spinal tract (CST), cingulum bundle (Cg), inferior longitudinal fasciculus (ILF), inferior fronto-occipital fasciculus (IFOF) and middle cerebellar peduncle (MCP), and then the tracts were transformed back to subject spaces. The mean FA, MD, FD, FC values along the WM tracts were extracted in subject spaces and fitted over GA from 24 to 38 weeks using beta growth function [18].

Results: A spatiotemporal dMRI atlas of the fetal brain were generated at GA from 24 to 38 weeks in a Chinese population using the proposed pipeline, contained both the DTI- and FOD-based metrics. Compared to the existing fetal brain dMRI atlas that was constructed with tensor-based registration [11], our atlas with FOD-based registration demonstrated more structural details in cortical regions.

Eight WM tracts were successfully traced in the atlas space, which exhibited unique morphological development. Mean FA values of WM tracts decreased until around 30 weeks and then increased toward 38 weeks, and the MD values showed an inverse trend. The turning points of these trajectories were different between WM tracts. FC increased significantly over GA in all tracts while FD first decreased and then increased, with turning points close to those of MD. The turning points of MD follow the order: MCP, Cg, CST, BCC, SCC, IFOF, ILF, GCC.

The decreasing FA and increasing MD in the second to early third trimester may result from the quick volumetric growth (indicated by the increase of FC) and relatively slow axonal organization processes (indicated by the decrease of FD) in these fibers [6, 8]. During the late third trimester when the pre-myelination process starts [8, 19, 20], WM structures matured rapidly, possibly leading to the decreasing MD and increasing FA during this period. The turning points of MD suggested the different maturation times of WM tracts, which agreed with the developmental order of these fiber tracts based on previous studies [21-23].

Conclusion: We generated the first fetal brain dMRI in a Chinese population using an FOD-based registration pipeline. The atlas provided rich information for deciphering the developmental patterns of major WM tracts in the fetal brain.

Key words: fetal brain; diffusion-weighted magnetic resonance imaging; spatiotemporal atlas; white matter

基于 BM 方程拟合的外插磁化转移在缺血性卒中的应用

雍兴旺[1]、鲁珊珊[2]、张祎*[1]
1. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院
2. 南京医科大学第一附属医院

目的：去除化学交换饱和转移 (CEST) 成像中的大分子磁化转移 (MT) 信号的干扰。

方法：使用 Bloch-McConnell（BM）方程拟合出 MT 信号，然后将其从采集到的 CEST 信号中减去。经历 CEST 饱和脉冲的两池系统（水为 a 池，MT 为 b 池）可以用 BM 方程来描述，b 池可以表示为

$dM_{zb}/dt=-R_{rfb}M_{zb}-R_{1b}(M_{zb}-M_{0b})+k_{ab}M_{za}-k_{ba}M_{zb}$

其中 R_{1b} 是 b 池的纵向弛豫速率；k_{ab} 是 a 池向 b 池的交换速率，反之亦然；R_{rfb} 可以是洛伦兹、高斯、或者超洛伦兹线型。迭代求解可以解得水池和 MT 池的相关参数。实验招募了九名缺血性卒中病人，在 3T Siemens Skyra 上进行成像，其中 CEST 成像使用的参数为：频率范围 80~-6ppm，TR/TE=3000/7.2ms，功率为 1uT，1.5uT，2uT，使用以上功率中的一个或者多个采集了数据。采集到的 CEST 图像首先配准到 3.5ppm 对应的帧上，然后进行主磁场不均匀性校正，再进行逐体素拟合，最后用拟合得到的参数计算 $APT^{\#}=Z_{fit}(3.5ppm)-Z_{exp}(3.5ppm)$, $NOE^{\#}=Z_{fit}(-3.5ppm)-Z_{exp}(-3.5ppm)$，其中 Z_{fit} 为拟合得到的 z 谱，Z_{exp} 表示实验采集的 z 谱。

结果：传统方法计算得到的 APTw 图对比度较差，在额叶处有低信号伪影，其和缺血性卒中导致的低信号没有明显差别，使得缺血部位无法分辨。而拟合得到的参数图则可以很好地显示缺血部位，在额叶没有低信号的干扰。统计结果表明：比起功率为 2uT，$APT^{\#}$ 和 $NOE^{\#}$ 参数图在 1uT 时能更好地显示病灶（$P<0.05$）；$NOE^{\#}$ 参数图的对比度比 $APT^{\#}$ 参数图的对比度大（$P<0.05$）。

结论：本文提出了一种能对任意序列采集的 CEST 数据进行拟合的方法。实验结果表明，该方法得到的参数图较传统方法能更好地显示病灶，在 1uT 下，该方法得到的 $NOE^{\#}$ 参数图对比度最大。

关键词：化学交换饱和转移；酰胺质子转移；缺血性卒中

METSC: A Model-driven Transformer for Parameter Estimation in Diffusion MRI Models

Tianshu Zheng[2]、Cong Sun[3]、Guangbin Wang[3]、Weihao Zheng[6]、Wen Shi[3]、Yi Sun[4]、Yi Zhang[1]、Chuyang Ye[5]、Dan Wu*[1]
1. Department of Biomedical Engineering, College of Biomedical Engineering & Instrument Science, Zhejiang University
2. Department of Biomedical Engineering, College of Biomedical Engineering & Instrument Science, Zhejiang University
3. Department of Radiology, Shandong Medical Imaging Research Institute, Cheeloo College of MedicineShandong University
4. Department of Radiology 2MR Collaboration, Siemens Healthcare China
5. School of Information and Electronics, Beijing Institute of Technology
6. School of Information Science and Engineering，Lanzhou University

Objective: Diffusion MRI (dMRI) models play an important role in characterizing tissue microstructures, typically in the form of multi-compartmental biophysical models that are mathematically complex and highly non-linear. Fitting of these models with conventional optimization techniques is prone to estimation errors and requires dense sampling of the q-space. Here we present a learning-based framework of Transformer for estimating microstructural parameters in dMRI models. Specifically, we propose a Model-driven Estimation Transformer with Sparse Coding (METSC) that unfoldes the optimization process through a network and tested

its performance in the intravoxel incoherent motion (IVIM) model with reduced q-space samples.

Methods Transformer Encoder:

The METSC framework can be divided into two parts, a Transformer encoder and a sparse coding deep neural network (SCDNN) decoder. The input of the datasets needs to be processed specifically, which was split into overlapping patches with a step size of 1 in zero-padded images.

SCDNN Decoder:

IVIM model: The IVIM model can be defined as:

$S_b=S\,[(1-f)\,e^{-bD}+fe^{bD^*}]$ [1]

Sparse coding: Inspired by AMICO, the IVIM model is linearized through a sparse-encoding based dictionary learning framework as below:

$y_n=\varphi_n x$ [2]

where y_n are the observed signals in $y=(y_1,\cdots,y_n)^T$; φ_n is a dictionary vector ($\varphi_n \in R^{1\times 2j}$), and x is a vector of the dictionary coefficients ($x \in R^{2j\times 1}$). The dictionary can be established through the discretized D and D*, and the x corresponds to the fraction of f as below:

$\varphi_n=[\varphi_n^{\,D}\ \varphi_n^{\,D^*}]$ [3]

$x=[x_f, x_{1-f}]^T$ [4]

The signals are normalized to the b0 signal and fells into the interval of [0,1], and thus, the three parameters can be reformulated as below:

$f=\sum x_f$ [5]

$D=(\sum D_j\, x_{1-f}^{\,j})/(\sum x_{1-f}^{\,j})$ [6]

$D\text{^}*=(\sum D^*_j x_f^j)/(\sum x_f^j)$ [7]

Network construction: Then the Iterative Hard Thresholding (IHT) method is used to solve this sparse reconstruction problem based on an iterative process as below:

$x^{n+1}=H_M\,[\varphi_n^{\,H} y+(I-\varphi_n^{\,H}\varphi_n)x^n]$ [8]

where, $H_M$denotes the nonlinear operator. Then the SCDNN decoder can be constructed.

Data acquisition: The placental IVIM data were acquired on a 1.5T GE scanner (SIGNA HDXT) from 24 normal pregnant women (gestational age 13-37 weeks) under IRB approval. Diffusion gradients were applied in three orthogonal directions at 10 b-values of 0, 10, 20, 50, 80, 100, 150, 200, 300, 500 s/mm^2 with the following acquisition parameters: TR/TE = 3000/76 ms, in-plane resolution = 1.25×1.25 mm^2, FOV = 320×320 mm^2, 15 slices with a slice thickness of 4 mm.

Training and testing: The dataset was then divided into the training, validation, and testing datasets with a ratio of 6:2:2, resulting in 324016 voxels for training, 116228 voxels for validation, and 131867 voxels for testing. All datasets were split into overlapping patches with a step size of 1 in zero-padded images. [f, D, D*] maps fitted

with a Bayesian method from all b-values then recovered obeying IVIM model, were provided as outputs. All the models were trained using Adam as the optimizer with the total epochs of 2000 and batch size of 512. We used the cosine warm-up method in the first 200 epochs and a reducing learning rate with an initial learning rate of $1x10^{-4}$.

Results (1)Ablation Experiments on Network Architecture

Seven pairs of ablation experiments were performed to evaluated the network performance, including q-Space learning decoder versus SCDNN decoder, Transformer encoder versus convolution encoder, patched versus non-patched image inputs, position encoding versus non-position encoding, different sizes of the training data, different combinations of b-value, and the different number of b-values. From ablation experiments 1-7, we can conclude the optimal METSC structure consists of the Transformer and SCDNN decoder with patched non-position inputs using 5 b-values of 20, 50, 150, 300, 500 s/mm^2.

(2) Performance Evaluation

Effects of SNR. Different levels of noise were added into the signal resulting in SNR levels from 10 to 70, and we evaluated the relative error at the different SNR levels. The results indicated the estimated parameters were relatively robust against noise and an SNR above 40 could ensure optimal accuracy.

Comparison with other algorithms. Four different algorithms were compared, including two optimization-based methods—the nonlinear least square quadratic fitting and Bayesian estimation methods, and two learning-based methods—q-space deep learning and SCDNN (without Transfermer). The METSC demonstrated the best performance among the five methods.

Multicenter validation. We tested the network performance on data acquired on a 3.0T GE 750W in another hospital with the same acquisition protocol. The estimation errors were slightly elevated on the multicenter data, but still sufficient for parameter estimation with only 5 b-values and outperformed the other methods.

Conclusion: In this work, we proposed a novel model-driven Transformer with sparse coding to address the large training data requirement of ViT by introducing model-based inductive bias into the network. This is the first time Transformer architecture is used for parameter estimation in medical imaging. Compared with the conventional optimization methods and the state-of-the-art learning-based methods, the proposed METSC method achieved higher accuracy in estimating the IVIM model parameters of the human placenta with a reduced number of b-values.

Key words: Diffusion Models; Deep Learning; Transformer; Parameter Estimation

基于磁声效应的肌肉刺激电流无创分布检测

张顺起、买文姝、王玉恒、殷涛、刘志朋 *

中国医学科学院北京协和医学院生物医学工程研究所

目的：电刺激是被广泛应用的神经调控与康复治疗的有效手段。其基本原理是对组织施加刺激电流，在组织内部形成电场分布，组织内电场在特定深度超过神经的兴奋阈值时，细胞膜对离子的通透性发生变化，

形成动作电位，实现神经兴奋性的调节和控制。但是由于组织的电特性参数分布复杂，电导率的各向异性，导致电刺激电流在组织中的分布情况未知，而刺激电流在组织中的分布尚缺少实时监测的方法和手段。

方法：本研究提出基于磁声耦合的电刺激电流的检测方法，通过对组织外加磁场，组织内部电流在洛伦兹力作用下形成振动，产生声波，通过声学测量方式，即可提取组织电流分布。该方法的有点在于声波沿直线传播，克服了电流的弥散效应，有利于提高测量的空间定位分辨精度。本研究采用正弦波作为刺激信号，施加于组织仿体，激励频率为 20kHz，仿体电导率为 0.53 S/m，采用高精度声探头（10Hz-20kHz）进行检测。

结果：测量磁声信号幅度随激励幅度线性变化，当激励信号由 2Vpp 增加至 20Vpp，磁声信号幅度由 0.027-0.27V 线性变化。同时测量相位波动在正负 10° 之内。表明测量磁声信号与激励电压 / 电流呈现线性对应关系，由此说明磁声信号体现了刺激电流的强度。同时对样本不同位置进行测量结果显示，电极区域刺激电流产生的磁声信号幅度强于非电极区域的磁声信号，与仿真结果一致，初步验证磁声耦合方法进行电流分布测量的可行性。

结论：本研究提出的新型基于磁声效应的刺激电流分布检测方法，实现了刺激电流强度和分布的检测。对发展高检测精度电刺激电流成像方法，提高刺激靶向性提供重要依据。

关键词：磁声耦合；刺激电流；无创检测；电流分布

基于自监督深度学习的超声平面波双向动态聚焦成像方法

陈胤燃[1]、刘敬[2]、罗雄彪[1]、罗建文*[2]

1. 厦门大学信息学院计算机科学与技术系

2. 清华大学医学院生物医学工程系

目的：本文提出一种自监督深度学习方法在超声平面波成像中实现双向动态聚焦，提高图像质量。平面波是超快速超声成像主要方法，它以牺牲图像质量为代价来提高帧频，主要表现在因缺少发射聚焦而导致图像分辨率和对比度下降[1]。本文基于超声平面波通道数据和合成发射孔径的完备数据集之间的线性关系，构建了一个自监督网络用于训练出一组优化的平面波发射变迹系数，并获取对应的完备数据集，在高帧频的平面波成像中实现双向动态聚焦。

方法：该网络由用于训练平面波发射变迹系数的编码网络 BinaryConnect，和堆叠降噪自编码器（Stacked Denoising Autoencoder, SDA）所构成的解码网络级联而成[2][3]。网络的输入数据和输出数据均为合成发射孔径的完备数据集，每个输入的数据为 128 维的向量，对应具有 128 阵元的线阵探头。编码网络输出端节点数等于所需的平面波发射次数（如 32 次，4 倍帧频提升），其二值化权重在成像时作为平面波的发射变迹系数。获取的通道数据则作为 SDA 解码网络的输入，并在输出端获得对应的完备数据集。完备数据集能够确保发射端的动态聚焦。最后采用延时 - 叠加波束合成算法实现接收端的动态聚焦，从而在无聚焦的平面波成像中实现双向动态聚焦，提高图像质量。

结果：本研究在 Verasonics 系统上运行合成发射孔径成像序列，在一个标准仿体上采集 RF 通道数据形成完备数据集用于训练。然后将二值化权重用于平面波成像序列，采集一名健康志愿者的左侧颈动脉横截面数据。实验结果表明，该方法与其他高帧频成像方法对比[4]，不仅保持双向动态聚焦效果下的横向分辨率，还在对比度评价指标 gCNR 上提升了约 0.35。而相比于合成发射孔径成像[5]，在 4 倍帧频提高下，达到了基本一致的横向分辨率和 gCNR。

结论：本文提出的自监督深度学习网络能够在平面波成像中提高图像质量，为高帧频、高质量超声成像提供了一种新的思路和方法。

关键词：超声；深度学习；波束合成；平面波；自监督

3D Spatial Positioning by Binocular Infrared Cameras

Yi Gong[1]、Shi Yu[1]、Han Li[1]、Zehao Wang[1]、Dongyun Liu[1]、Jie Tang[2]、Baiquan Su*[1]
1. 北京邮电大学
2. 首都医科大学宣武医院

Abstract: The calibration of binocular infrared camera is a key step to realize the positioning of infrared camera. The existing methods of binocular camera calibration are not suitable for infrared camera, so it is necessary to study the methods of binocular infrared camera calibration and positioning. In this paper, a calibration and positioning method of binocular infrared camera is proposed, and the infrared positioning of two kinds of objects is completed by using this method. Firstly, a special temperature calibration system is used to collect the images for binocular calibration, then the center point detection algorithm and Zhang's calibration method are used to process the infrared calibration image to obtain the internal and external parameters of the binocular infrared camera. The calibration error is compared with that of binocular visible camera to prove the feasibility of the binocular infrared camera calibration. Secondly, according to the calibrated parameter matrix of the binocular infrared camera, symmetrical circle calibration object detection algorithm and coordinate transformation are carried out for the distortion correction images to achieve infrared positioning of different objects, and the positioning error is obtained. The results show that the calibration method of binocular infrared camera is feasible, and it has more functions than the traditional calibration method.

Key words：binocular infrared camera; infrared calibration; infrared positioning

非病变乳腺组织的影像基因组学分析：一种可解释的深度学习框架

梁健文[1]、田木[1]、牟天[1]、高毅*[1,2,3,4]、张赛[1]
1. 深圳大学
2. 鹏城实验室
3. 深圳市恶性血液病精准诊疗重点实验室
4. 马歇尔生物医学工程实验室

目的：组织内的转录本表达丰度在不同个体之间存在差异，通过深度学习的方法建立基因型与影像表型之间的联系，是影像基因组学领域的前沿问题之一。虽然有许多关于单一肿瘤的报道，但少见关于非病变组织的影像基因组学研究。本研究旨在深入探讨非病变乳腺组织病理图像特征的异质性及其与转录本表达的相关性。采用多模态数据，运用深度学习方法对非病变组织在不同个体之间的图像特征异质性进行评估分类，并运用生物信息学方法筛选出具有图像特征特异性表达的基因。

方法：本研究分析了 GTEx 数据库中 456 个样本的乳腺组织病理图像和转录本测序数据，构建了一种可解释的深度学习框架：

1. 病理图像处理：利用基于鲁棒统计量的 K-Means，以及基于水平集的轮廓演变方法将图像中腺体组织以及细胞核分割出来，并且利用变分的方法计算细胞核的形态特征。

2. 样本聚类：根据细胞核形态特征，利用深度聚类对样本进行聚类。

3. 特异性基因筛选：根据样本类别拟合基于过离散泊松分布的广义线性模型，再利用两个鲁棒统计量寻找影像特征特异性表达的基因。

结果：图像中腺体组织以及细胞核被分割出来，并且计算了细胞核的大小，形状，颜色，间距共 21 个特征。深度聚类将样本分为 4 类。差异表达分析算法根据鲁棒 t 检验 p 值小于 0.05 以及卡方检验 p 值大于 0.1 为阈

值，筛选出只在特定形态特征类别具有特异性表达的基因集：细胞核小（578 个）、颜色浅（487 个）、细胞核大（2023 个）、颜色深（425 个）。每个基因集按 t 统计量排名前 25 的基因用来做通路分析，并找到一系列通路，如“Activation of C3 and C5”。

结论：非病变乳腺组织在细胞核的形态以及转录组表达上存在差异。本研究提出的深度学习框架可定量评估细胞核形态特征，并识别与细胞核形态特征相关联的基因，为解决组织中基因表达如何与组织形态和下游组织表型相关的问题提供了理论依据。

关键词：非病变乳腺组织；影像基因组学；深度学习框架；生物信息学

Anal Center Detection with Superpixel Segmentation

Zehao Wang[1]、Yi Gong[1]、Shi Yu[1]、Han Li[1]、Dongyun Liu[1]、Mingcheng Li[2]、Baiquan Su*[1]

1. 北京邮电大学

2. 北京大学第三医院

Abstract: Anal center detection is of great significance for the diagnosis of anorectal diseases, for accurate anal center detection can help gastrointestinal (GI) robot enter the human body automatically and check the patient's anal and lower intestinal diseases, which is the first step to realize autonomous diagnosis. However, there is no available result on the anal center detection. In this work, the superpixel method is employed to find the anal center. In the first step, the collected image dataset is expanded through the data augmentation method. In the second step, we use the superpixel segmentation method, a machine learning algorithm, to segment the image by pixels with similar features in the image. Then we determine the region of interest (ROI) based on the threshold and the size of the connected region. After that, the gray barycenter method is used to determine the center of gravity of the ROI i.e., the anal center. The ground-truth anal center is obtained by the average of the anal center coordinates determined by ten anorectal surgeons. By the proposed algorithm, it is found that the ROI detected in 70.59% of the images in the dataset includes the anal center, and the positioning accuracy of the anal center is 88.87% averagely. Thus, the method can provide the anal center for GI robot.

Key words： anal center; diagnosis; image-guidance; medical robot autonomy; superpixel segmentation

一种适用于颅脑 EIT 血管造影成像的电阻抗造影剂研究

章伟睿、张涛、刘学超、冯自立、付峰、徐灿华 *

空军军医大学军事生物医学工程学系

探索一种适用于颅脑血管造影成像的电阻抗造影剂，用以提升脑部电阻抗成像的敏感度和对比度，为颅脑损伤 EIT 早期检测鉴别研究提供基础。首先通过电特性测量初步筛选出阻抗频谱特性稳定且与血液电导率相差较大的造影剂材料，再通过家兔颈动脉和耳缘静脉注射造影剂实验对 EIT 灌注成像有效性进行验证，筛选出合适的电阻抗造影剂。结果表明，碘佛醇和 5% 葡萄糖溶液在 10Hz-100kHz 频率范围内与血液的电导率差稳定在 10 倍以上，在家兔颅脑 EIT 灌注实验中也显示出较高的造影成像质量。本文筛选出的两种电阻抗造影剂在家兔颈动脉和耳缘静脉灌注实验中均可有效显示颅脑血管分布情况，为后续电阻抗增强造影灌注成像实施规范的建立打下基础。

关键词：电阻抗断层成像；电阻抗造影剂；阻抗频谱特性；颅脑血管增强造影

受主磁场不均匀性影响下的化学交换饱和转移成像饱和方案的研究

刘瑞斌[1]、丁秋萍[1]、徐义程[2]、孙毅[2]、吴丹[1]、张祎*[1]

1. 浙江大学 生物医学工程与仪器科学学院

2. 上海西门子医疗器械有限公司

目的：化学交换饱和转移（CEST）成像因使用非对称性分析而对主磁场不均匀性非常敏感，同时，饱和方案的选取也是影响 CEST 成像质量的关键因素。在本工作中，我们研究了在受主磁场不均匀性影响条件下，不同饱和方案如饱和脉冲波形、脉宽、扰相梯度的选取对 CEST 谱的质量的影响。

仿真：利用两池 Bloch-McConnell（BM）方程仿真生成 CEST 谱（包括 z 谱、MTRasym 谱）。具体来说，仿真测试四种总饱和时间为 1 秒的组合，包括：① 10 个 100 毫秒脉宽的饱和脉冲，无脉冲间扰相梯度；② 10 个 100 毫秒脉宽的饱和脉冲，有脉冲间扰相梯度；③ 5 个 200 毫秒脉宽的饱和脉冲，无脉冲扰相梯度；④ 5 个 200 毫秒脉宽的饱和脉冲，有脉冲扰相梯度。此外，仿真采用矩形脉冲或高斯脉冲波形、以及是否引入主磁场不均匀性，则共计可产生 16 种 CEST 饱和方案组合。

实验：上述 CEST 饱和方案分别在水模和人脑进行测试，实验数据采集在 3T 西门子 Prisma 磁共振平台进行。

结果：仿真结果表明，高斯脉冲得到的 CEST 谱比矩形脉冲所得到的 CEST 谱更平滑。理想状态下（即不存在主磁场不均匀性），使用较长脉宽的 CEST 饱和脉冲以及扰相梯度可以显著降低矩形脉冲所得到的 CEST 谱的异常振荡。 而存在主磁场不均匀性时，高斯脉冲所生成得 CEST 谱依然平滑；但对于矩形脉冲，只有使用 200ms 脉宽、有脉冲间扰相梯度的饱和方案才能得到平滑的 CEST 谱。水模和人脑的扫描实验结果与仿真结果一致，当存在主磁场不均匀性时，所有使用高斯脉冲的饱和方案中均可得到合理的 CEST 谱，而矩形脉冲只能在使用 200ms 脉宽、有脉冲间扰相梯度的饱和方案中才能得到合理的 CEST 谱。

结论：与矩形脉冲相比，高斯脉冲对各种饱和方案具有显著的鲁棒性；在总饱和时间相同时，脉宽对 CEST 谱的质量有重要影响；脉冲间扰相梯度是保证高质量 CEST 成像的关键。

关键词：化学交换饱和转移；饱和脉冲；扰相梯度；主磁场不均匀性

Free-breathing self-gated continuous-IR spiral T1 mapping: A comparison of dual flip-angle and Bloch-Siegert B1-corrected techniques

Ruixi Zhou*[1]、Yang Yang[2]、Junyu Wang[3]、John P. Mugler[3]、Michael Salerno[3]

1. 北京邮电大学

2. Icahn School of Medicine at Mount Sinai, New York, NY, United States

3. University of Virginia, Charlottesville, VA, United States

Objective: To develop a B1-corrrected single flip-angle continuous MRI acquisition with free-breathing and cardiac self-gating for spiral T1 mapping (1FA+B1), and compare it to a previously proposed dual flip-angle technique (2FAs)[1].

Methods: Experiments were performed at 3T (Prisma/Skyra, Siemens Healthineers) in a T1MES phantom[2] and 18 human subjects (3 healthy volunteers and 15 clinical patients). Healthy volunteers only underwent pre-contrast scans, while patients received a gadolinium-based contrast agent during the scan to perform both pre- and post-contrast acquisitions. Data were continuously acquired using a dual density spiral-out trajectory, rotated by the golden angle (137.5°) in time. During the first 2 seconds, off-resonance Fermi RF pulses were applied to generate a Bloch-Siegert (BS) shift B1 map[3], and the subsequent data were acquired with an inversion recovery

(IR) RF pulse applied every 4 seconds. Self-gating cardiac triggers were extracted from a sliding-window heart image navigator. Respiratory motion correction was performed by rigidly registering the original image with its corresponding synthetic image that is generated from principal component analysis, as they shared similar image contrast. Then, the T1* map was obtained by fitting the 3-parameter model using dictionary-learning[4] reconstructed images. The final T1 map was generated from the B1 and the T1* maps using a look-up table that accounted for slice profile and B1 effects, yielding more accurate T1 values. T1 values were compared to those from IR spin echo (phantom only), MOLLI[5], SASHA[6] and 2FAs[1] techniques. For BS B1 mapping, parameters included: Fermi pulse duration = 8 ms, off-resonance shift = ±4 kHz, K_{BS} = 79.73 rad/G^2, $B_{1,peak}$ = 0.0544 G; FOV = 340×340 mm^2, spatial resolution = 10 × 10 × 8 mm^3, TR/TE = 40.2/9.14 ms, flip angle = 15°. For T1* mapping, parameters included: TR/TE = 8.35/1.45 ms, RF pulse TBW = 5.4, FOV = 340×340 mm^2, spatial resolution = 1.5 ×1.5 × 8 mm^3, flip angle = 3°.

Results: The proposed technique showed good agreement with the "gold-standard" IR spin-echo results in the phantom experiment, with the highest bias for the longest T1 tube less than 5%. For in-vivo studies, in terms of the myocardium T1 values, both the proposed technique and the previously proposed dual flip-angle method were more similar to SASHA results than to MOLLI results. MOLLI is known to underestimate T1 values, especially in pre-contrast studies.

Conclusion: In a single acquisition, a free breathing Bloch-Siegert shift B1 map, and a self-gated B1 and slice profile corrected T1 map were acquired. This technique was compared to our prior dual flip-angle approach and yielded more accurate T1 values in the myocardium.

Key words: cardiac MRI; T1/B1 mapping; spiral trajectory; cardiac self-gating; free-breathing

改进边缘指示函数的 GAC 模型在肾脏 CT 图像分割中的应用

全美霖[1]、陈曦[2]、邓小波[2]、何柯辰[2]、刘奇*[1]

1. 四川大学生物医学工程学院

2. 四川大学电气信息学院

目的：几何活动轮廓模型主要分为边缘模型和区域模型。CV(Chan-Vese) 模型是较为典型的区域模型，CV 模型以图像的区域信息作为驱动促使曲线演化，在没有明显边缘的图像上可以取得较好的分割结果，但对异质区域的分割效果较差。测地线活动轮廓 (Geodesic active contour，GAC) 模型是边缘模型的一种。

本文结合肾脏的灰度特征和梯度特征，提出了一种改进的 GAC 模型，目的是优化梯度的计算，突出肾脏边缘的梯度，解决传统 GAC 模型的边缘指示函数无法定位形状较为复杂、具有较深凹陷的肾脏组织的问题，并准确分割出 CT 图像中的肾脏。

方法：1. 基于人体解剖知识，初步定位肾脏所在的 ROI

2. 在 ROI 内对肾脏图像进行梯度计算、自动阈值分割、连通域标记等处理，提取初始轮廓

3. 优化梯度的计算方式并改进了传统 GAC 中的边缘指示函数，将经优化后的梯度作为边缘指示函数的输入

4. 曲线演化分割出肾脏区域

结果：将改进边缘指示函数的 GAC 模型应用在 4 个不同的 CT 序列上，每个序列上的 DSC 系数分别为：0.9724，0.9649，0.9841，0.9856，IOU 系数分别为：0.8977，0.8740，0.9393，0.9448，所有指标均高于其他模型且没有出现分割失败的情况。

实验结果表明，与其他水平集模型的对比，使用该模型分割出来的结果更接近于人工分割结果。

结论：本文基于人体解剖知识，初步定位肾脏所在的 ROI，并在 ROI 内对肾脏图像进行梯度计算、自动阈值分割、连通域标记等处理，提取了初始轮廓，解决了传统 GAC 对初始轮廓位置敏感的问题；本文结合优化梯度改进了传统 GAC 中的边缘指示函数，解决了传统的边缘指示函数无法正确指示出形状复杂的目标区域边界的问题，提高了模型的分割精度及对复杂目标的鲁棒性。

关键词：水平集；图像分割；测地线活动轮廓

侧脑室容量与阿尔茨海默病相关性验证

李嘉欣、胥云智、赵立 *

浙江大学生物医学工程与仪器科学学院

目的：有研究认为，脉络丛分泌脑脊液的减少使得大脑自我清洁机制失效，进而导致 Amyloid-beta 沉积[1]。我们前期研究发现 AD 患者脉络丛体积显著大于正常人群[2]，这一现象可能与脑脊液分泌减少和过补偿相关。但同时，已有研究证实 AD 患者存在包括脑室扩张等脑结构变化[3]。因此，脉络丛增大与脑室增大之间的关系值得进一步探索。本文在前期脉络丛测量数据基础上，利用深度学习算法测量侧脑室体积，进而为进一步分析对比建立基础。

方法：我们在竞赛数据集[4]基础上，对 35 个正常人侧脑室标注完成进一步人工修正，并以此为金标准，训练深度学习脑室分割模型。进而，在 Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative（ADNI）数据集（136 例 AD，188 例 Mild Cognitive Impairment，MCI，409 例 Cognitively Normal，CN）分割和测量侧脑室。对模型测量的各组脑室容量，我们使用单因素方差分析（One-Way ANOVA）和 Tukey 统计检验。

结果：脑室分割模型在竞赛数据集中的 5 折交叉验证平均 Dice 系数为 0.8540，这说明侧脑室分割结果与人工标注基本一致。ADNI 数据集中，AD、MCI 和 CN 三个组的脑室容量分别为 41447±22395mm^3，36047±21616mm^3，28946±17139mm^3。单因素方差分析的检验统计量表明至少有两个组之间的脑室容量存在差异（F=24.12，P<0.001）；AD、MCI 和 CN 三个组之间两两均数比较的 Tukey 检验 P 值均小于 0.05，证明三个组的脑容量互相之间均存在统计学差异。

结论：本文建立脑室分割的深度学习模型，并用于 AD、MCI 和 CN 侧脑室容量测量。结果表明三组人群侧脑室容量依次递减，且存在统计学差异。这一结果与前期研究一致，将为进一步探索脉络丛在阿尔茨海默病中的变化提供技术基础。

关键词：阿尔茨海默病；侧脑室容量；深度学习

基于正 - 未标记生成对抗网络与改进 U 形网络的磁共振图像智能重构方法研究

原枕谋、李琳、张蔚、蒋明峰 *

浙江理工大学

目的：磁共振成像（Magnetic Resonance Imaging，MRI）速度缓慢的缺点限制了其在临床上的应用，因此研究如何减少采集，加速磁共振成像具有重要意义。

方法：本文提出了一种联合 PUGAN 与改进 U-net 的 MRI 重构方法，该方法使用 PUGAN 损失代替原始的 GAN 判别器损失，将原始判别器的正 - 负分类转换为正 - 未标记分类，提高了网络训练的稳定性。在原始

U-net 中嵌入残差稠密块和卷积注意力模块，残差稠密块通过稠密的跳跃连接增强了网络的拟合能力，卷积注意力模块使得网络可以在空间和通道两个维度上获得注意力。

结果：本文方法的重构平均峰值信噪比较 RASA-GAN 提高了 0.6351 到 1.2848 不等。同时，消融实验结果也表明了本文方法各个组成部分对重构质量改进具有明显效果。

结论：本论文为磁共振成像快速重构探究一种新方法，减少了图像重构误差，提高了重构精度，增强了重构 MRI 的纹理细节。

关键词：磁共振图像；图像重构；生成对抗网络；注意力机制；残差稠密网络

头部固定的清醒小鼠全脑超快光声成像

任星星、金天、奚磊 *

南方科技大学

目的：研究清醒小鼠大脑活动是非常必要的，特别是在其受到外界刺激时。然而，现有的小鼠大脑活动研究成果只是针对麻醉状态下的小鼠或者是清醒小鼠大脑的局部区域，目前仍缺乏可行并且有效的系统能够对清醒小鼠全脑进行超快成像。针对该亟待解决的问题，我们设计了一种可实现头部固定的清醒小鼠全脑超快光声显微成像系统。

方法：将超快便携的光学分辨率光声显微镜（ultrafast portable photoacoustic microscopy，p-ORPAM）和自制的气流悬浮球系统以及自制的小鼠头部固定支架结合，设计并实现了一种可以用于头部固定的清醒小鼠全脑（直径 =9 毫米）的超快（5 秒 / 帧）光声显微成像系统。针对该系统，设计了足底电刺激实验，观察小鼠在受到足底电刺激前后整个大脑皮层血管的变化，以验证该系统的可行性、稳定性和实用性。

结果：利用我们设计的成像系统可以成功且稳定地观察到以下现象：足底电刺激可诱发脑激活，并且脑激活程度在一定范围内与刺激电流的大小呈正相关；足底电刺激可诱发大脑皮层特定区域激活；左右爪足底电刺激顺序与大脑两侧激活顺序存在对应关系。

结论：我们设计的用于头部固定的清醒小鼠全脑超快光声显微成像系统具有可行性、稳定性和实用性，能够稳定地观察到电刺激诱发的脑激活。基于该结果，我们还可以利用该系统研究其他刺激对清醒小鼠全脑的激活，深入研究外界刺激与脑激活之间的复杂关系，最终实现血量量级的全脑功能区域划分，为深入研究血管之间的相互作用与联系和大脑的复杂功能提供一种新的途径。

关键词：光声成像；清醒小鼠；全脑超快成像

高功能儿童青少年孤独症谱系障碍患者的海马亚区体积研究

孙芬芬 [1]、陈悦 [1]、庞佳楠 [1]、赵智勇 *[2]

1. 绍兴文理学院大脑、心智与教育研究中心

2. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院

目的：海马内部结构复杂，包含多个亚区。尽管有研究报道孤独症谱系障碍（autism spectrum disorder, ASD）患者的海马体积过度增长，然而，尚未有人关注 ASD 患者海马内部亚区的体积变化，且这种改变在儿童和青少年时期是否存在差异仍不清楚。因此，本研究拟探究高功能儿童青少年 ASD 患者海马亚区体积的改变及其与临床症状的关系。

方法：从孤独症脑成像数据库（ABIDE）下载了 1081 个被试的 T1 加权磁共振图像和孤独症诊断访谈量表（ADI-R）的评分。随后筛查出 182 个高功能 ASD 患者（81 个儿童和 101 个青少年）和 213 个匹配的健

康对照。使用 FreeSurfer 6.0 对所有被试的海马进行分割，得到左右半球各 12 个亚区。排除掉白质区域以及体积较小的亚区，最终关注的亚区包括海马尾部、CA1、CA2/3、CA4、subiculum、presubiculum、molecular layer (ML) 和 granule cell layer of the dentate gyrus (GC-DG)。采用线性混合模型，以灰质体积为因变量，组别为自变量，年龄、性别、智商和全脑灰质体积为协变量，站点为随机因子，比较 ASD 组和对照组在海马及其亚区体积上的差异，并评估海马及其亚区体积与 ADI-R 量表评分的关系。

结果：相比对照组，ASD 儿童青少年右侧的整体海马、presubiculum、subiculum 和 GC-DG 的体积显著增大。然而，ASD 儿童组和青少年组相比各自的对照组在海马及其亚区的体积并未表现出显著的变化。此外，ASD 青少年的左侧 presubiculum 体积和患者的社交功能呈负相关。这些结果均通过了 FDR 校正（$p<0.05$）。

结论：ASD 儿童青少年患者的海马显示出亚区特异性的体积增大，这种改变在儿童和青少年时期未显示出差异，且 presubiculum 的体积增大也许是 ASD 青少年患者的生物学标记。

关键词：海马亚区；孤独症谱系障碍；灰质体积；儿童青少年

基于悬浮染色的液基细胞无透镜显微彩色成像

谢俊杨[1]、陈承燕[2]、卢大骅[2]、杨程*[1]

1. 南京大学电子科学与工程学院
2. 南京九川科学技术有限公司

宫颈癌作为全球第四大常见癌症，严重危害到全球女性身体健康。液基薄层细胞检测（TCT）作为使用最广泛的宫颈病变筛查技术之一，相比于巴氏涂片细胞学，其能有效提升检出率，对控制宫颈癌新发病例具有重大意义。针对液基细胞检测，基于 4 亿像素规模 500 纳米像素尺寸成像芯片，本文提出了一种新的方法学与工具，基于液基细胞悬浮染色的无透镜彩色显微成像装置。本文提供了一套完整的液基细胞悬浮染色方法，配合自主研发的无透镜彩色显微仪，能够对宫颈细胞样本进行全视野的彩色显微观察。而现有方法须使用玻片扫描仪配合显微镜才能够达到同等功能。本文研发的显微仪可以大大降低宫颈病变筛查成本并提升筛查装置便携性，也推进了医疗下沉与数字化病理的进程。

关键词：宫颈病变筛查；液基薄层细胞检测（TCT）；悬浮染色；无透镜彩色显微；大视野

基于光声显微成像的脑肿瘤研究

宫辛睿、金天、奚磊*

南方科技大学

目的：脑肿瘤对人体有极大危害，严重者可能出现偏瘫、失明等情况。由于受到促血管生长因子的调控，肿瘤区域血管生长极为迅速，但血管层次性极差，表现出分支量多、形态扭曲等特征 [1]；同时，肿瘤区域神经血管偶联机制易被破坏，表现出脑功能失调等特征 [2]。然而，当前的神经影像方法难以同时于结构和功能层面对脑肿瘤进行分析。因此，我们采用旋转式扫描光声显微镜对小鼠全脑进行成像，并对血管网络的结构及功能进行分析。

方法：我们使用基于旋转式扫描的光声显微镜 [3] 对小鼠脑部血管网络进行成像。光声显微镜具有 10μm 的横向分辨率、直径 10mm 的成像范围、5 秒每帧的成像速度，可对小鼠全脑范围内毛细血管进行高分辨率成像。实验中，我们使用 U87 细胞建立小鼠脑肿瘤模型，并与正常小鼠对照分析。其中，我们对荷瘤小鼠脑血管网络各项参数进行定量提取并与正常小鼠对照，分析脑肿瘤引起的结构性畸变；同时，我们监控

荷瘤小鼠由肢体电刺激引起的区域性脑激活并与正常小鼠对照，分析脑肿瘤引起的功能性紊乱。

结果：我们发现，从小鼠脑血管网络的结构上分析，荷瘤小鼠相比于正常小鼠，血管数量明显增加，血管占全脑信号比例增加，脑血管对称性较差，血管较混乱，且由于局部缺氧肿瘤中心区域无血管存在。从功能上分析，正常小鼠受到电刺激后有较明显的双侧响应，但荷瘤小鼠带肿瘤的脑半球响应微弱，表现出肿瘤区域神经血管失偶联的现象。

结论：脑肿瘤会引起脑血管网络的结构的畸变，肿瘤区有较为明显的血管增生，肿瘤中心区域无血管信号；同时，脑肿瘤会引起脑血管网络功能的紊乱，肿瘤区表现出神经血管失偶联现象。旋转式扫描光声成像系统对于脑疾病的结构和功能分析有着独特的优势。

关键词：脑肿瘤研究；光声显微成像；功能性成像

基于电磁拓扑结构的增强型微波致热超声成像研究

刘强[2]、梁笑[2]、李婷婷[1]、巢伟安[1]、齐伟智[1]、金天[1]、宫玉彬[3]、蒋华北[4]、奚磊*[1]

1. 南方科技大学生物医学工程系
2. 南方科技大学生物医学工程系
3. 中国电子科技大学电子科学与技术学院
4. 美国南佛罗里达大学医学工程系

目的：现代生物医学工程和技术迅猛发展，多学科间催生了不同成像原理的生物医学影像和治疗技术，但是针对肿瘤成像的技术需求仍迫在眉睫。对比现阶段常用的三种针对肿瘤的成像技术，X 射线计算机断层扫描成像、核磁共振成像以及超声成像，可以发现这些技术都存在自身的固有局限性。微波致声成像拥有较大穿透深度、高图像分辨率和对比度，该技术结合了微波成像和超声成像二者的优点。微波致声成像 (MTAI) 技术可应用于组织介电特性分布成像研究中，依据生物组织在不同生理及病理条件下微波吸收特性差异，实现非入侵式、高分辨率和高对比度的医学无损检查，在在体肿瘤成像方面有潜在的医学应用价值。尽管 MTAI 在可视化生物组织的介电、电导特性方面具有重要意义，但如何在生物组织中无标记地实现对微波的精确操控和能量的有效沉积以增强 MTAI 中的图像对比度无疑仍然是一个巨大的挑战。

方法：有鉴于此，我们研究了使用具有亚波长特征的电磁拓扑结构以实现增强型的 MTAI，这里的结构包括开口环谐振结构（SRR）和互补开口环谐振结构（CSRR）。基于 MTAI 的实验结果证实了前期基于有限元方法的数值模拟结果。

结果：特别地，SRR 拓扑型结构展示出较高的浓度灵敏度，针对氯化钠浓度的仿体实验显示其灵敏度达到 0.4%。另外，我们还应用 CSRR 拓扑型结构开展了在体 MTAI 实验，研究显示 4T1 荷瘤小鼠肿瘤区域的成像对比度的增强倍数高达 8。最后，我们还围绕 CSRR 拓扑型结构在提高微波在组织中的穿透深度进行了动物离体实验。

结论：考虑到电磁拓扑结构的其他特性，如具有降低微波源的峰值功率的潜力，可穿戴、便携、可植入以及适合长期监测等，基于电磁拓扑结构的增强型微波致热超声成像可能在包括疾病筛查、肿瘤深度定位和无线药物释放等生物医学领域有较广泛应用。

关键词：微波致热超声成像；电磁拓扑结构；对比度；浓度检测；肿瘤成像

青年学者 - 青年优秀论文复赛

基于引导滤波结合直方图均衡的数字乳腺图像增强方法

刘明睿 李翰林 孙宁宁 喻春雨 *

（南京邮电大学 电子与光学工程学院、微电子学院，江苏 南京 210023）

提出一种数字乳腺图像的增强方法，该方法首先通过开运算提取图像特征细节，然后将特征细节反向叠加到原图像，再利用引导滤波加强图像的边缘细节，最后采用对比度受限直方图均衡化 CLAHE 对滤波后的图像进行增强。相比较单一使用对比度受限直方图均衡化 CLAHE 进行图像增强，所提出方法对数字乳腺图像增强在增强评价指标 EME 上提高 41%、空间频率 SF 上提高 40%，在边缘内容 EC 与清晰度上提高 52%。

关键词：数字乳腺图像增强；直方图均衡化；引导滤波；增强评价指标

Ultrasound Speckle Dynamic Analysis-based Velocimetry

Jianbo Tang[1*] Thomas L. Szabo[2] David A. Boas[2]

[1]（*Department of Biomedical Engineering, Southern University of Science and Technology, ShenZhen, China*）

[2]（*Department of Biomedical Engineering, Boston University, USA*）

Abstract: We present a high-speed, contrast free, quantitative ultrasound velocimetry (vUS) for blood flow velocity imaging of the whole coronal section of rodent brain, complementing the power/color Doppler-based functional ultrasound imaging (PD/CD-fUS) and the ultrasound localization microscopy velocimetry (vULM). The vUS theory is based on mathematical modelling and analysis of the normalized first order temporal autocorrelation function of the ultrasound field signal. Results from numerical simulation, phantom experiments, and in vivo tests demonstrated that the flow velocity in both transverse and axial directions can be accurately reconstructed with vUS, showing the advantage over the existing PD-fUS and CD-fUS. We further demonstrated the functional imaging ability of vUS by monitoring blood flow velocity changes during whisker stimulation in awake mice.

Key words: ultrasound speckle analysis; functional ultrasound; color Doppler; power Doppler; blood flow; brain imaging

Opponent Coding of Sound Locations in Human Auditory "Where" Pathway

Liwei Sun, Songjian Wang, Chunlin Li, Xu Zhang*

[1] (School of Biomedical Engineering, Capital Medical University, Beijing, 100069, China)

Abstract: It has been suggested that Human auditory "where" pathway encodes sound locations by integrating neuronal population activities from bilateral auditory cortices with opposite hemifield tuning. However, neural representation of locations was not well understood in other parts of the "where" pathway. Here, we investigated population coding of locations in downstream parietal and prefrontal regions with functional magnetic resonance imaging (fMRI). We found that the opponent coding of sound locations was not only present in the auditory cortex, but also distributed all over the "where" pathway. The current result supports the opponent channel model as a general mechanism of spatial coding in the auditory system.

Key words: auditory; fMRI; opponent coding; sound localization

Forward model-based multiple aperture synthesis: a novel approach for aberration correction in optical coherence tomography

Ge Xin

(*Institute of Biomedical Engineering, Shenzhen Bay Laboratory, Gaoke International Innovation Center, Shenzhen*)

Abstract: In optical coherence tomography, aberrations could be caused by both the imaging system and the sample, which deteriorate the spatial resolution. We demonstrate that these aberrations can be effectively compensated by combining the forward-model based method and multiple aperture synthesis. The former is effective to compensate the defocus aberration, which mainly restores the transverse resolution; the latter is complementary to the former in dealing with the aberrations in the depth domain, caused by both the optical system and the sample. The experimental results show the feasibility of FM-MAS-OCT to restore the images of the microparticle phantom and render sharper and brighter human blood cells *in vivo*.

Key words：forward model; aberration correction; optical coherence tomography

一个面向大规模数字前列腺病理图像计算分析平台

黄浩梵[1] 张赛[1] 李雪[1] 陶丽丽[2] 高毅[1,3,4,5*]

[1]（深圳大学医学部生物医学工程学院，深圳 518060）

[2]（北京大学深圳医院病理科，深圳 518036）

[3]（深圳市恶性血液病精准诊疗重点实验室，深圳 518060）

[4]（马歇尔生物医学工程实验室，深圳 518060）

[5]（鹏城实验室，深圳 518066）

目前诊断前列腺癌的标准程序是对前列腺粗针活检图像进行组织病理学评估，评估过程包括肿瘤区域的确定、格里森分级和某些影响预后的关键特征识别，这样的过程不仅枯燥耗时，而且容易发生观察者内部 / 观察者间的变化。计算组织病理学是一个快速新兴的领域，通过将高分辨率全幅切片图像数字化，开发计算机辅助诊断系统来分析大规模图像数据，从而减轻病理专家的观察内和观察间的差异，进一步支持对大量图像的统计分析工作。因此，开发一个具有先进的可视化和计算能力、庞大的开发者社区、灵活的插件机制、友好的跨国许可的综合软件平台，对整个领域都将是非常有益的。在这项工作中，我们展示了 SlicerScope：一个基于非常成功的 3D Slicer 的全切片组织病理学图像计算的开放平台。我们介绍了选择这种架构的基本原理，引入了用于千兆像素图像查看的新模块 / 工具，以及用于定性呈现、癌症区域识别等特定分析模块。所应用的算法在采集自 16 个病人的前列腺粗针活检 WSI 图像数据集上进行了测试，在测试集上的识别准确率为 88%。

关键词：前列腺癌诊断；计算病理学；软件平台

研究生 - 青年优秀论文复赛

表征 COPD 分期演进的肺影像组学融合特征研究

杨英健[1,2]（研究生）李玮[2]杨凯[3]李强[1,2]郭英委[1,2]陈淮[4]刘洋[2]李娴[4]
陈荣昌[3,5,6]康雁[1,2,7*]

[1]（东北大学医学与生物信息工程学院，沈阳 110169）
[2]（深圳技术大学生物医疗器械创新研究中心，深圳 518118）
[3]（深圳市人民医院呼吸疾病研究所，深圳 518001）
[4]（广州医科大学附属第一医院放射科，深圳 510120）
[5]（暨南大学第二临床医学院，深圳 518001）
[6]（南方科技大学第一附属医院，深圳 518001）
[7]（医学成像与智能分析教育部工程研究中心，沈阳 110169）

虽然肺功能测试（PFT）是诊断和评估慢性阻塞性肺病（COPD）分期的金标准，但是 PFT 不能表征 COPD 病人肺内组织的真实状态。与 PFT 相比，胸部计算机断层（CT）图像已经被认为是表征及定量分析 COPD 病人肺内组织的真实状态的最有效的模态。为寻求可以表征 COPD 分期演进的肺影像组学，加深对 COPD 的认识；利用具有 COPD 分期的 468 套胸部 HRCT 计算肺影像组学特征；利用 Lasso 模型建立 COPD 分期与影像组学的关系，以对肺影像组学特征进行筛选；基于筛选的肺影像组学特征，利用肺影像组学特征的类及其对应的筛选系数构建了可以表征 COPD 分期演进的肺影像组学融合特征 Radiomics-FIRST（一阶特征类）及 Radiomics-ALL（所有类）。结果表明，构建的 Radiomics-FIRST 与 Radiomics-ALL 在任意 COPD 分期之间的显著性的 P 值均 <0.001，但 Radiomics-FIRST 具有更少的肺影像组学特征。因此，Radiomics-FIRST 是所有类中可以表征 COPD 分期演进最优的肺影像组学。

关键词：慢性阻塞性肺病；影像组学；COPD 阶段演进；胸部 HRCT；Lasso

用于多频磁感应断层成像的脑部有限元模型构建与仿真

张涛（研究生）章伟睿 刘学超 冯自立 付峰 刘锐岗 徐灿华*
（空军军医大学军事生物医学工程学系，西安 710032）

研究一种用于多频磁感应断层成像的脑部有限元模型建立和快速仿真方法，为多频成像算法研究提供基础。首先，基于电阻抗断层成像脑部有限元模型的建立方法，构建了一个用于磁感应断层成像仿真的具有真实解剖结构的三维脑部有限元模型。然后，利用网络爬虫技术实现多频下不同组织电导率和相对介电常数的自动化设置。最后，利用 COMSOL 与 MATLAB 联合仿真技术实现激励频率、激励线圈的自动切换和测量线圈数据的自动提取。结果表明，本方法可以建立准确快速的多频磁感应断层成像仿真模型，计算速度较传统方法提高 3 倍。本文建模与仿真方法可直接用于多频磁感应断层成像的后续仿真研究，为多频算法研究提供了基础。

关键词：磁感应断层成像；有限元模型；联合仿真；COMSOL；网络爬虫

基于多任务学习的半监督脑胶质瘤自动分割和分级

滕贷宇 [1,2] 廖洪恩 [1,2*1]

[1]（清华大学医学院生物医学工程系，北京 100084）

[2]（清华大学深圳国际研究生院，深圳 518055）

脑胶质瘤是最常见的恶性脑肿瘤，对其进行准确的术前多区域肿瘤分割和分级，有助于术前诊断和治疗方案制定。并且目前肿瘤的自动分割技术需要大量的标记数据进行训练，为了减少对标记数量的需求，提出了一种基于多任务的半监督脑胶质瘤自动分割和分级网络，该神经网络通过特征提取和并行双注意力机制等结构有效实现肿瘤重建，从而为分割任务提供约束，弥补标记数据少造成的精度差的问题，并且利用分割网络提取到的特征信息，对肿瘤进行高级别和低级别两级别的划分。提出的网络模型在 BraTS2019 数据集上进行训练和验证，经过数据增强，肿瘤分级任务的准确度达到 0.965。并且根据半监督训练的设置，以标记数据占比 10% 和 33% 分别进行训练，得到网络的整个肿瘤区、肿瘤核区和增强肿瘤核的分割精度依次为，0.8446/0.6877/0.6394; 0.8716/0.7371/0.6893。通过该网络，实现了肿瘤级别的准确划分和少标记情况下高质量的分割。

关键词：半监督；脑胶质瘤分割；肿瘤分级；多任务

Motion Compensated Four-Dimensional Cone Beam CT Imaging from Single Routine Scan using Multiscale-Discriminator Generative Adversarial Network

Pengfei Yang(研究生) [1] Yangkang Jiang [2] Xin Ge [3] Tianye Niu [3*]

[1] *(College of Biomedical Engineering and Instrument Science, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang, China)*

[2]（*Institute of Translational Medicine, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang, China)*

[3]（*Shenzhen Bay Laboratory, Institute of Biomedical Engineering, Shenzhen, China)*

Abstract: We propose a novel method to obtain four-dimensional (4D) cone-beam computed tomography (CBCT) images from a routine scan in patients with upper abdominal cancer. A deep neural network is employed to estimate the deformable vector field (DVF) among breathing phases of the 4D-CBCT to compensate for motion artifacts in the reconstruction. The projections are first sorted according to the location of the lung diaphragm before being reconstructed to phase-sorted images. We apply a multiscale-discriminator generative neural network (MSD-GAN) to alleviate the severe aliasing artifacts in the original images. Following that, deformable image registration is employed to provide the estimated DVF used in the motion-compensated ordered-subset simultaneous algebraic reconstruction approach. Results show that our method significantly outperforms the total variation regularization method in simulation and patient studies on 4D reconstruction quality from a single routine scan in upper abdominal cancer treatment.

Key words：4D cone beam CT 1；deep learning 2；motion compensation 3；generative adversarial network

Detection and Classification of Early Induced Pluripotent Stem Cells

Li Mingzhu[1] He Liangge[2] Wang Tianfu [1*]

[1] (*School of Biomedical Engineering, Shenzhen University, Shenzhen, China*)

[2]（*Department of Medical Cell Biology and Genetics, Shenzhen University, Shenzhen, China*)

Abstract: Induced pluripotent stem cells (iPSCs) are similar to embryonic stem cells in terms of gene expression, protein transcription, and differentiation ability. Therefore, iPSCs have great potential in disease treatment. At present, there are quality differences in iPSCs, but the existing detection algorithms have high time costs and large hardware consumption. An efficient and fast iPSCs recognition and detection algorithm is indispensable. We use the EfficientDet network, which is a compound scaling method that uniformly scales the resolution, depth, and width for all backbone, feature network, and box/class prediction networks at the same time which can bring higher efficiency in object detection. In the experimental analysis, we collect 215 pictures in our laboratory environment of which 150 were used for training and 65 were used for verification. Our method consistently achieves much better efficiency than previous method across a wide spectrum of resource constraints, to detect the positions and quality of iPSCs.

Key words：induced pluripotent stem cells; object detection; key word 3; bi-directional feature pyramid network

LRSN：一个用于视网膜血管分割的轻量化深度网络模型

谭玉博（研究生）柏浩瀚 崔婧然 赵世轩 杨开富 李永杰 *

（电子科技大学生命科学与技术学院，中国成都 610054）

视网膜血管形态关乎眼科疾病的诊断，但眼底图像血管分割任务仍然面临着诸多困难，如血管与视网膜对比度较低、血管宽度变化大以及存在各种病变干扰等。当前已有很多视网膜血管分割算法，包括非监督的阈值、滤波方法，以及有监督的机器学习和近年来涌现的深度学习方法。本文结合了生物视觉的注意力机制和眼底图像血管特点，设计出一种轻量化、高性能的视网膜血管分割模型。在数据增强方面，我们随机混合不同色彩空间的通道来增加样本数量，这样能够显著提升分割得分。此外，眼底图像纹理单一，太多可学习参数会造成大量冗余特征，甚至降低分割效果，因此在模型设计方面我们采用了轻量化的设计原则，提出了LRSN（Lite Robust SegNet）模型。血管是具有特定形状的结构，因此可以重点惩罚血管边缘处的错分样本。我们加入骨架先验正则化指标，进一步提升分割效果。我们在广泛使用的 DRIVE 数据集上进行了一系列实验，并针对血管树的像素性和骨架性分别进行定量对比和定性分析。我们提出的 LRSN 模型参数只有 0.5MB，却能在计算精度上赶超当前主流方法。

关键词：视网膜；眼底图像；血管分割；轻量化；注意力

小脑皮层的三维数字重建：小叶厚度、表面积测量和层结构

郑俊潇（研究生）[1] 杨钦铸 [1] Nikos Makris[2,3] 黄楷镔 [1] 梁健文 [1] 叶辰飞 [4]
余夏夏 [1] 田木 [1] 马婷 [5,4] 牟天 [1] 郭文龙 [6] Ron Kikinis[7] 高毅 [1,2,8,9*]
[1]（深圳大学医学部生物医学工程学院，广东深圳 518000）
[2](Center for Morphometric Analysis, Departments of Psychiatry, Neurology, A. A. Martinos Center for Biomedical Imaging, Massachusetts General hospital and Departments of Psychiatry and Radiology, Brigham and Women's Hospital, Harvard Medical School, Boston, USA)
[3](Department of Anatomy and Neurobiology, Boston University Medical School, Boston, USA)
[4]（鹏城实验室，广东深圳 518000）
[5]（哈尔滨工业大学电子信息工程学院，广东深圳 518000）
[6]（广东省人民医院，广东广州 510000）
[7](Department of Radiology, Brigham and Women's Hospital, Harvard Medical School, Boston, USA)
[8]（深圳市恶性血液病精准诊疗重点实验室，广东深圳 518000）
[9]（马歇尔生物医学工程实验室，广东深圳 518000）

在个体发育中，小脑是中枢神经系统最早发育的结构之一，但直到近几年才开始重新研究其与人类神经生物学、功能和临床相关性。因此，与大脑相比有关于小脑的研究相对不足。目前，非侵入性成像模式几乎无法达到能够展开其整个复杂表面所需的分辨率，而只有组织学分析才能揭示微米级的局部信息。在本文中，我们使用 BigBrain 数据集测量了小脑皮层及每个小叶的所有层的面积和逐点厚度。我们发现小脑颗粒层（包括浦肯野细胞层）的表面积为1,732 cm^2，分子层的表面积为1,945 cm^2。颗粒层的平均厚度为0.88 mm（±0.83），分子层的平均厚度为 0.32 mm（±0.08）。小脑皮层（颗粒层和分子层）在脑沟深处较厚，在脑回顶部较薄。整体来看，小脑后部的颗粒层比前部更厚。本文中实现的小脑皮层中各个层的重建，为使用神经成像研究将与基础和临床神经科学具有相当大的相关性的结构和功能连接与小脑结构相互关联做出了准备。除此之外，这些数据还为构建小脑地形图和精确定位影响小脑的疾病的结构和功能改变提供了模板。

关键词：小脑皮质层测量；表面积；小叶；层流厚度测量；小脑皮质层形态测量

Coil Compression for MRI using Variable Augmented Invertible Network

Xianghao Liao[1] Lanlan Tu[1] Yifan Liao[2] Dong Liang[3*] Qiegen Liu[1*]
[1] (*Department of Electronic Information Engineer, Nanchang University, Nanchang 330031, China*)
[2] (*School of Artificial Intelligence and Automation, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430000, China*)
[3] (*Paul C. Lauterbur Research Center for Biomedical Imaging, SIAT, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China*)

Abstract: Parallel imaging under a large number of coils can provide enhanced signal-to-noise ratio and improve imaging performance in. As the increase of coil number, however, it simultaneously aggravates the problems of data storage and reconstruction speed, especially in some iterative reconstructions. Coil compression addresses these issues by generating fewer virtual coils. In this work, a novel variable augmented network for invertible coil compression (VAN-ICC) is presented, which utilizes inherent reversibility of normalizing-flow-based models, for better compression and invertible recovery. VAN-ICC trains invertible network by finding an invertible and bijective function, which can map the original image to the compression image. In the experiments, both fully-sampled images and under-sampled images were used to verify the effectiveness of the model. Extensive quantitative and qualitative evaluations demonstrated that, in comparison with SCC and GCC, VAN-ICC can achieve better compression effect with equal number of virtual coils. Additionally, its performance was not susceptible to different number of virtual coils.

Key words: coil compression; invertible network; auxiliary variables

A generalized scatter correction strategy of cone-beam CT using multiple spectral CT labels in Pix2pix GAN

Yangkang Jiang[1] Chen Luo[2] Pengfei Yang[3] Tianye Niu[2*]

[1] (*Institute of Translational Medicine, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang, China.*)

[2]（*Institute of Biomedical Engineering, Shenzhen Bay Laboratory, Gaoke International Innovation Center, Guangqiao Road, Guangming District, Shenzhen, Guangdong, China.*)

[3]（*School of Biomedical Engineering and Instrument Science, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang, China.*)

Objective: The quantitative and routine imaging capabilities of cone-beam CT (CBCT) are hindered from clinical applications due to the severe shading artifacts of scatter contamination. The scatter correction methods proposed in the literature only consider the anatomy of the scanned objects while disregarding the impact of incident x-ray energy spectra. The multiple-spectral model is in urgent need for CBCT scatter estimation.

Methods: We incorporate the multiple-spectral diagnostic multidetector CT (MDCT) labels into the pixel-to-pixel (Pix2pix) GAN to estimate accurate scatter distributions from CBCT projections acquired at various imaging volume sizes and x-ray energy spectra. The Pix2pix GAN combines the residual network as the generator and the PatchGAN as the discriminator to construct the correspondence between the scatter-contaminated projection and scatter distribution. The network architectures and loss function of Pix2pix GAN are optimized to achieve the best performance on projection-to-scatter transition. The CBCT data of a head phantom and abdominal patients are applied to test the performance of the proposed method.

Results: The error of the corrected CBCT image using the proposed method is reduced from over 200 HU to be around 20 HU in both phantom and patient studies. The mean structural similarity index (MSSI) of the corrected image is close to the ground truth, which indicates a high similarity of the anatomy in the images before and after the proposed correction. The proposed method achieves higher accuracy of scatter estimation than using the Pix2pix GAN with the U-net generator.

Conclusion: The proposed scheme is an effective solution to the multiple-spectral CBCT scatter correction. The scatter-correction software using the proposed model will be available at: https://github.com/YangkangJiang/Cone-beam-CT-scatter-correction-tool.

Key words：deep learning; multiple spectral cone-beam CT; Pix2pix GAN; scatter correction

A Generalized Radiomic Feature Selection and Modelling Method in Predicting Different Clinical Outcomes

Jing Yang[1] Lei Xu[1] Pengfei Yang[2] Yidong Wan[1] Yangkang Jiang[1] Chen Luo[3] Feng Chen[4] Yi Rong[5,*] Tianye Niu[3,*]

[1] (*Institute of Translational Medicine, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang, 310020, China*)
[2] (*College of Biomedical Engineering and Instrument Science, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang, 310027, China*)
[3] (*Institute of Biomedical Engineering, Shenzhen Bay Laboratory, Gaoke International Innovation Center, Guangqiao Road, Guangming District, Shenzhen, Guangdong, 518067, China*)
[4] (*Department of Radiology, the First Affiliated Hospital, College of Medicine, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang, 310003, China*)
[5] (*Department of Radiation Oncology, University of California Davis Cancer Center, Sacramento, CA 95817, USA*)

Abstract: Objective: Quantitative radiomic features of medical images could provide clinical significance in assisting decision making, but the existing feature selection and modelling methods are usually parameter dependent. We aim to develop and validate a generalized methodology for radiomic feature selection and modelling (GRFM) method applicable to a variety of clinical outcomes. Materials and methods: The GRFM method, including a two-step feature selection and logistic regression, was performed for correlating with clinical outcomes. The two-step feature selection consists of Pearson correlation analysis followed by sequential forward floating selection algorithm to identify robust feature subset. We also applied an adaptive searching strategy to systematically determine globally optimal parameters, rather than relying on preset parameters. The area under the receiver operating characteristic curve (AUC) was used to evaluate the performance of three outcomes: lymph node metastasis of gastric cancer (GC), the 5-year survival status of high-grade osteosarcoma (HOS), and pathological grade of pancreatic neuroendocrine tumors (pNETs). Results: The optimal Pearson thresholds were 0.85, 0.80 and 0.75, and the optimal feature numbers were 11, 14 and 8 in GC, HOS and pNETs respectively. AUC values of three predictive models combined with the corresponding parameters were 0.9017 vs. 0.9026, 0.7652 vs. 0.7113, and 0.8438 vs. 0.8212 at the training and validation cohorts, showing higher generality than other methods and better performance than other classifiers. Conclusion: The proposed method was helpful in predicting different clinical outcomes, which has potential as a general and noninvasive prediction tool to guide clinical decision-making of various patients.

Key words：radiomics; general methodology; clinical outcome; preoperative prediction

A Novel Solution for the Inverse Problem based on UPEMD in Electrocardiographic Imaging

Yadan Zhang, Jian Wu
(Tsinghua University, Shenzhen International Graduate School, Shenzhen, 518000)

Abstract: Electrocardiographic imaging (ECGI) is a non-invasive technique for mapping the cardiac activity to locate atrial fibrillation (AF) drivers. How to obtain the optimal robustness and accuracy is significant when solving ill-conditioned inverse problems in ECGI. This work proposes a multi-scale time-frequency domain solution based on uniform phase empirical mode decomposition (UPEMD_MSTFDS) for solving the inverse problem. We decompose electrocardiogram signals into multi-scale intrinsic mode functions with different frequency to separate valuable signals from the signals with less contributions to the inverse solution by

UPEMD and different regularization techniques are used for “valuable signals” and “less valuable signals” respectively to solve the inverse problem. To evaluate accuracy and anti-noise ability of UPEMD_MSTFDS, four datasets are employed, the simulated ECGs under two propagation patterns: simple AF (SAF), complex AF (CAF) and the SAF, CAF with random respiratory noise. The second-order Tikhonov algorithms, generalized minimal residual, damped singular value decomposition, bayesian maximum a posteriori estimation (Bayes) and multiscale-wavelet regularization method are used as comparisons. The Pearson’s correlation coefficient and the relative difference measurement star are employed to measure the similarity between the real and estimated epicardial potentials and phase. The weighted under-estimation and the weighted over-estimation indicators were utilized to measure the accuracy of the focal sources identified. Results indicates that UPEMD_MSTFDS method outperforms those comparative techniques apart from Bayes, without a prior information for SAF and CAF and for SAF and CAF with interference, UPEMD_MSTFDS shows excellent anti-noise ability and achieves the best detection of drivers among all the algorithms mentioned above.

Key words: atrial fibrillation; ECGI; UPEMD; inverse problem; time-frequency analysis

融合多尺度卷积神经网络对乳腺超声肿瘤图像进行良恶性分类

田荣辉[1]（研究生）马贺[1] 陆国秀[1,2] 刘瑞博[1] 王治国[1,2*]

[1]（东北大学医学与生物信息工程学院，沈阳 110169）

[2]（中国人民解放军北部战区总医院核医学科，沈阳 110016）

近年间，深度学习（DL）在计算机视觉领域得到了广泛应用。基于卷积神经网络（CNN）的 DL 可以从数据集中自动提取特征，而无需复杂的特征工程，为医学图像的研究开辟了新道路。本文提出了一种适用于乳腺超声（BUS）肿瘤图像良恶性分类的卷积神经网络（CNN）。与本地医院合作，我们收集了 1052 张 BUS 肿瘤图像（696 例良性病例，356 例恶性病例）。在应用图像增强和正则化后，准确率、敏感度、特异度、精度和接受者操作特征曲线（ROC）下面积（AUC）分别达到了 92.05、94.49%、89.30%、91.28% 和 0.97。我们的分类模型对 100 例未参与训练的 BUS 肿瘤图像的分类结果显示 AUC 为 0.97，优于其他基于 CNN 的 DL 方法，表明该 CNN 在 BUS 肿瘤图像良恶性分类中的有效性。

关键词：卷积神经网络；深度学习；乳腺超声；良恶性分类

An automatic redundant point deletion strategy for the registration of coronary arteries with missing data

Bu Xu[1] (Ph. D. candidate), Benqiang Yang[1,2], Liting Guo[1], Xiaofan Yang[3], Lu Wang[3], Lisheng Xu[1,4,5*]

[1] (*College of Medicine and Biological Information Engineering, Northeastern University, Shenyang 110169, China*)

[2]（*Department of Radiology, General Hospital of North Theater Command, Shenyang 110016, China*)

[3] (*School of Computer Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110169, China*)

[4] (*Key Laboratory of Medical Image Computing, Ministry of Education, Shenyang 110169, China*)

[5] (*Neusoft Research of Intelligent Healthcare Technology, Co. Ltd. Shenyang 110169, China*)

Abstract: Coronary artery disease (CAD) is the main cause of death worldwide. The registration of the coronary artery at different phases can help us to explore the motion patterns of the coronary artery and to assist radiologists in the diagnosis of CAD. At present, there are few studies reported on the alignment of coronary

arteries with missing data. This paper proposed an automatic redundant point deletion strategy to deal with the missing data problem that appears at the end of the coronary artery branch. Specifically, according to the different choices of the registration parameters, the whole alignment process is divided into the rough and fine registration parts. First, based on the result of the rough registration, the angle relationship among the points of the vessel tree is utilized to recognize the endpoints for the vessel tree automatically. Then taking the Euclidean distance between the corresponding endpoints of two vessel trees as the radius, by exploiting the generated sphere, the redundant points are judged and deleted. The "distance mutation" method is adopted to solve the problem that the points on the adjacent branches of the same vessel may be mistakenly deleted. Finally, the fine registration is carried out to further improve the registration accuracy. The proposed deletion strategy was applied to three state-of-the-art point set registration methods. Experimental results show that our improved algorithms can obtain a smaller modified Hausdorff distance (MHD) value and faster speed than its original registration approaches for the vessel with different degrees of missing. This suggests that the improved algorithms are feasible and effective for the alignment of coronary arteries with missing data and thus adds to the diagnostic power of coronary imaging.

Key words： point set registration; coronary arteries; non-rigid; missing data; CCTA

基于脑漂校正的脑深部电刺激电极术后标定方法

何长耕[1] 张锋[1] 姜长青[1*] 李路明[1,2,3,4*]

1（清华大学航天航空学院神经调控技术国家工程实验室，北京，100084）

2（清华 - 伯克利深圳学院精准医疗与公共健康中心，深圳，518071）

3（清华 -IDG/ 麦戈文脑科学研究院，北京，100084）

4（北京脑重大疾病研究院癫痫研究所，北京，100093）

脑深部电刺激是一种治疗神经生理疾病的外科疗法，其疗效依赖于准确的电极植入。精准的术后电极位置标定在疗效预测和脑科学研究方面都有重要意义。此前的通用电极标定方法依赖术后 CT 和术前 MR 的融合，本文关注到术后大脑和术前大脑之间由于脑漂现象导致的位移，基于临床数据计算了位移大小，对其进行统计分析发现脑漂在上下方向幅值最大，并在术后 12 月依然存在长期脑漂。我们还提出了修正脑漂位移的方法，给出了校正脑漂后电极在大脑中的位置并从疗效预测角度进行了合理性验证。

关键词：DBS；电极定位；脑漂

Noninvasive optical monitoring and modulation in deep tissue: from bench to clinics

李婷

中国医学科学院生物医学工程研究所

Email: liting@bme.cams.cn

介绍报告人围绕深层人体组织光学无创检测与调控开展的从理论、技术、仪器集成和临床应用展开的系统性工作，包括光在体素化组织中传输的精准计算模型与软件、面向神经重症监护与康复的深层血氧血流检测技术与仪器化、创新应用范式与派生功能指标体系建设等。

S04
生物医学传感与可穿戴系统

特邀报告

微介入式生物传感

谢曦
中山大学电子与信息工程学院 / 光电材料与技术国家重点实验室
Email: xiexi27@mail.sysu.edu.cn

微电子技术与生物科学的融合交叉，极大推动了新型医学诊疗技术的发展，并已成为当前研究热点之一。现代生物电子与学研究要求在微观尺度原位实时地对细胞内部或动物体内部进行调控治疗和检测传感。但当前技术方法仍存在多个难题，其中包括：1）如何无创或微创式调控或检测细胞内部环境；2）如何原位实时调控或检测细胞或体内的动态生物信息；3）如何实现高度生物相容性的可植入器件技术，等一系列难题。本团队工作致力于新型微纳生物医学器件的基础研究，发展原位实时的治疗 / 检测技术方法：1）致力于研发新型微纳芯片或器件，应用于功能性细胞（免疫细胞、干细胞、癌细胞等）的基础研究，实现对细胞的精准调控或检测传感；2）研发新型的穿戴式 / 植入式设备，应用于重点疾病（糖尿病、心血管病、神经性疾病等）的诊疗应用，实现对疾病的精准治疗调控或检测传感。

新一代房颤检测：设备 - 算法 - 临床实践

刘澄玉
东南大学仪器科学与工程学院 / 生物电子学国家重点实验室
Email: chengyu@seu.edu.cn

房颤是一类临床常见的心率失常疾病，是导致中风、心衰、猝死的重要原因，由于房颤起病隐匿、无明显临床症状，目前早期诊断率极低，房颤早期筛查和早期发现尤为重要。物联网和人工智能技术推动了可穿戴心电设备的发展，这是新一代房颤检测的有效手段。可穿戴心电房颤监测算法包括动态心电质量辨识、QRS 鲁棒准确定位以及异常节律干扰判别。通过长程监测，实现对房颤类型、房颤负荷的连续、动态监测，对房颤手术选择、药物干预以及各种临床并发症的诊治具有重要价值。进而通过心电智能监测技术降低房颤术后复发概率，实现对房颤患者的个性化管理。

Noninvasive optical monitoring and modulation in deep tissue: from bench to clinics

李婷
中国医学科学院生物医学工程研究所
Email: liting@bme.cams.cn

介绍报告人围绕深层人体组织光学无创检测与调控开展的从理论、技术、仪器集成和临床应用展开的系统性工作，包括光在体素化组织中传输的精准计算模型与软件、面向神经重症监护与康复的深层血氧血流检测技术与仪器化、创新应用范式与派生功能指标体系建设等。

适于长期佩戴的无线可穿戴织物肌电臂带及其运动意图预测方法研究

胡勇 *[1,2]、王辉 [1,3]、李光林 [3]
1. 香港大学深圳医院
2. 香港大学深圳研究院
3. 中国科学院深圳先进技术研究院

目的：肌电假肢控制中，表面肌电图（sEMG）模式识别（EMG-PR）是一种常用的运动意图预测方法。如何为使用者提供一种舒适、轻便、可长期佩戴的表面肌电电极及检测系统是一个研究热点。本文提出一种织物肌电臂带的设计，无线肌电检测以及相应的神经网络识别方法，实现可长期佩戴的肌电假肢控制。

方法：我们研制一种 8 通道织物型干电极构成的肌电臂带和无线肌电采集器。织物型干电极使用带有导电和非导电织物的分层结构，对电极进行了表面处理，在导电织物的折叠层之间放置了一层泡沫，以确保导电织物层与皮肤紧密接触。本研究招募了 10 名受试者进行了 8 周的测试实验。八周期间采集了 10 日前臂主动运动的肌电信号，分别为第 1 天到第 7 天、第 14 天、第 28 天、第 56 天，每天采集 3 个固定测试时段，每次测试十种手势动作。肌电图识别采用卷积神经网络（CNN）以肌电原始数据样本为输入进行分类，并比较同一节段内、同一天不同节段、两天之间以及十天之间的运动意图识别性能，将 CNN 分类结果与线性判别分析（LDA）进行比较。

结果：CNN 和 LDA 在日间运动意图识别的准确率是相当的（$p>0.1$），但是与标准 LDA 相比，CNN 随着时间的推移显著提高了肌电模式识别的性能和鲁棒性 ($p<0.001$)。这一结果表明数据驱动的神经网络算法可以克服肌电控制中的特征标定和选择问题。

结论：所研制的织物肌电臂带及模式识别系统，具有低成本，简易舒适，便于穿戴的特点。基于卷积神经网络的肌电运动意识识别方法可以随臂环佩戴时间增长而提高性能，是一种可供假肢控制的实用方法。

关键词：表面肌电图；模式识别；运动意图预测；肌电假肢控制

专题口头报告

基于电感耦合技术的可穿戴非接触脉搏检测装置

李铭彦[1]、李根*[1,2]
1. 重庆理工大学
2. 陆军军医大学第一附属医院

目的：脉搏的长时间连续监测对于心血管疾病的预防、诊断和治疗具有重要意义。传统的监测方法大多利用贴身电极片或传感器直接与人体接触，舒适性差、不适于长期监测。本文将利用电感耦合技术非接触、体积小等优势，实现脉搏的长时间连续监测。

方法：结合线圈传感器通过电感耦合的方式获取腕部动脉血管搏动信息后通过信号采集与处理模块获取脉搏信号，经处理转换为数字信号后，由控制模块发送给无线数据传输模块，之后无线数据传输模块将脉搏检测数据传输至便携式 PC 机；选取一名年龄在 18-30 周岁的健康志愿者作为实验对象，调整采样参数（采样频率为 10Hz，采样点为 1000 个）后每次进行 10 次时长为 1 分钟的测量，最后将数据传输到 PC 端存储并显示；通过对比多参数监护仪的血氧脉搏波验证电感耦合检测脉搏波的可行性。

结果：整个装置被集成在一个符合人体工程学的柔软轻薄袖带上且功耗仅为 1.2172W，实现了无线、非接触、长时间连续监测人体脉搏的便携式可穿戴设备的核心功能；PC 端能够成功获取由电感耦合传感器发出的数据，其波形特点与脉搏波理论特点、多参数监护仪的血氧脉搏波波形较为一致；计算电感耦合装置和多参数监护仪获取的脉搏数据，发现通过电感耦合检测到的脉搏均值误差为 1.2%，标准误差为 8.3%，均在误差允许范围内。

结论：本文基于电感耦合技术研发的检测系统能够实时动态监护人体脉搏，且具有非接触、便携等优点，有望为提高心血管疾病的防治水平提供一种新的脉搏检测手段。

关键词：电感耦合；脉搏检测；现代医学监护；可穿戴设备

肽核酸功能化的纳米通道生物传感器高灵敏检测肿瘤外泌体 MicroRNA

孙忠月*、涂济源、张玉林、路淑敏
湖北中医药大学

目的：本研究构建了一种肽核酸（PNA，peptide nucleic acid）功能化纳米通道生物传感器，实现对肿瘤外泌体 miRNAs 超灵敏检测。

方法：采用不对称化学蚀刻的方法制备聚对苯二甲酸乙二醇酯（Polyethylene terephthalate，PET）锥形纳米通道，将探针 PNA 共价修饰在通道表面，并通过皮安计电流、X 射线光电子能谱及激光共聚焦显微镜等表征实验证明 PNA 功能化纳米通道生物传感器的成功构建，利用传感器检测提取的外泌体总 RNA 中的 miRNA-10b，PNA 识别靶标 miRNA-10b 并杂交，通道内产生电荷变化，从而导致离子电流的改变，通过记录检测前后电学信号的差异来区分胰腺癌细胞与正常细胞组。并从当地医院收集了 20 例临床血浆标本 (10 例健康志愿者和 10 例胰腺癌患者)，利用 exoRNeasy Serum/Plasma Midi Kit 试剂盒分别提取外泌体总 RNA，随后使用我们的传感器进行分析。

结果：成功制备得到锥形纳米通道生物传感器，通过激光共聚焦和 XPS 表征进一步验证在纳米通道内表面 PNA 确实与 miRNA 杂交，该传感器可高度区分靶标 miRNA-10b 与单碱基错配及非互补序列，且检测限可低至 75aM，同时与健康样本信号值相比，发现胰腺癌患者样本的平均电流信号明显强于每个健康样本。

结论：本研究成功构建肽核酸功能化纳米通道生物传感器，可实现对 miRNA 高特异、灵敏检测及临床样本检测，为将来该传感器应用于临床癌症的早期筛查提供实验基础。

关键词：纳米通道；生物传感器；PNA；外泌体 miRNA

The Early Diagnostic of Cancer Disease using Microfluidic chip based Sensor

Rongke Gao*

中国石油大学（华东）

Objective: Circulating tumor cells escape from the primary tumor or metastasis and travel in the circulating peripheral blood, carrying important bioinformation about cancer progression and metastasis. However, CTCs are extremely difficult to recognize, as several CTCs normally dispersed in a billion blood cells. Therefore, the efficient capture of CTCs has been proposed as a powerful tool for the diagnostic and therapeutic strategies of malignant tumor. Currently, a lot of approaches have been developed to selectively isolate high-purity CTCs from human peripheral blood samples.

Methods: We develop a series of microfluidic devices for the early diagnostic of hepatocellular carcinoma, prostate cancer, intracranial aneurysm etc. Combined with highly sensitive optical detection technology and medical imaging technology, the devices demonstrate great potential in screening test and prognosis.

Results: Magnetic immunocomplexes are isolated and trapped at detection chamber by a permanent magnet integrated into the chip. The PBS buffer washed magnetic immunocomplexes and brought the free gold nanoparticles to the downsteam channel for waste. Our results show a good linear response in the range from 0.01 to 100 ng mL-1. The LOD of PSA level is estimated to be below 0.01 ng mL-1 using this chip. Up to 80% of CTCs were captured from whole blood samples using the present SERS based microfluidic chip.

Conclusion: A novel strategy of SERS-Microfluidics was employed for efficient separation and in-situ heterogeneous phenotype analysis of CTCs at single cell level.

Key words: SERS; microfluidics; micro-nano fabrication; flexible substrate; cancer biomarkers

纸基分析装置在双酚 A 及其卤代类似物荧光检测中的应用

曾令帅、荆涛 *

华中科技大学同济医学院公共卫生学院

目的：双酚 A (Bisphenol, BPA) 广泛用于环氧树脂和聚碳酸酯塑料，其卤代类似物四溴双酚 A (Tetrabromobisphenol A, TBBPA) 和四氯双酚 A (Tetrachlorobisphenol A, TCBPA) 常作为阻燃剂用于纺织品、电子设备、塑料产品、家具和建筑材料。由于含 BPA 及其卤代类似物的消费品大量生产和广泛使用造成这些污染物普遍共存于环境中。BPA、TBBPA 和 TCBPA 具有内分泌干扰效应、细胞、遗传、免疫以及生殖和神经毒性等健康危害效应，建立一种方法用于现场同步检测 BPA 及其卤代类似物，对环境监测和人体复合暴露评估至关重要。

方法：将具有光催化活性的金属 - 有机框架材料 UiO-66-NH_2 与 TBBPA 的分子印迹聚合物相结合制备纸基分析装置。纸基分析装置选择性识别 BPA 及其卤代类似物，然后通过纸色谱将其有效分离。随后，将纸基分析装置分割成片段并通过一种灵敏的荧光检测法来确定目标物的存在。在紫外光照射下，光催化剂 UiO-66-NH_2 可以产生活性氧 (Reactive oxygen species, ROS)，分子印迹孔穴里的 BPA 及其卤代类似物消耗部分 ROS 而被降解，而剩余的 ROS 可以通过 ROS 探针 2',7'- 二氯二氢荧光素二乙酸酯检测，从而间接荧光测定双酚 A 及其卤代类似物。

结果：该纸基分析装置具有优异的吸附性能和良好的选择性，基于该纸基分析装置的同步荧光检测方法用于灰尘中双酚 A 及其卤代类似物的测定，检出限为 0.14-0.30 ng g^{-1}，加标回收率为 91.0-105.6%，相对标准偏差小于 7.5%，与液相色谱 - 串联质谱法 (LC-MS/MS) 的结果基本一致。

结论：该方法具有灵敏度高、成本低、使用方便和环境友好等优点，适用于现场同步荧光检测实际样品中的 BPA 及其卤代类似物，可以为环境监测和人体复合暴露评估提供技术支持。

关键词：分子印迹聚合物；金属 - 有机框架材料；纸基分析装置；光催化性能；荧光检测

Imperceptible metallic epidermal coating with mechanical stability and physiological homeostasis based on adhesive liquid metal microparticles

Li Ding[1]、Yan Zhang[1]、Hansong Sun[1]、Xingyu Jiang*[2]

1. 中国医学科学院阜外医院

2. Shenzhen Key Laboratory of Smart Healthcare Engineering, Department of Biomedical Engineering, Southern University of Science and Technology

Objective: Gel electrodes, which are skin-adhesive and conformal, are used widely for surface electrophysiology in clinics and laboratories (1, 2). However, the evaporation of water in gel electrodes, which will lower the quality of the electrophysiological signal, limits their long-term use. Metal-based stretchable electronics have the potential to replace the gel electrodes as their better conductivity and durability. But the skin-adhesion is the main challenge for the metallic electrodes in stretchable electronics(3). Stretchable thin film-based electronics can adhere to the skin by using adhesive substrates(4-9). But the non-adhesive metallic parts cannot contact skin conformally, and the thin film cannot fit the microfeatures of skin perfectly. The adhesive-based epidermal electronics, in which metallic electrodes were attached to the skin through the adhesive, reduce the direct contact between the metallic electrodes and the skin resulting in unsatisfactory electrophysiological signal(10-16). Conventional dry electrodes, especially metallic electrodes, are not adhesive to the skin. Thus, developing a self-adhesive and ultra-conformal metallic material is an attractive solution to achieve stable

metal-skin contact for long-term electrophysiology.

Methods: We developed adhesive liquid metal microparticles (ALMP) to address the skin-adhesion of metal and fabricated a super wear-resistant, moisture-wicking, and ultra-conformal metallic epidermal coating with it.

Results: It is wear-resistant enough to withstand ~1600-cm 175-g-loaded paper tape wearing, which is ~500 times better than the best work. The high-resolution (~ 80 μm) epidermal coating electrode arrays can be fabricated with the ALMP. The ALMP reserves the stretchability of LM. It can be stretched to 1000% strain with a small electrical resistance variation. Stable and repeatable electrical resistance variations with the adhesion and conformality allow the ALMP to be an on-skin strain sensor to perceive the deformation of the skin down to the tiny vibration and up to the bending of joints. The moisture permeability of the ALMP coating is better than that of the electrospun film (EF) because of its hydrophilicity and water absorption. As an epidermal electrophysiological electrode, the ALMP has the best skin contact impedance compared with the film-based epidermal electrodes and the adhesive-based electrodes in our work and the best over other stretchable dry electrodes. The ALMP is the only dry electrode reported that can capture the U waves of ECG. In pristine condition, the skin contact impedance of the ALMP (3.3 × 104 ~ 1.6 × 104 Ω) is almost indistinguishable from that of the standard gel electrode (3.0 × 104 ~ 1.3 × 104 Ω) in the ECG frequency range (1 ~ 100 Hz). Besides, the ALMP can keep its low skin contact impedance, while that of the gel electrode increases to 10.4 × 104 ~ 2.2 × 104 Ω after 27 hours. Outstanding biocompatibility, moisture permeability, and sweat resistance of the ALMP are beneficial to long-term use on the skin.

Conclusion: We developed a self-adhesive, moisture-wicking, wear-resistant, and ultra-conformal metallic epidermal coating with the ALMP, which addressed the skin-adhesion of metallic materials. Excellent mechanical stability, biocompatibility, moisture permeability of the ALMP is ideal for the epidermal electronic application. The ALMP provides a straightforward, easy-to-fabricate solution for the on-skin strain sensor and tactile sensor. Its low skin contact impedance comparable with the gel electrodes results in high-quality electrophysiological signals, especially for capturing clinically significant waves in ECG, such as U waves, whose abnormality suggests hypokalemia, stenosis, arrhythmia, and other severe heart diseases. U wave is the wave we know the least in the ECG and its cellular basis has been a matter of debate for many years. In clinical practice, to distinguish between pathologic and physiologic U waves may be difficult(38). Thus, clear capture and accurate analysis of U waves contribute to clinical diagnosis and in-depth research into the mysteries of U waves. That puts forward higher requirements for the development of the stretchable epidermal electrode. In conclusion, based on ALMP's excellent electrophysiology capturing, strong mechanical stability, and high-resolution patterning, the high-quality and high-spatial-resolution epidermal skin-machine interactive network could be realized in the future, contributing to more accurate electrophysiology-based diagnosis.

Key words: Liquid metal; Epidermal electronics; Electrophysiology

3D 打印可穿戴超高灵敏柔性聚合物压力传感器

宋岩华 *[1]、张明暐 [2]、陈星 [1]
1. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院
2. Ulster University

目的：压阻式传感器具有器件结构简单、信号处理方便、像素密度高等优点，应用广泛。传统基于液态金属材料或无机材料的传感材料较硬且穿戴性差。而基于柔性衬底和聚合物的新型传感易贴合皮肤或附着在织物表面，并能随之动态弯曲。为拓宽柔性传感应用范围，学者们集中于开发功能材料或构建复杂材料结构。然而，复杂结构的制备往往需要复杂的技术。此外，目前可用于水下监测的潜水传感器其灵敏度不高或达不到人体工程学曲率，且水下传感器其功能保持性及稳定性仍然是评估水环境中物理活动监测的挑战，影响了其在医疗保健领域的应用。因此，有必要利用简单的制备技术开发出一款高灵敏度的柔性压力传感器，同时用于医疗保健、生物、水下监测。

方法：为解决上述问题，本研究通过使用附加风速模组的电流体动力打印技术来制备超灵敏、超低压检测的柔性聚合物压力传感器，可用于精确监测人体生理参数和远程水下活动。EHD 可用于制造高分辨率的 2D 和 3D 传感材料结构，从而提高传感器性能。

结果：该传感器传感层打印墨水由石墨烯 (G)、聚苯胺 (PANI) 及聚氧化乙烯（PEO）组成，PANI 与 G 之间强烈的 π - π 作用可提高材料的导电性及灵敏度层厚度，传感层电阻和灵敏度可通过打印进行调节。对 FULP 的形貌、化学成分、内部结构、灵敏度、抗应变性能和机电性能以及复合结构的弯曲效应和稳定性进行了研究。结果表明，PANI 与 G 成功嵌入 PEO 内部及表面且发挥调空导电性及灵敏度的作用。FULP 最小检测限为 0.7 Pa，灵敏度为 25.9 KPa-1，在弯曲应变为 12.5 - 50 % 时，应变电阻试验显示应变系数为 5.5。

结论：传感器灵敏度高，检测限低，响应快，机械耐久性好（5000 次）。可实时监测身体活动中细微的运动变化 (例如手指运动、面部表情变化、咳嗽、声振动和脉搏波等) 及水下外部压力变化，识别鱼儿运动，可水陆两用。该传感器在医疗保健、可穿戴、环境和生物相关监测方面有潜在应用。

关键词：聚合物传感；水下传感；可穿戴传感；电流体动力打印；柔性压力传感

一种基于肌腱生理结构进行康复评定的柔性带状传感器

王健翔 [1]、彭玉鑫 *[1]、刘文明 [1]、庞凯 [2]、李波 [3]
1. 浙江大学体育学系
2. 浙江大学高分子科学与工程系
3. 浙江省立同德医院康复科

目的：为了克服传统可穿戴传感器存在影响触觉与手部运动、多次使用后传感器位置偏移等缺陷。本文提出一种基于手部生理结构的柔性带状传感器，通过测量手背上肌腱 - 皮肤形变对手部运动进行表征，该传感器可以适应不同大小的手和不同手势。该传感器用于对比患者健侧与患侧手功能。该传感器与评估方法将为康复评定提供新的途径。

方法：本文将带有六个压力传感单元的柔性带状传感器贴附在手背处来检测包括拇短伸肌、拇长伸肌、指伸肌、食指伸肌和小指伸肌肌腱 - 皮肤形变。本文通过 3D 打印将由导电银浆打印在 PET 膜上形成电极，再将氧化石墨烯悬浮液打印在电极上并还原成石墨烯气凝胶。将 PET 膜通过热压机对石墨烯气凝胶进行封装，并固定在蜿蜒结构硅胶带状基底上。本文对一例因工作中不慎被机械碾压导致右手前臂伸肌肌腱断裂及皮肤毁损，右手中指末端指节骨折的患者在手外伤术后 5 个月进行了健侧与患侧手指远端、近端与掌骨关节最大活动度评估测试。

结果：该传感器在 1000 次循环测试中表现出色的稳定性、重复性与迟滞性能，其灵敏度在 20 kPa 之前

为 -0.0186，能够测量 10 μm 步进形变，该传感器具有高灵敏度、稳定性和可重复性。

通过对比健侧与患侧传感器电阻变化率范围，得出患侧相对于健侧的恢复程度。在三种评估测试中，大拇指、食指、中指、无名指与小拇指恢复程度分别为（94.3%、93.39%）、93.94%、22.43%、39.51% 与 45.91%；（79.99%、79%）、91.21%、73.98%、79.93% 与 73.68%；87.63%、79.01%、62.23% 与 66.67%。由恢复程度可知，患侧相较于健侧全部有损伤，中指、无名指与小拇指损伤情况较为严重。

结论：本文从手部生理结构出发设计柔性传感器，提出了一种通过测量皮肤形变表征肌腱活动的研究思想。该传感器具有优秀传感性能、拉伸性与贴附性，能够测量微小形变，并提出一种量化手部功能方法，在康复评定中具有应用的潜力。

关键词：柔性传感器；康复评定；肌腱 - 皮肤形变；基于手部生理结构

酶热传感技术在抗生素耐药菌快速检测研究中的进展

孟庆来 *[1]、谢斌 [2]

1. 山西大学

2. Lund University

目的： 病原菌抗生素耐药性为全球关注的重大公共卫生问题。针对目前临床诊断缺少一种可对表达 EBSL 和碳青霉烯酶耐药菌进行同时快速检测的方法，而且当 ESBL 和碳青霉烯酶在共表达的情况下无法准确区分等问题，本研究以一种具有超级耐药活性的碳青霉烯酶“NDM-1”作为生物识别传感原件建立了 NDM-1 酶热传感器，评价其对产 ESBL 和碳青霉烯酶耐药菌同时快速检测的有效性。

方法：以青霉素酶酶热传感器为参考方法评价 NDM-1 酶热传感器对多类 β - 内酰胺抗生素的检测活性。建立了一个由 NDM-1 酶热传感器、一组 β - 内酰抗生素和两个 β - 内酰胺酶抑制剂组成的 β - 内酰胺酶活性二维表征方法（NDM-1 传感器检测法）。以临床应用的 ESBL NDP 方法和 Carba NP 方法为参考方法评价 NDM-1 传感器检测法在检测产 ESBL 和产碳青霉烯酶耐药菌的敏感性。以 13 株产 ESBL 和碳青霉烯的耐药菌株和 10 株不产 β - 内酰胺酶的耐药菌株为样品开展小规模临床回顾研究评价 NDM-1 传感器检测法的准确性。

结果：NDM-1 酶热传感器对青霉素类、头孢类和碳青霉烯三大类 β - 内酰胺抗生素都具有高水平检测活性。而且同时存在的 β - 内酰胺酶抑制剂 EDTA 和阿维巴坦不会对传感器检测抗生素产生影响。NDM-1 传感器检测法不仅可以对单一的 EBSL 或碳青霉烯酶进行检测还可对二者的混合物或同时表达两类酶的耐药菌进行检测。传感器检测法对产 ESBL 耐药菌和产碳青霉烯耐药菌的检测灵敏性分别比 ESBL NDP 和 Carba NP 方法提高 16 倍和 8 倍。该传感器可在 1 小时内完成产 ESBL 和碳青霉烯酶耐药菌的同时检测，而且可对所测碳青霉烯酶进行进一步分类分析。临床回顾性研究发现 NDM-1 传感器法对 ESBL 和碳青霉烯酶表达菌的检测灵敏性和特异性均为 100%。

结论： NDM-1 传感器检测法可对产 ESBL/ 碳青霉烯耐药菌同时进行快速、准确检测。

关键词：酶热传感技术；抗生素耐药；b- 内酰胺抗生素；ESBL；碳青霉烯酶

基于石墨烯纸微波辐射光谱的碱金属离子的检测

蒋文帅 *[1,2,3]、王书敏 [1,2]、李振新 [1,3]、于毅 [1,3]

1. 新乡医学院医学工程学院

2. 新乡市神经生物传感重点实验室

3. 河南省神经传感与控制工程技术研究中心

目的：微波辐射固态氧化石墨烯的过程中，常常伴随着剧烈的发光现象。阳离子修饰的氧化石墨烯薄膜的制备以及基于氧化石墨烯膜的离子筛分过程中常常会在固态氧化石墨烯膜中引入离子，但是离子引入对石墨烯微波辐射光谱的影响还需要进一步探究。

方法：在我们的研究中，通过将氯化锂、氯化钠和氯化钾预处理滤纸和滴涂法相结合，我们分别制备了锂离子、钠离子和钾离子修饰的无支撑氧化石墨烯膜；然后为了更好地响应微波，我们将制备的氧化石墨烯纸放于恒温干燥箱中加热 2 小时，获得轻度还原的氧化石墨烯纸。随后将制备的还原氧化石墨烯膜放入家用微波炉中进行微波辐射，辐射时间控制在 3-5 秒内。微波辐射石墨烯纸的过程中伴随着剧烈的发光，光纤探头被固定在微波炉的外面用于采集微波辐射过程中的发光光谱。

结果:结果表明不同离子（锂离子、钠离子、钾离子）修饰的还原氧化石墨烯膜的微波辐射光谱是明显不同：锂离子修饰的 RGO 膜的微波辐射光谱，其谱线分别在 588 nm、609 nm、670 nm、765 nm、778 nm 和 811 nm 处，其中 670 nm 处的谱线最明显；钠离子修饰的还原氧化石墨烯膜的微波辐射光谱其特征谱线在 588 nm、765 nm 和 811 nm，其中 588 nm 处的谱线最明显，其它谱线明显被抑制；钾离子修饰的还原氧化石墨烯膜的微波辐射光谱在 588 nm 和 765 nm，但是钾离子的引入会导致 765 nm 处谱线明显增强，588 nm 处谱线变得不再明显。

结论：因此，我们认为不同离子修饰的微波辐射光谱中特征峰的差异，可以鉴别相应的修饰离子。这项研究为碱金属离子的检测提供了一种新的方法，在金属离子检测方面有着潜在的应用前景。

关键词：石墨烯纸；微波；光谱；碱金属离子

一种面向高原环境的自适应供氧量控制方法

任苗苗 [1]、张袭 [1]、杨川 [1]、杨慧 [1]、张羽 *[2]

1. 西北工业大学生命学院

2. 西北工业大学计算机学院

目的：现高原地区已有大量供氧设备（如，定点吸氧、氧气瓶等），但存在着瓶身重量大、体积大，携带不便等问题；且由于高原环境的复杂性（如，海拔高度、温湿度、风速等），通常需要根据自身活动和所处环境来动态调整所给予的氧气量，但手动调节氧气是非常耗时的任务，且存在着供氧不及时、不安全及不合理等问题。现通过该可穿戴智能供氧系统解决高原供氧设备携带不便，以及供氧不及时、不安全及不合理等问题，从而减轻高原缺氧对人体的影响。

方法：针对现有高原供氧设备存在的问题，提出了一个面向高原环境的可穿戴智能供氧系，该系统主要功能是监测人体的生理状态参数（如，心率、血氧饱和度、呼吸等）并预测其变化的趋势以及根据自适应控制器动态响应周围环境。首先，针对人体生理参数和缺氧之间的量化关系，先从采集的信号里提取人体生理状态参数特征，再结合训练集中的标签构建生理状态特征与缺氧的对应关系。然后，针对不及时、不安全供氧问题，采用深度学习模型 CNN-LSTM、LSTM 等方法从数据集中提取生理参数高维特征并对人体生理参数进行中长期预测，再结合前面对应的量化关系合理控制电磁阀开关时间。最后，针对高原环境的复杂性，采用自适应控制算法 LMS 实现对外部环境的动态响应，将人体生理参数和环境参数进行输入，控制器不断地进行参数迭代更新，以适应环境的变化使系统始终工作在最优或次最优的运行状态。

结果：实验结果验证表明：我们提出的可穿戴智能供氧系统预测精度为 90% 以上，有效缩短了需氧与供

氧之间的时间，实现了及时、安全供氧，且具有小型化、智能化、便携式等特点可满足高原作业人员的供氧需求。

结论：我们提出的面向高原环境下的可穿戴供氧系统可以有效地解决供氧不及时、不安全以及不便携等问题，可为高原供氧问题提供一定的研究基础。

关键词：高原环境；可穿戴；智能供氧

基于可穿戴 BT 网络的能量有效心电监测数据传输策略研究

赵文娟[1]、李慧[1]、亢羽童[2]、杨慧[1]、张羽*[2]

1. 西北工业大学生命学院

2. 西北工业大学计算机学院

目的：针对心电监测实时性、持续性等要求下对可穿戴 BT 网络数据传输产生的能耗和时延难以有效平衡问题，构建移动健康可穿戴 BT 网络能量有效的数据传输策略，降低 ECG 数据传输时延，实现能量有效的长期 ECG 心电监测。

方法：构建在移动可穿戴环境下的蓝牙网络多路径传输框架，利用双向分割多路径传输调度方法降低传输延迟；监控 BT 信道质量预测 BT-WiFi 切换降低切换延迟；最终实现自适应接口选择策略平衡传输时延和能耗之间的关系。首先，使 BT 和 WiFi 处于激活状态，使用 Linux 套接字 API 和蓝牙 API 构建一条路径为可穿戴设备与服务器之间的 WiFi 路径、一条路径为可穿戴设备 -Proxy- 服务器之间的 BT 路径的可穿戴设备多路径框架；利用 WiFi 和 BT 子流双向分割多路径传输调度方法使两条子路径以相反的方向传输数据，并估计两个子流的到达时间并在发送端引入一个时间差 Δt 保证接收端子流同时完成传输；设置一个合理的阈值，当两个子流相遇后在其相应的方向上执行重新注入。然后，监控 BT 信道质量并设置合理阈值来预测 BT-WiFi 切换，当低于阈值且 BT 仍可用时主动建立 WiFi 连接并切换；利用可穿戴设备多路径框架通过添加新的 WiFi 子流进行数据调度；当执行 BT-WiFi 切换时将 BT 路径上所有未确认的数据发送到 WiFi 路径。最后，使用类似的方法实现 WiFi-BT 的切换，并利用卡尔曼滤波对 RSSI 进行平滑处理，在进行切换后设置 t 秒使可穿戴设备在新子流上停留以防止 BT 和 WiFi 之间的振荡。

结果：实验验证结果表明，我们的传输策略与传统传输方法相比，传输延迟、切换延迟降低，可穿戴设备的设备电量消耗增加低于 1%，在异构无线环境中很好地平衡了时延和能耗之间的关系。

结论：我们提出的基于可穿戴 BT 网络的能量有效心电监测数据传输策略能够持续为心血管病患者长期持续心电 ECG 监测提供有效支撑。

关键词：可穿戴；心电监测；数据传输策略；能量有效

基于表面等离子体共振特性的金银合金纳米笼折射率灵敏度调控

覃秋香[2]、李剑君*[1]、翁国军[1]、朱键[1]、赵军武[1]

1. 西安交通大学生 命科学与技术学院 生物医学信息工程教育部重点实验室

2. 西安交通大学生 命科学与技术学院 生物医学信息工程教育部重点实验室

目的：基于贵金属纳米颗粒的局域表面等离子体共振（LSPR）受到纳米颗粒的形貌、尺寸及环境折射率影响的特性，其 LSPR 特性对环境折射率的显著依赖性常用于开发 LSPR 折射率传感器。其中金银合金纳米笼具有的孔洞、较大比表面积、可调金银比、中空腔和外部尖端等特征增加了其 LSPR 峰在可见光和近红外光区域的可调性，在构建折射率光学传感器方面具有潜在的应用价值。

方法:研究采用离散偶极近似方法（DDA）计算出金银合金纳米笼 LSPR 光学特性及折射率灵敏度与壁厚、

孔洞直径和金银比的关系，并通过计算局域电场和电场矢量深入研究了 LSPR 峰产生的物理机制。为了进一步验证 DDA 理论计算结果，以银纳米立方体为刻蚀模板制备了金银合金纳米笼，并研究该纳米笼在不同折射率溶液中折射率灵敏度。

结果：基于构建的面上有立方形孔洞及内部立方体中空的金银合金纳米笼模型，发现其 LSPR 峰和折射率灵敏度随壁厚减小或孔洞增大而呈指数增加，但其 LSPR 峰随金成分增多而线性增加且其折射率灵敏度随金成分增多而呈线性降低。另外在 {100} 面上孔洞较大的情况下，金银比和壁厚可以有效控制金银合金纳米笼折射率灵敏度。继而基于局域电场和场矢量分布探究了壁厚、孔洞和金银比调控 LSPR 峰位移动的物理机制，主要源于局域电场“热点”和孔洞表面、空腔和纳米笼外表面的场矢量分布不同。实验发现折射率灵敏度随氯金酸体积的增加先增大后减小，折射率灵敏度有最优值。通过 TEM 表征，发现在纳米笼表面孔洞较大、银原子较多及壁厚较小时，金银合金纳米笼具有最优的折射率灵敏度，实验结果与上述理论计算结果吻合较好。

结论：基于 DDA 理论计算，发现金银合金纳米笼的折射率灵敏度可以通过减小壁厚，减小金银比及增大孔洞来优化，继而通过实验验证了实验结果与理论计算结果吻合较好。

关键词：金银合金纳米笼；折射率灵敏度；局域表面等离子体共振；离散偶极近似法

金纳米四角星折射率传感特性理论研究

卢林昱、翁国军、李剑君、朱键、赵军武 *

西安交通大学生命科学与技术学院 生物医学信息工程教育部重点实验室

目的：由于具有良好的生物相容性，纳米金材料在生物传感、医学诊断与治疗等领域广泛应用。拥有尖锐分支结构的金纳米星颗粒由于其尖端局域场增强效应，在生物增强光谱领域成了研究热点。但当前多数金纳米星的合成方法无法精准控制生长的枝杈数量，无法获得结构均匀的多枝杈结构。金纳米四角星是目前能够稳定制备出的一种拥有尖锐枝杈尖端并且能够稳定控制枝杈数量的纳米星结构。同时，金纳米四角星具有较为宽广的局域表面等离子体共振（LSPR）峰可调范围，在折射率传感应用方面的潜力凸显。

方法：在 Matlab 中建立以球为核、以圆锥为枝杈的四角星结构模型，利用 DDA 算法计算了 LSPR 峰位随周围环境折射率变化的移动规律，并研究了纳米四角星枝杈长度以及金属组分对纳米四角星的折射率传感特性的影响。

结果：随着枝杈的增长，金纳米四角星的灵敏度从 88.2 nm/RIU 增大到 280 nm/RIU，场增强因子也有明显增大，并且四角金属纳米星的枝杈折射率灵敏度比球形内核更高。当改变四角星枝杈金属组分时，计算得到不同枝杈组分的四角星折射率灵敏度，银枝杈四角星的折射率灵敏度为 320 nm/RIU，铝枝杈四角星的折射率灵敏度为 214 nm/RIU，铜枝杈四角星的折射率灵敏度为 241 nm/RIU。

结论：计算结果表明银枝杈四角星具有最佳的折射率传感灵敏度。上述理论结果可以为不同环境介电环境中的多枝杈贵金属纳米结构生物传感研究提供理论指导。

关键词：纳米四角星；折射率灵敏度；局域表面等离子体共振；局域场增强

从熵测度视角进行基于穿戴式心震信号的二尖瓣反流评估

杨晨熙 *[1]、耿乐 [3]、颜昌 [1]、李钰雯 [1]、杨美程 [1]、樊佛莉 [1]、李建清 [2]、刘澄玉 [1]

1. 东南大学仪器科学与工程学院，生物电子学国家重点实验室

2. 南京医科大学生物医学工程与信息学院

3. 南京医科大学第一附属医院（江苏省人民医院）心脏大血管外科

目的：心震信号（Cardio-mechanical Signals）是由心脏机械运动产生的经放置在胸腔体表的传感器采集的震动信号，其线性震动（SCG）和旋转震动（GCG）的成分可分别由加速度计和陀螺仪采集。近些年的研究展示了心震信号在心脏瓣膜病的检测中的潜力。现有的工作特征生成方式较为单一且数据量小，评估准确度也较低，总体性能有待进一步提升。因此，我们提出一种基于熵测度的心震信号特征生成方法，并基于此方法进行了二尖瓣反流的初步评估与验证。

方法：首先，基于心电信号对三维 SCG 和三维 GCG 信号进行基于心拍的分割，形成六路一维时域信号，分割时以心拍长度为参数选择 1 拍、5 拍、和 10 拍等不同长度并进行横向对比；然后，利用五种熵测度方法（排列熵、分布熵、样本熵、模糊熵、近似熵）将心震信号转化为特征，并将其作为数据集；接着使用数据驱动的分类算法进行模型训练，以分类结果评估二尖瓣反流的严重程度，同时对特征重要性及来源进行分析。数据集由来自中国和美国的 100 个患者的样本构成，其中包括 51 位患有中度及以上二尖瓣反流的患者和 49 位中度以下的患者。

结果：实验表明，所提出的算法的最优平均分类正确率为 91.1%，标准差为 1.3%；在使用的特征中，GCG 的 x 和 y 轴信号的排列熵、SCG 的 y 和 z 轴的样本熵等特征对二尖瓣反流的评估显示较高的 SHAP 分数，具有较强的影响性。

结论：初步结果验证了基于熵测度提取特征对于二尖瓣反流评估的潜力，对于进一步构成心脏瓣膜病的院外评估方法具有一定的指导性意义。

关键词：心震信号；熵测度；心脏瓣膜病；特征重要性分析；

颅内局部水肿的多点近场耦合对称抵消检测方法研究

曾令熙 [1]、李根 *[1,2]

1. 重庆理工大学

2. 陆军军医大学第一附属医院

目的：作为脑损伤后常见的继发性疾病，脑水肿会引起颅内压非正常升高，若不能对其进行及时检测并采取适当的干预，甚至会引发脑移位和脑疝，最终导致患者死亡。因此，脑水肿的实时连续检测具有重要的临床意义。近场耦合技术是一种通过检测生物组织不同的介电特性的方法。该方法具有无创、非接触、实时连续、穿透强等优点。本文将基于近场耦合技术，提出一种对脑水肿检测进行对称抵消 (Symmetry Cancellation，SC) 的方法

方法：首先利用射频仿真软件，对微带天线进行近场仿真评价和验证该方法的可行性，利用建模软件对所需的简易头颅模型进行 3D 建模。其次，结合近场耦合原理，由头颅模型、多路开关控制器、矢量网络分析仪、PC 端、2X2 天线阵列组成的物理实验平台。再通过向头颅模型中滴加生理盐水（0ml-4ml，进步 1ml）进行物理实验。最后通过对物理实验的数据先在各自半脑工作频率下减去初始相位，再进行 SC 方式处理。

结果：通过各个半脑分别减去初始相位可知，随着滴加生理盐水的不断上升，各个半脑的 S21 相位的偏移越多，且在距离水肿位较近的半脑偏移大于距离水肿位较远的半脑偏移，这说明可以进行 SC 的方式处理提高其检测的准确性。通过对不同体积下的各个半脑的数据 SC 处理可得到两根逐渐上升的曲线。这说明随

着模拟水肿的体积增加，通过 SC 处理后的效果越明显。

结论：多点近场耦合可用于检测脑水肿，为进一步提高其检测的准确性，本文提出一个基于多点近场耦合原理的 SC 处理方法。为验证该方法的可行性，本性先进行仿真验证后进行物理实验，验证了该方法的可行性，为后一步的动物实验及临床试验研究奠定了较为坚实的基础。

关键词：脑水肿；微带天线；对称抵消

Wearable Pressure Sensors based on MXene/Tissue Papers for Wireless Human Health Monitoring

Li Yang*

河北工业大学

Objective: The widely available, low-cost, and disposable papers have been widely used as the active sensing material and flexible substrate in flexible paper-based pressure sensors. However, it remains a challenge to simultaneously achieve high sensitivity, broad pressure sensing range, and low limit of detection in the paper-based pressure sensors.

Methods: We design and demonstrate a flexible paper-based pressure sensor that features a sandwich device structure with MXene/tissue paper sandwiched between a polyimide (PI) encapsulation layer and a printing paper substrate with printed silver interdigitated electrodes. In brief, the interdigitated electrodes with a finger width of 0.8 mm and spacing of 0.6 mm in an area of 14.7 mm × 10 mm are fabricated on a printing paper by screen-printing silver paste. Next, a sheet of tissue paper (10 mm × 10 mm) immersed in the MXene dispersion and dried in a vacuum prepares the MXene coated tissue paper in a black color. After placing the MXene/tissue paper at the center of interdigitated electrodes, using an adhesive PI tape to encapsulate the entire structure yields a flexible MXene/tissue paper pressure sensor.

Meanwhile, the pressure sensor can also be integrated with signal processing and wireless communication module on a face mask as a remote respiration monitoring system to wirelessly detect various respiration conditions and respiratory abnormalities for early self-identification of cardiopulmonary diseases. The remote respiratory monitoring system first converts the resistance variation of the MTP pressure sensor to a voltage value through a voltage divider, removes the noise by a low pass filter, and then digitizes the signal using a 16-bit delta-sigma modulator. The digitized signals wirelessly transmitted via a Bluetooth module can visualize the signal on the smartphone.

Furthermore, configuring the pressure sensors into an array layout provides the smart artificial electronic skin for mapping the spatial pressure distribution. The pressure sensor array with 4 × 4 units on a single interdigital electrode matrix can identify the position and pressure magnitude.

Results: The MTP pressure sensor with a low detection limit of 1 Pa, high sensitivity of 509.522 kPa-1, wide sensing range from 0 to 100 kPa, and fast response/recover (150/60 ms) can be applied to capture various human physiological signals, such as phonation, pulse, blood pressure, and respiration, etc. Meanwhile the pressure sensor can be used in motion monitoring, three different motion states from standing, walking, and jumping can be clearly distinguished from the signal magnitude created by the progressively increasing pressure. As the breath flow changes the resistance of the MTP pressure sensor, the remote respiration

monitoring system can monitor the real-time respiratory from a healthy human subject before and after intense exercise and wirelessly transmitted to smartphones.

Conclusion: In summary, we have reported the design, characterization, and demonstration of the MTP pressure sensor with high sensitivity over a broad pressure range. The application of the system ranges from early self-identification of opioid overdose to cardiopulmonary diseases.

Key words: paper-based press sensor; human health monitoring; low cost

用于剧烈运动下生理电信号监测的柔软可拉伸干电极系统

刘志远 *、谢瑞杰、田琼

中国科学院深圳先进技术研究院

目的：人体的生理活动中伴随产生多种生理电信号，在日常生活中对这些生理电信号进行连续监测在健康监测、人机交互、智能假肢等领域具有重要应用。而运动是人类日常活动中不可避免的一种行为，在剧烈运动中对生理电信号进行稳定监测成为实现这些应用的重要一环。针对运动过程中皮肤的剧烈晃动及出汗现象，本研究开发了兼具抗运动及抗汗性能的干电极以期实现剧烈运动中的生理电信号监测。

方法：厚度在纳米级别的可拉伸电极可以在范德华力的作用下与皮肤进行超贴敷，从而提升电极的抗运动性能。在此基础上制备多孔结构，可实现其透汗性的提升。依据马兰戈尼效应，将高分子溶液铺展在水面制备出多孔超薄可拉伸薄膜，以此为基底制备导电层得到多孔超薄可拉伸电极。此外，基于粘弹动态交联网络制备了可对皮肤纹理和毛发进行无缝填充的柔性粘弹干电极。

结果：所制备多孔超薄可拉伸电极厚度小于 200 nm，拉伸率超过 120%，透水汽性超过 25.3 g h-1 m-2，这使其可以在出汗状况下与皮肤保持共形贴附，并随皮肤拉伸。它与皮肤所形成的稳定界面使其在 2.8 mg cm-2 min-1 的出汗速率下，受试者以 10 g 的加速度挥动胳膊时，可以对肌电信号进行稳定采集。此外，它还可以在 3.2 mg cm-2 min-1 及 2.6 mg cm-2 min-1 的出汗速率下分别对心电及脑电进行监测。所制备粘弹电极对皮肤纹理渗透所形成的稳定界面使其可以贴附在胸口对受试者扩胸运动中的心电信号进行稳定监测。

结论：电极与皮肤进行稳定贴附，并可随皮肤拉伸是实现运动过程生理电信号稳定监测的前提。汗液聚集会影响电极与皮肤的界面稳定性，因此，电极还需要具有优异的透水汽性能。本研究通过制备多孔超薄可拉伸电极及粘弹电极构筑稳定的电极与皮肤界面，实现了剧烈运动中生理电信号的监测。

关键词：生理电信号监测；抗剧烈运动；多孔超薄可拉伸电极；粘弹电极

基于液态金属的弹性导线和应变传感器用于可穿戴设备的研究

唐立雪

首都医科大学

目的：液态金属如镓的合金由于其具有金属级的导电能力和液体的变形能力，常被应用与柔性和弹性电子中。本研究基于液态金属 - 高分子弹性导体搭建可穿戴医疗系统，用于人体健康的实时监测。可穿戴医疗系统包括体表织物上柔性可拉伸的互联导线系统，电路控制系统以及分布于体表上的各种传感器和执行模块，如动作传感器、温度传感器、离子传感器、心电传感器、肌电传感器、加热模块、电刺激模块等。本研究中

的液态金属 - 高分子弹性导体可直接作为可穿戴系统中的导线系统以及应变传感器，通过与刚性电子元器件的连接，即可实现实时、连续地从人体收集人体信息，如心电、温度、肌电、体表离子浓度以及各种动作信息。

方法：采用液态金属颗粒与高分子复合的方法制备液态金属 - 高分子油墨，通过丝网印刷的方法图案化液态金属，采取转印烧结、应变烧结以及湿度烧结的方法烧结液态金属油墨，使得液态金属颗粒破裂，在油墨内部形成导电通路。通过可分泌焊料的液态金属导体、液态金属 - 碳纳米管焊料、热压等方法实现刚性电子器件与柔性液态金属导电的连接。最终实现液态金属弹性功能电路的制备。

结果：本研究开发了液态金属 - 高分子弹性体导体材料。该材料导电性高，弹性好（ 1000% 时电导率 380000 S/m），抗疲劳能力强，生物相容性好，可印刷在各种弹性的基底上。结合丝网印刷技术，了液态金属 - 高分子弹性体导体可以进行大规模、大面积的印刷。本研究还克服了软导体和刚性电子设备之间连接的困难。因此，MPC 可用作各种可穿戴设备（例如用于心电图检测的智能 T 恤）的弹性互连导线。

液态金属 - 高分子弹性体导体材料还可用作应变传感器（将 MPC 打印成蛇形结构），用于测量皮肤表面的变形，最佳的变形测量范围为 0-80% 的应变范围，应变分辨率约为 0.1%。我们将这些应变传感器安装在关节和肌肉上，以检测关节角度和肌肉收缩。

结论：本研究的液态金属材料可广泛用于可穿戴设备的导线和应变传感器的制备。

关键词：液态金属；弹性电子；应变传感器；可穿戴设备

Development and Characterization of A Generic Wearable Single-Channel Ear-EEG Recording Platform

Hongyu Liang 、Rong Liu*、Xiyu Ji、Yaru Chen

大连理工大学

Objective: It has been demonstrated that electroencephalography(EEG) signals can be acquired from electrodes placed on a substrate inserted into the ear, and the interest in dry Ear-EEG has increased in recent years. However, the challenge is the need for an excellent durable electrode material to ensure the stable quality signals can be collected after repeated insertions. To achieve a sustained ear-EEG recording platform, a new method to design a generic substrate electrode was proposed.

Methods: According to the survey that ear dimensions are more in line with normal distribution across large human populations, we select the appropriate generic earpiece parameters by ear impressions and 3D scanning with micro-CT. The generic substrate candidates were designed with these average measurements and then scaled up and down by a standard deviation to make small and large substrates. After 3D printing, the ear-EEG recording electrode combined with flexibility and biocompatibility polydimethylsiloxane(PDMS) and relatively robust to mechanical motion artifacts AgCl powder sintered electrode. The electrical and mechanical characteristics of the ear-EEG recording platform were evaluated with five experiment paradigms: alpha-band modulation, auditory steady-state response, steady-state visual evoked potential, mismatch negativity, and visual evoked potential with different ear sizes of subjects were included. Recordings from the prototyped generic Ear-EEG platform were compared to conventional scalp EEG recordings.

Results: The Ear-EEG electrode exhibits good wear resistance. Even after repeated insertion and removal of the electrode, the quality of the electrode acquisition signal is stable. Recordings of ear-EEG and scalp-EEG with the same instrumentation and paradigms showed statistically significant ($p < 0.05$) responses for both electrode configurations were measured for all paradigms.

Conclusion: This study shows that the AgCl powder sintered electrode with PDMS recorded an ear-EEG response to various external stimuli. This earplug-shaped generic electrode offers an inconspicuous recording that maintains the user's privacy. The shape and softness of the electrode enable it to be worn without any gel or additional devices and to be worn repeatedly or for long periods while maintaining excellent contact. The electrode can also provide sound stimulation and applies to auditory BCI. This electrode addresses several limits of conventional electrodes and promises a novel paradigm of inconspicuous EEG recording, not only for partial clinical use but for BCI and sleep monitoring.

Key words: Electroencephalography (EEG); Ear-EEG; dry-contact electrode; wearable EEG; powder sintered electrode

基于儿茶酚的导电聚合物用于高性能植入式生物电池

贾晓腾

吉林大学

目的：微型化植入式电池是驱动植入式医疗设备稳定运行的重要保障。目前植入式电极材料普遍存在如何兼顾电化学性能和生物安全性的难题。通过发展新型聚合物电极材料，调控聚合物的组成和分子结构，使其同时具有优异的导电性、电化学活性和生物相容性是解决上述挑战的关键。多巴胺是一种生物内源性的儿茶酚类化合物，由于其快速且可逆的氧化还原活性，被广泛应用在环境友好和生物相容的储能器件中。

方法：在本文中，我们通过生物启发的分子设计工程，合成了多种含有儿茶酚结构的聚苯胺和聚噻吩衍生物。 这种材料可以利用聚多巴胺的氧化还原活性和润湿性，以及导电高分子提供的电子导电能力。将聚（3，4- 乙烯二氧噻吩）（PEDOT）与氧化还原分子儿茶酚吊坠接枝制备了一种赝电容型聚合物正极材料，通过与扩散型聚合物负极匹配，构建了全聚合物的水系质子电池。

结果：这种含有儿茶酚结构的导电聚合物具有良好的生物相容性，经过成像分析证明材料无细胞毒性作用。 在中性硫酸钠电解质中可提供 160 mAh g-1 比容量。该质子电池可提供 0.72 V 的输出电压，出色的倍率容量（从 0.5 到 25 A g-1 的容量保持率为 64.8%）和循环稳定性（ 1000 次循环后容量保持率为 80%）。非原位光谱（FT-IR, Raman 和 XPS）证实了儿茶酚在充放电不同阶段中 C-OH 与 C=O 的可逆变化，以及 PEDOT 主链的阴离子嵌入过程。结合 DFT 理论计算，通过将儿茶酚基团引入 PEDOT 骨架，产生显著的电子离域，氧化还原侧基与共轭骨架的电子云分离有利于实现赝电容电荷存储，从而实现优异的倍率性能。

结论：通过非原位谱学表征和 DFT 计算加深了对于醌式聚合物电极中质子存储机制的理解，突出了合理设计高性能聚合物电极用于可持续储能系统的的可行性。这种含有儿茶酚结构的导电聚合物材料有望用于多种环境友好和生物相容的能量存储器件。

关键词：导电高分子生物相容；聚合物电极；水系电池；植入式电池

检测神经炎症的活体检测装置

刘国珍

香港中文大学（深圳），医学部生命与健康科学学院

To develop a sensitive and reliable biosensing device which can be used for detection of multiple cytokines in vivo to quantify neuroinflammation towards understanding the neurodegenerative diseases, such as Parkinson's disease. Specifically we developed a cytokine detection device based on a silica optical fibre for monitoring of locally multiple pro-inflammation cytokines using a sandwich immunoassay scheme.

This device was applied to the detection of three cytokines (IL-6, TNF-α, IL-1β) with the sensitivity of 1 pg mL-1 in the sample volume of 1 μL. It has the linear detection range of 1-500 pg mL-1 and spatial resolution of 300 μm. We successfully developed a universal biological detection system which is suitable as a in vivo platform for early diagnosis of neurodegenerative disease.

Key words: Cytokines; optical fiber based deployable devices; neuroinflammation; in vivo biosensing; Parkinson's disease

青年学者 - 青年优秀论文复赛

面向回转滑雪的双链式穿戴系统惯性传感模块的开发

王烨 冯茹靓 王琳 *

[1]（中国科学院深圳先进技术研究院，深圳 518055）

至今尚未形成肢体协调靶向干预训练的首要原因是对于具备显著特征的相关运动缺乏大规模样本的量化分析，而传统动捕系统难以用于日常训练，需要更简便的工具和方法来搭建科研与实际训练之间的桥梁。因此，我们提出开发一种基于双链人体运动模型的可穿戴系统，以高山滑雪回转运动为研究对象，力求在其日常训练中实现对关键运动学与动力学参数的实时监测，以便为将来通过大数据分析探明肢体协调模式规律并建立生物力学反馈训练法奠定基础。双链模型与可穿戴系统相辅相成，基于惯性传感技术原理和分布式协同控制策略，提供量与质最优组合的人体运动生物信息。本文主要介绍可穿戴系统惯性传感模块的开发过程及相关预实验测试，原型样机利用 Teensy 4.0 开发板和 TCA9548A-I2C 多路复用器控制 6 个惯性测量单元协同工作。

关键词：可穿戴系统；惯性传感器；人体运动建模；高山滑雪回转项目；肢体运动协调

依托三维孔洞结构的肿瘤细胞培养与活性小分子原位监测

陈大竞 # 汪程成 张心然

（杭州师范大学药学院，浙江杭州 311121）

我们将多孔中空纤维管与肿瘤细胞培养与监测相结合，实现了依托三维孔洞结构的细胞培养和活性小分子 H_2O_2 和 NO 的长期连续电化学测量。所构建的细胞 H_2O_2 和 NO 电化学传感器具有高灵敏度、稳定性、选择性以及生物相容性，实现了药物刺激下肿瘤细胞释放的微量 H_2O_2 和 NO 的实时原位检测。细胞在更加贴近实际生物环境的多孔结构上生长，用于构建仿生三维团簇；传感物质包覆在管外壁，提升了对细胞分泌的活性小分子的捕获效率，从而大幅提升了检测灵敏度。与传统的细胞培养－电极检测模式相比，该中空纤维管结构减少了活性小分子到达电极表面的距离，具有更高的信号传输效率，有效增加了活性小分子的捕获效率。同时实现了电极与细胞之间的空间位置相对稳定，将原有分钟级别的细胞电化学检测拓展为 30 小时以上的连续测量，为分析肿瘤细胞状态以及抗肿瘤药物筛选提供更为全面的信息。

关键词：肿瘤细胞；一氧化氮；过氧化氢；中空纤维管；连续检测

研究生 - 青年优秀论文复赛

A Fully Integrated Closed-loop System based on Mesoporous Microneedles-Iontophoresis for Diabetes Treatment

Xiangling Li[1], Xinshuo Huang[1], Xi Xie[1,2,*]

[1]State Key Laboratory of Optoelectronic Materials and Technologies, School of Electronics and Information Technology; Guangdong Province Key Laboratory of Display Material and Technology, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, China.

[2]The First Affiliated Hospital of Sun Yat-Sen University, Guangzhou, China

Diabetes, as a common metabolic disease, seriously threatens the health of patients. The incidence of diabetes is rising rapidly, driven by accelerating urbanization, unhealthy diets and increasingly sedentary lifestyles. Clinically, there is an urgent demand to develop a integrated system that could mini-invasively tracks blood glucose and intelligently release drugs and treat diabetes. Microneedle array technology has been extensively studied in biosensing or transdermal drug delivery for their painless, minimally invasive, and biosafety advantages in recent years. In this work, for the first time to the authors' knowledge, a fully integrated wearable closed-loop system (IWCS) based on mini-invasive microneedle iontophoresis platform is developed for blood glucose monitoring and treatment. The IWCS consists of three connected modules: 1) a mesoporous microneedle-reverse iontophoretic glucose sensor; 2) a flexible printed circuit board as integrated and control; and 3) a microneedle-iontophoretic insulin delivery component. The painless microneedles and wearable design endows this IWCS as a highly promising platform to improve the therapies of diabetic patients. The system can continuously and effectively monitor the changes in human blood glucose, providing a controllable way of drug delivery. It has realized the closed-loop treatment of diabetes with "painless penetrating the skin by mesoporous microneedles, tracking blood glucose in situ, and promoting the penetration of insulin through the skin by Iontophoresis". It also promotes the development of the closed-loop system of diabetes treatment for portability, automation and intelligence. In addition, this suite of system holding great potential to be expanded to applied to the monitoring and treatment of various other chronic diseases. This would positively promote the emergence of a new generation of theranostic platforms for modern medicine.

基于柔性神经电极阵列的在体嗅觉感知技术研究

段言（研究生）[1] 王苏浩 [2] 袁群琛 [1] 庄柳静 [1*] 宋吉舟 [2*] 王平 [1*]

[1]（浙江大学 生仪学院 生物传感器国家专业实验室 生物医学工程教育部重点实验室，杭州 310027）

[2]（浙江大学 浙江大学工程力学系 软物质科学研究中心 浙江省软体机器人与智能器件研究重点实验室，杭州 310027）

目前人类对嗅觉感知的认识还很少，本文提出了基于植入式柔性电极记录小鼠的嗅觉神经信号，在体研究对气味的响应机理，对于认识嗅觉的感知机制具有重要的意义。嗅觉嗅上皮是哺乳动物嗅觉感知过程中最先接触气味分子的感受器，位于其上的嗅感觉神经元将气味信息转换为电信号，经过嗅球整合后传入嗅皮层。嗅鼻甲复杂的几何构造使得刚性电极难以贴附于嗅上皮并保持良好的电生理记录。本文设计并制作了柔性神经电极，采用辅助植入策略将电极分别植入小鼠的嗅上皮和嗅球，同时采集两个区域的神经电信号，并利用视频跟踪系统同步记录小鼠嗅探气味的行为学信息和气味诱发的局部场电位（LFP）信号，初步分析了气味诱发前后 LFP 信号各频段的能量变化。结果表明，柔性神经电极成功记录到嗅上皮和嗅球的神经电信号，气味诱发的信号在 gamma 频段有显著的能量增强，证明了利用柔性神经电极实现嗅觉神经信号传感和记录的可行性。

关键词：柔性神经电极阵列；嗅觉传感与感知技术；嗅上皮；嗅球；场电位

基于 CNN-LSTM 的低压缺氧环境移动穿戴式呼吸频率预测方法

张羽

（西北工业大学　西安 710072）

研究背景：在低压缺氧环境中，呼吸频率是呼吸信号的核心参数之一，是反映生命体征的重要信号，对呼吸频率的变化进行实时有效预测将对解决低压缺氧环境的生命健康保障起到关键作用。由于人体在低压缺氧环境中的呼吸频率具有非平稳、非线性等特点，而传统统计模型（如，卡尔曼滤波器、自回归移动平均等算法）虽可以实现短期预测，但不能分析变量之间的非线性关系；且呼吸频率易受不同海拔高度、温湿度等复杂环境因素的影响，传统机器学习模型（如，反向传播网络、支持向量机等）虽可拟合变量之间的非线性关系，但只能提取表面的特征，对多维数据的学习能力较弱，因此，需要一种适用于低压缺氧环境下呼吸频率预测方法。

目的：通过 CNN-LSTM 方法预测呼吸频率的变化，提高呼吸频率的预测精度。

方法：针对传统预测方法不适用，我们提出了一种基于 CNN-LSTM 的呼吸频率预测方法，该方法中具有较强的计算能力和复杂函数拟合能力，通过多层网络结构的非线性优化，最后可从低到高提取数据中的特征。CNN 和 LSTM 的结合可以实现各个模型的优势互补，进一步提高预测精度。首先，针对采集呼吸信号时，系统和人为因素等产生的噪声会干扰原始数据的特征，提出混合小波变换（WT）对原始数据进行平滑处理以减少数据噪声的影响。然后，由于高原环境变量与人体呼吸频率密切相关，包括海拔高度、温湿度和风速等，因此采用卷积神经网络（CNN）来挖掘和存储环境变量与呼吸频率之间的潜在信息（其中最大池化机制使其能够在不丢失数据本质的情况下减少数据处理量），提取出不同因素的空间相关特征向量，按照时间序列构建，最后作为 LSTM 网络的输入数据，提取长期历史时间关系，用于呼吸频率的预测。该方法的性能通过平均绝对误差（MAE）、均方根误差（RMSE）和决定系数（R^2）作为评估指标。

结果：实验结果证明：CNN-LSTM 比 LSTM 具有更好的预测性能，与 LSTM 相比，其平均绝对误差、均方根误差分别优化了 20% 以上，其决定系数优化了 4% 以上。

结论：我们提出的基于 CNN-LSTM 预测方法在低压缺氧环境下的呼吸频率预测准确度高，为之后在高原环境下供氧的研究提供了参考。

关键词：呼吸频率；低压缺氧；预测方法

均匀激励场磁感应断层成像及其全变差滤波反投影算法研究

王道平 杜强 柯丽

（沈阳工业大学电气工程学院，沈阳，110870）

磁感应断层成像对检测脑出血具有优势，脑出血的位置与质量是该技术需要解决的问题。本文研究了均匀激励场磁感应成像检测脑出血的灵敏度，并设计了全变差反投影算法对其进行图像重建。首先，设计基于亥姆霍兹线圈的均匀激励场磁感应检测系统仿真模型，分析该系统与传统磁感应检测系统的灵敏度以及本系统检测信号的特征，对检测信号使用合适的窗函数进行处理，然后通过磁力线反投影算法进行初步的图形重建，最后经全变差最小化方法处理进一步改善图像质量，并对重建结果进行客观评估。结果表明，本系统在脑深层位置的磁场强度与灵敏度得到提高，同时保证了磁场的均匀分布，保证了检测的准确性；通过对重建图像的分析，设计的全变差滤波反投影算法成像质量有所提高，性能更好。

关键词：均匀激励场；磁感应断层成像；灵敏度；全变差滤波反投影算法

基于卷积神经网络的脑血流阻抗信号分类方法研究

张雪荣 柯丽 杜强

（沈阳工业大学电气工程学院，沈阳 110870）

为了自动提取脑血流阻抗信号的特征，准确有效地对不同类型的脑血流阻抗信号进行识别，提出了一种基于卷积神经网络（Convolution Neural Network，CNN）的脑血流阻抗信号分类方法，对大脑枕叶神经元激活前后不同状态时的脑血流阻抗信号分类。首先用卷积运算对输入的脑血流阻抗信号进行特征提取；其次将得到的多层特征进行扁平化处理得到一组特征量；然后将其输入到全连接层中实现脑血流阻抗信号的分类。对比三组用不同大小卷积核的 CNN 的分类性能，验证卷积核尺度对分类的影响，并用交叉验证测试模型的稳定性。选用的模型评价指标包括准确度、召回率、精确率和 F1 值。采集视觉刺激实验的脑血流阻抗数据，对其进行分类实验。本文模型分类准确率为 86.90%，F1 值为 87.00%，证明方法有效且具有一定的稳定性。

关键词：脑血流阻抗；视觉刺激；卷积神经网络；卷积核尺度

基于心阻抗微分环的心功能状态分析与研究

杨文卉 杜 强 * 柯 丽

（沈阳工业大学电气工程学院，沈阳 110870）

心阻抗信号携带了大量的心脏生理、病理信息，能够反映心脏的血流动力学变化，常用于心血管疾病的诊断，但心脏的收缩与舒张过程还需要进一步详细描述。本文提出基于心阻抗微分环的心功能状态研究。通过对同步采集的心阻抗与心阻抗微分信号拟合形成心阻抗微分环，并对各心阻抗微分环进行面积计算与时相划分。进行了四种呼吸频率下心阻抗与心阻抗微分信号的采集，并获取相应的心阻抗微分环。对不同呼吸频率下心阻抗微分环波形与各时相面积进行对比分析，实验证明心阻抗微分环在不同心功能状态下有明显变化，能够描述心脏供血状态，对心血管疾病的鉴别提供了一种更有效的补充手段。

关键词：心功能状态；心脏供血；心阻抗信号；心阻抗微分环

阿尔兹海默症早期筛查的嗅球细胞神经网络传感器的研究

刘梦雪[1]，陈畅明[1]，胡燕婕[2]，周勇[2]，姜楠[1]，庄柳静[1*]，王平[1*]

[1]（浙江大学 生物传感器国家专业实验室 生物医学工程教育部重点实验室，教育部脑与脑机融合前沿科学中心，杭州市，310027）

[2]（浙江大学 医学院附属邵逸夫医院，杭州市，310009）

阿尔兹海默病是一种威胁人类健康的慢性神经退行性疾病，近年来国际研究表明嗅觉障碍是 AD 的早期症状之一，可能成为阿尔兹海默病早期筛查的一种重要手段。为此，本文提出了研制基于微电极阵列的嗅球细胞神经网络传感器，通过 AβOs 诱导构建 AD 早期嗅觉障碍模型的方法；实现胞外电信号长期记录嗅球神经网络在 Aβ 诱导后受到影响，该方法有助于了解 AD 早期嗅觉功能障碍的细胞和突触机制，为诊断和治疗提供新的快速和无创的监测手段。实验表明，AβOs 诱导后，OB 神经元出现应激性反应，其胞外信号发放暂时消失，随后胞外信号重新出现但发放频率较低；但在 1h 后，OB 神经元发放频率逐渐升高，2h 后神经元的发放频率又明显下降，3h 后 OB 神经元的信号发放完全消失。且免疫荧光图像结果表示与未进行 AβOs 诱导的对照组相比，经 AβOs 诱导 3h 后的 OB 神经网络的细胞突起出现斑块，且细胞内的 tau 蛋白磷酸化水平明显升高。初步的实验结果表明，嗅球神经网络在 AβOs 诱导后会出现应激性信号发放消失、细胞毒性反应信号发放显著升高直到最终信号完全消失的变化影响。证明了本文提出的嗅球神经网络传感器在阿尔兹海默症早期筛查的可能性，通过进一步的临床实验验证，将有可能发展出一种新型的研究阿尔兹海默症的发生、发展和早期筛查的手段。

关键词：嗅觉神经网络传感器；阿尔兹海默病；嗅球神经芯片；生物医学传感技术

基于永磁阵列的磁粒子断层成像线型零磁场设计与研究

温凯诚 柯丽 杜强 祖婉妮 黄易得

（沈阳工业大学 电气工程学院 沈阳 110870）

磁粒子成像是一种新型断层成像技术，具有高灵敏度、高时空分辨率、无电离辐射的优点。目前，线型零磁场磁粒子成像系统存在功耗大、有热噪声以及孔径较小的问题，因此，本文提出一种基于永磁阵列的开放结构线型零磁场断层成像方法。首先，采用开放结构永磁体阵列产生线型零磁场，增大系统孔径，扩大成像范围，降低系统功耗同时减小系统热噪声。其次，设计电气驱动结合机械旋转扫描方式，完成断层扫描过程。最后，仿真计算和实验均表明，本文所设计的基于永磁阵列的磁粒子断层成像系统磁场梯度可达 1.149T/m，孔径大小为 65mm，图像分辨率可达 0.95mm。证明了基于永磁阵列的磁粒子断层成像系统在降低功耗，提高成像分辨率和扩大孔径方面的可行性。

关键词：磁粒子断层成像；永磁阵列；线型零磁场；空间分辨率

注意力机制 CNN-LSTM 网络脑神经活动生物阻抗模式分类研究

郑雅文 柯丽* 杜强 白云凤

（沈阳工业大学电气工程学院 沈阳 110870）

脑血流阻抗微分信号对脑神经活动状态的模式分类具有重要的价值，本文围绕脑血流阻抗微分信号处理及其脑神经活动模式分类，提出一种基于注意力机制的 CNN-LSTM 网络对信号分类的方法。首先设计一种卷积神经网络，对脑血流阻抗微分信号进行特征提取，提取脑血流阻抗微分信号形态特征；其次搭建注意力机制长短时记忆分类网络，对卷积网络提取的脑血流阻抗微分信号特征参数进行处理，实现不同神经活动状态下的脑血流阻抗微分信号特征参数自动分类。最后，实验结果表明，基于注意力机制的 CNN-LSTM 网络模式分类准确度达 87.44%，灵敏度达 91.49%，阳性预测率达 83.49%。本方法可有效识别不同脑神经活动下的脑血流阻抗微分信号，证明生物阻抗可作为脑神经活动状态检测的一种有效表征信号，对进一步探究脑功能区活动机制提供有意义的信息。

关键词：脑血流阻抗；脑神经活动；注意力机制；卷积神经网络；长短时记忆网络

伸展和屈曲驱动方式对膝关节运动发电效率的影响

杨孟辉 潘飞羽 王人成*

（清华大学机械工程学院，北京 100000）

为了探究是由膝关节伸展还是由屈曲驱动运动能量收集装置的发电效率高的问题，本文搭建了可由膝关节伸展或者屈曲带动的单向驱动运动能量收集装置，利用心肺功能测试仪和静电计分别测试了利用这两种方式驱动以速度 1-5km/h 行走和以 7km/h 慢跑 10 分钟时的人体代谢消耗与装置发电量。结果表明两种驱动方式的人体代谢消耗没有明显的差别，而伸展驱动方式发电量大，在 10 分钟慢跑实验中功率要比屈曲驱动方式高出 39.9%。

关键词：人体能量收集；膝关节；电磁发电；代谢消耗

基于多生物特征的活体身份识别技术

邓祥，雷路平，姜月治，唐嘉泽，刘丹，王启松*

（哈尔滨工业大学仪器科学与工程学院，哈尔滨，150001）

随着互联网和云计算技术的不断发展，身份认证作为信息安全的一种重要手段越来越受到人们的重视，完成身份认证通常需要成熟的人脸识别技术。然而现有的人脸识别技术不采用或采用单一的活体识别技术，容易受到欺骗攻击，安全系数低。针对这一问题，本研究提出一种基于呼吸速率与心率的检测、红外测温、眨眼检测，LBP 人脸识别的多生物特征活体识别方法，以方便、快速、安全地解决用户身份认证问题。同时本研究设计了一套含软硬件、完备的活体识别流程并设计实验验证各个模块准确率。最后，实验数据表明，本文提出的多生物特征活体身份识别方法是可行的。

关键词：活体识别；多生物特征；毫米波雷达；IPPG；LBP

基于血管形态特征的的视网膜识别技术

李晓庆，张勇德，刘进晨
（中国医科大学智能医学学院，沈阳 111012）

视网膜是一种极其稳定的生物特征，由于处于眼球内部，与其他生物可识别生物特征相比不易磨损、不老化、不易伪造，因此可靠性比较高。视网膜血管节点作为特征用来身份识别时，由于图像的尺度和角度的变化导致检测到特征点的不稳定，造成识别准确率的下降。为了提高准确率本文设计了一个算法完成了视网膜血管的分割、细化和细节特征点提取，并使用特征点、视盘圆心与视网膜圆心三点，构建了具有尺度不变性、位置不变性、角度不变性的特征向量。最后，在 DRIVE 数据库上开展视网膜识别实验，由本文的方法取得 96.5% 的识别准确率和较快的执行速度。

关键词：生物可识别特征；视网膜识别；图像分割；特征提取

基于二维 MXene 材料的可穿戴呼吸监测研究

李鑫[1] 安子建[1] 邢欢[2] 卢妍利[1] 施政涵[1] 刘光[1] 韩平畴[2] 刘清君[1*]
[1]（浙江大学生物医学工程与仪器科学学院，杭州 310027）
[2]（江西中医药大学癌症研究中心，南昌 330004）

人体呼出气中包含的湿度、挥发性有机物（VOCs）浓度等信息与生理活动和疾病息息相关，非侵入式的呼吸监测和呼出气成分分析已成疾病诊断、健康管理及代谢研究等领域的热点。二维过渡金属碳氮化物（MXene）具有优异的导电性和丰富可调的表面官能团，在室温条件下的气体传感检测应用中极具潜力。本文分别采用壳聚糖 / 槲皮素多层修饰，以及三甲基乙酸酐功能化 MXene 表面的方法，调控 MXene 二维纳米片对水分子和 VOCs 分子的亲和性，构建基于 MXene 的湿度传感器和 VOCs 传感器。通过柔性加工技术制备叉指电极与柔性电路集成，本文提出了一种用于穿戴式呼吸监测的柔性传感监测标签，该标签可灵活地装配在口罩等日装备中，连续、实时采集呼吸湿度或呼出气 VOCs 浓度变化，实现超快的湿度响应（0.75 s），以及灵敏度增强 5 倍的乙醇响应。该工作不仅展示了 MXene 传感器的修饰策略，为呼吸分析提供了有潜力的应用方案，也为基于 MXene 的可穿戴医疗电子设备拓宽了前景。

关键词：过渡金属碳氮化物；呼吸检测；湿度；可穿戴传感器；挥发性有机物

用于多造影剂肿瘤分类性能评价的模糊 ROC 体系

姚帅廷[1]（研究生）宫正[2] 付治中[1] 陈意钒[1*]
[1](电子科技大学生命科学与工程学院，成都 611731)
[2](The University of Waikato, Hamilton, New Zealand, 3240)

本文提出了一种基于模糊逻辑的 ROC 曲线计算方法，用于评价多造影剂肿瘤分类策略的性能，并筛选出最佳多造影剂策略。肿瘤的发展阶段具有模糊性，其发展过程是渐进的，而传统的肿瘤分类方式无法完美表现真实的肿瘤发展过程，模糊启发的多造影剂肿瘤分类方法可以利用模糊性，更好的表现肿瘤发展过程的真实状态。本文所提出的模糊启发的 ROC 体系利用模糊数学理论，通过计算造影剂附着前后模糊集之间的差距，评价不同造影剂策略对于肿瘤分类的性能。本文使用一个数值例子，量化评价了四种造影剂策略对于肿瘤分类性能的影响，阐述了本文所提的用于筛选最佳造影剂策略的评价体系。

关键词：ROC 曲线；模糊数学；肿瘤分类

基于离子配位的便携式半胱氨酸定量检测传感器

刘光 李亚茹 纪岱宗 贾怡萱 卢妍利 刘清君 *

浙江大学生物医学工程与仪器科学学院，杭州 310000

检测低电活性分子如半胱氨酸同时监测身体代谢仍然是一个挑战，本文提出了一种基于过渡金属离子配位的半胱氨酸电化学传感器，具有动态检测范围和超低检测限，并设计基于智能手机的便携式检测方法。研究对形成的配合物的空间结构及其物理、电化学行为和过渡金属离子的作用进行了阐述和论证。结果表明，配位过程抑制了电子转移，金属离子在工作电极表面被还原，并出现与目标物质浓度对应的电流峰值。在本工作中，半胱氨酸的检出范围为 0-200 μ M，检出限为 0.0149 μ M，并且开发了基于智能手机的便携式检测设备，标定实验验证了智能手机的实用性。这些结果表明，过渡金属离子传感是一种极有前途的电化学方法，可用于半胱氨酸的高灵敏度、选择性以及便携式检测。

关键词：半胱氨酸传感器；镉配位；电化学传感；定量检测；智能手机

自适应双阈值视盘分割

刘进晨，张勇德，李晓庆

（中国医科大学智能医学院，沈阳 11012）

视盘分割有着广泛的应用，视盘是视网膜图像中最主要的生理结构之一，可以辅助眼科疾病的诊断。本文主要针对视网膜图像由病变产生的高亮度影响视盘定位提出一种新的自适应双阈值视盘分割法：首先在图像预处理中，本文对血管进行了消除，降低血管对定位视盘的影响，在此基础上，采用双大津阈值法分割视盘，本文对目标区域的选取进行了改进，从而提高分割视盘的精准度，最后用霍夫变换定位视盘中心坐标及视盘半径。本文主要在 MESSIDOR 数据库中进行实验，准确率为 98.33%，高于其他文献实验结果。

关键词：视盘定位；血管消除；大津阈值法；霍夫变换

用于原位口腔 pH 监测和按需给药的无线无源柔性电子贴片

施政涵 [1] 卢妍利 [1] 沈舒颖 [1] 徐懿 [2] 吴越 [1] 张芬妮 [1] 舒畅 [2] 宿凌恺 [2] 刘清君 [1*]

[1]（浙江大学生物医学工程与仪器科学学院，杭州 310000）

[2]（浙江大学医学院附属口腔医院，杭州 310000）

龋齿是全球重大的公共卫生问题，也是最普遍的非传染性疾病。早期诊断和及时治疗是预防严重龋损的关键。然而，目前临床上龋齿的检测主要依赖于医生目视检查，不能给患者提供即时的口腔护理。本文提出了一种用于口腔 pH 监测和按需给药的无线无源柔性电子贴片，可以自由贴附在牙齿表面，利用集成的近场通讯模块和智能手机进行无线的能量和数据交互。贴片采用电化学开路电势法实时监测由微生物代谢引起的局部口腔 pH 变化，并根据治疗需求电响应释放氟化物，从而实现对牙齿龋损的即时护理。体外模拟致龋细菌生长实验表明，该贴片对 pH 值的实时监测具有较高的灵敏度和可靠性，同时在电压激励下释放的氟化物具有良好的抑菌能力。本研究所提出的系统为家庭龋病防治提供了便捷有效的解决方案，也为口腔疾病的原位诊断和治疗提供了一个即时护理平台。

关键词：龋齿；电化学传感；药物递送；可穿戴；无线无源

基于激光诱导石墨烯的可穿戴的高性能防水双模态应变 - 温度传感器

陈雪[1,2] 杨丽[1,2*] 王宏丽[1,2] 姬华东[1,2] 郑广浩[1,2] 刘潮赛[1,2] 薛野[1,2] 辛明阳[1,2] 徐桂芝[12*]

[1]（河北工业大学省部共建电工装备可靠性与智能化国家重点实验室，天津 300130）

[2]（天津市河北工业大学生物电工与智能健康重点实验室，天津 300130）

柔性传感器在可穿戴式智能监控领域中具有广阔的应用前景。然而，设计和制造具有优异整体性能的应变和温度双模传感器（其中包括优异的拉伸性、高灵敏度、良好的耐久性、防水性和多功能等特点）仍然是一个巨大的挑战。在此，我们基于激光诱导石墨烯（LIG）技术一步式制备了一种柔性双模态传感器，该传感器仅用一个设备即可检测两种不同的刺激（应变和温度）。应变传感器在 0-65% 的宽线性范围内最高表现出 2212.5 的灵敏度，响应时间为 0.1s，超低检测限为 0.0167%，在 15000 次试验循环中具有出色的稳定性。温度传感器的线性检测范围为 10-163.1°C。通过成功检测人体脉搏率和呼出气体温度，测试了应变 - 温度传感器的实用能力。通过无束缚地监测关节的活动性为病人肢体康复和手语识别提供了实用价值。此外，通过调节转印过程，将原始亲水性 LIG 转变为疏水传感器，使得该传感器在潜水和游泳等水下工作中存在巨大潜力。

关键词：双模态；激光诱导石墨烯；高性能；防水

经颅聚焦超声神经调控中换能器定位仿真研究

高鹏皓 刘扬 李春胜*

（沈阳工业大学生物医学工程系 沈阳 110870）

经颅聚焦超声（transcranial focused ultrasound, tFUS）作为一项面向脑部疾病的无创超声治疗技术，已成为非侵入性神经调控的热点。由于超声穿透颅骨发生的路径和强度的改变，难以确定超声在颅骨内的焦点和强度，而数值仿真方法可以帮助确定超声换能器的位置。本文基于聚焦超声在颞叶癫痫的控制和治疗的广泛应用前景，以颞叶内侧海马为超声聚焦区域，选择人体 CT 颅骨模型，利用 k-Wave 软件数值仿真来确定换能器在颅外的位置，对颞叶海马体进行模拟仿真，为导航系统提供坐标信息。本文显示的结果是利用型号 Quadro RTX 4000 的 GPU 计算，确定换能器点阵的声压，选择峰值声压点作为换能器位置点，为进一步准直器设计和导航系统定位提供基础。

关键词：经颅聚焦超声；三维颅骨模型；聚焦换能器；导航系统

S05
生物医学光子学

特邀报告

应用于动脉粥样硬化在体诊断的全光学血管内超声成像系统

王璞 *、王磊、马丁昡
北京航空航天大学

目的：心血管疾病是世界上死亡率最高的疾病之一，全世界每年约有两千万人死于该疾病，严重影响了人类的健康与发展。造成心血管疾病事件发生最常见的原因是易损性动脉粥样硬化斑块破裂和随后血栓的形成，而评估斑块风险的最主要的指标来自于整体的、高分辨的血管内壁的形态学信息。目前临床使用的血管内超声和光学相干断层扫描等技术无法同时满足高分辨率和高探测深度的成像。

方法：为了攻克该技术难题，本课题旨在开发一种新型全光学血管内超声成像技术，通过大幅提高超声的频谱范围（100MHz）来同时提高成像分辨率、成像深度。本课题将研究两个重要科学问题：1）在光学激发超声过程中，超声频谱和激光脉冲以及激发材料的关系是什么；2）在光学检测超声器件中，如何平衡器件的灵敏度和对环境噪音的抗干扰性。通过对以上科学问题的研究，我们将进一步优化激光超声激发脉宽和基于光纤布拉格光栅的光学超声检测技术，解决传统基于压电技术超声探头带宽低（30MHz）的问题，从而实现大带宽（100MHz）、高灵敏超声的产生和检测。

结果：目前，已经完成了在血管内窥环境中使用全光学的方法对大带宽超声的可行性评估，并利用全光学的方法实现了激发 - 检测得到带宽为 22-38 MHz 和 67-88MHz 的超声，同时覆盖了低频和高频超声。该技术将实现不小于 6mm 的成像深度 , 在内膜实现 25 μ m 的轴向分辨率和 80 μ m 的切向分辨率。

结论：这一技术的验证成功将会解决血管内成像领域分辨率和成像深度不能兼顾的技术难题，开辟血管内成像产业的新技术路线。

关键词：光声成像；血管内成像；光激发超声；全光学超声检测；血管内窥镜

NIR-II dual-modal optical coherence tomography and photoacoustic imaging-guided dose-control cancer chemotherapy

Zhen Yuan
Faculty of Health Sciences, University of Macau

Objective: In this study, an organic nano-drug delivery platform was constructed as a biocompatible cancer chemotherapeutic system, in which clinically approved sorafenib was loaded in the redox-responsive polymeric micelles, enabling dose-control release of drug to cancer tissues. In addition, visualizing tumor microenvironment changes is also essential for cancer chemotherapy, which can provide a priori and feedback control of drug delivery with reduced side effect.

Methods: Therefore, second near-infrared window (NIR-II) dual-modal optical coherence tomography (OCT) and photoacoustic imaging were performed for real-time visualizing tumor microenvironment changes in vivo during chemotherapy. In particular, the tumor angiogenesis, the vascular networks density change, and the quantitative total hemoglobin concentration and oxygen saturation of cancer tissues were carefully characterized for individually optimized cancer chemotherapy.

Results: We designed a new nanocarrier platform for sorafenib delivery, through which the tumor was successfully treated with sorafenib-loaded redox-responsive SDSP micelles. In particular, the tumor microenvironment was visualized and the tumor chemotherapy process was guided and evaluated by NIR-II dual-modal OCT and PAI. It was discovered that the final tumor growth inhibition by dual-modal imaging-guided dose-control chemotherapy can be up to 94.6% during 30-day treatment, which is much higher than the efficacy from presently utilized tumor treatment options.

Conclusion: Herein, the combination of redox-responsive theranostic agent and NIR-II dual-modal OCT and photoacoustic imaging paved a novel avenue both for guiding dosage control of antiangiogenic drugs to avoid toxic effects, and for monitoring and inspecting tumor microenvironment changes while substantially enhancing tumor penetration and antitumor efficacy.

Key words: Optical coherence tomography; photoacoustic imaging; the second near-infrared window (NIR-II); tumor micro-environment; polymeric micelles; chemotherapy

构建仿生级联补氧纳米载药系统用于肿瘤光动力治疗

李斯文 *、顾月清

中国药科大学

目的：光动力疗法（Photodynamic Therapy，PDT）是利用光敏剂在特定波长光下产生活性氧杀死肿瘤细胞，是一种具有高时空选择性的微创光触发疗法。然而 PDT 治疗效果会受到肿瘤乏氧微环境的限制，因此我们构建了红细胞囊泡包裹过氧化氢酶蛋白胶束的纳米载药系统 Red Blood Cell-derived vesicles@Catalase-PCL@Ce6(RDV@CP@Ce6）将体外递氧与原位产氧有机结合起来，进行级联双重补氧，增强 PDT 治疗效果，同时改善 PDT 后乏氧，调节肿瘤免疫微环境。

方法：RDV@CP@Ce6 的成功制备通过透射电子显微镜 (TEM)、SDS-PAGE、Western blot 和激光共聚焦显微镜（CLSM）进行表征，通过氧分压仪及 CLSM 对其体外补氧能力进行了考察，采用 2’,7’- 二氯荧光黄双乙酸盐（DCFH-DA）荧光探针及 CLSM 考察其 ROS 的产生情况及光动力效应，利用小动物活体成像仪观察 RDV@CP@Ce6 在小鼠体内的生物分布，利用 4T1 荷瘤鼠模型评估其抗肿瘤效果，同时还通过流式细胞仪检测治疗后相关免疫细胞及细胞因子含量变化以探究改善 PDT 后乏氧对小鼠肿瘤免疫微环境的影响。

结果：我们成功制备了仿生级联补氧纳米载药系统 RDV@CP@Ce6，该体系粒径均一，体内外稳定性良好，体外实验表明，RDV@CP@Ce6 具有优异的体外补氧能力及光动力效应。体内实验结果表明，RDV@CP@Ce6 能高效在肿瘤部位蓄积，且经过 PDT 治疗后明显抑制肿瘤生长和转移，改善肿瘤免疫微环境。

结论：RDV@CP@Ce6 具有良好的体内稳定性及生物相容性，该体系通过 RDV 携带的氧气进行一级补氧有效增强 PDT 疗效，利用过氧化氢酶蛋白胶束分解瘤内过氧化氢产生的氧气进行 PDT 后二次补氧，进一步缓解 PDT 后肿瘤微环境的乏氧，最终重塑瘤内免疫抑制微环境，激活全身免疫，抑制肿瘤生长和转移。

关键词：光动力治疗；肿瘤乏氧；红细胞囊泡；过氧化氢酶；双重级联补氧

小动物 - 人体的在体检测技术及应用研究

黄国亮
清华大学

小动物 - 人体的在体检测技术与系统是生命科学与医学前沿科研的重要工具，也是生物医学工程领域检测技术创新和相关先进科学仪器与高端医疗装备开发的重要发展方向。小动物 - 人体的在体检测技术与系统是生命科学与医学前沿科研的重要工具，也是生物医学工程领域检测技术创新和相关先进科学仪器与高端医疗装备开发的重要发展方向。本报告系统介绍本实验室在纳米仿生材料的单探测器双模共轴小动物在体成像技术、光学无影成像的中医眼象健康分析技术、可穿戴式的石墨烯多级微结构传感在体检测技术方面的研究进展，以及这些技术在诊疗一体化、人体疾病早期预测预警、人体健康监护等方面的应用，并展望这些领域在生物医学检测技术创新研究、相关先进科学仪器与高端医疗装备开发等方面，大家可以一起努力开展的“产 - 学 - 研”合作与转化应用等潜在机遇。

关键词：在体检测；诊疗一体化；医疗装备

分子影像探针的临床转化与挑战

戴志飞
北京大学工学院生物医学工程系

分子影像探针是指能准确回答生物医学问题的功能性物质。分子影像技术通过使用高亲和性、高特异性和高灵敏度的分子探针，在活体上、在细胞和分子水平对生物学过程进行定性和定量研究，在疾病的早期诊断、分期、疗效监测和个体化治疗等领域中发挥越来越重要的作用。但是，分子影像技术在临床应用中面临的最大问题是缺乏特异性的分子影像探针。而且，每种分子影像探针都必须从管理部门获得临床应用的许可。

为实现分子影像探针的临床应用，我们必须突破和解决下面一系列关键科学与技术问题：① 寻找、鉴定与制备重大疾病发生、发展过程中以及与治疗监测、预后评估相关的特异性分子标志物；② 可控构筑高灵敏度、高特异性、强穿透力的分子影像探针；③ 完善靶向分子的偶联技术，提高分子影像探针体内的稳定性；④ 深入研究分子影像探针转运机制和生物安全性；⑤ 解决给药途径，减小给药量，降低毒性和制备成本。

分子影像探针的发展不仅需要临床医学的引导，基础生物医学的介入，还需要化学等多个学科的支持和跨领域的合作，需要组建理工医结合、产学研一体化研发团队，形成完善的分子影像探针的研发体系，通过协同攻关，实现自主知识产权分子影像探针开发的新突破，从而逐渐改变我国对进口分子影像探针依赖的局面。在这里，我们将重点阐述分子影像探针在重大疾病诊疗中的应用及未来发展中面临的机遇与挑战。

关键词：分子影像探针；分子影像；临床转化

光声分子影像及其在生物医学中应用

聂立铭
厦门大学

光学分子影像可拓展生物医学光子学技术在活体结构、功能、代谢监测中应用。 介绍课题组在光学分子成像技术即光声断层成像、光声显微成像、活体荧光成像的技术研发和改进。介绍脑肿瘤功能和代谢检测的新进展。展示此技术在肝癌和长时效减脂代谢治疗监测中的应用：定量与趋势评估。临床转化挑战和巨大前景并存。

关键词：荧光成像；光声成像；功能代谢

快速光声成像

刘成波
中国科学院深圳先进技术研究院

报告将汇报团队提升光声成像速度开展的理论方法、仪器技术研究进展，以及利用自主研制光声成像技术与仪器，开展的转化研究工作。从传统机械点扫描成像，发展到基于 MEMS 与 Polygon 微器件的快速光学扫描成像，到非扫描单像素成像，基于稀疏采集将成像速度提升 1 个量级。从显微成像发展到多个超声阵元同时探测的阵列式光声成像，实现每秒 100 帧频的二维成像。转化研究方面，团队探索了肿瘤演进机理以及大脑血供神经耦联机理性问题；在临床前动物水平，开展了针对肿瘤转移的术中影像引导工作；在人体成像水平，开展了包括人体外周血管成像与颈动脉斑块成像在内的心脑血管成像研究工作。光声成像兼具光学成像高对比度与超声成像大穿透深度优势，在基础研究与临床转化正扮演越来越重要角色，有望提升肿瘤、心脑血管病早期筛查的敏感度与准确性。

关键词：光声成像；快速成像；显微成像；肿瘤；心血管

非线性光学显微成像技术及应用

刘丽炜
深圳大学

目的：利用非线性光学显微成像技术对亚细胞、细胞、组织及活体进行成像研究。

方法：双光子激发荧光、二次谐波、受激拉曼散射

结果：我们利用上述光学成像的方法，进行了肿瘤微环境成像的研究工作，包括肿瘤转移路径、细胞内钙离子调控、辅助临床诊断等。具体地，对于细胞内钙离子调控的研究，我们利用近红外脉冲激光刺激链霉抗生物素蛋白修饰金纳米棒 (GNRs-SA) 和钙离子指示剂 (Fluo-4, AM) 的神经细胞，并且对神经细胞内 Ca2+ 光激活进行双光子显微成像研究 , 在 800 nm 激发下，GNRs 通过局部表面等离子体共振 (LSPR) 导致细胞外 Ca2+ 流入，实现了对神经细胞的光激活增强效果，证明 GNRs 辅助近红外光刺激增强神经细胞光激活的可行性，这种方法可以作为控制神经细胞活动以及细胞信号传导等光刺激方法的补充，用于神经科学的基础研究。对于微观结构、微环境和分子代谢的多维信息的获取，我们将不同的非线性光学成像特征结合，并利用多种分析方法，实现了对不同病理类型卵巢癌组织的微观结构、分子和代谢特性的信息获取和定量分析，这些研究有助于癌症的早期诊断和治疗评估。结合二次谐波和双光子激发荧光图像的形态学描述可以有效地区分卵

巢组织的上皮和基质结构，肿瘤相关胶原蛋白增强的原发性二次谐波影像和快速傅里叶变换分析进一步显示间质中胶原蛋白的排列，这提供了与癌浸润程度相关的指征，可作为初步诊断的策略之一。利用受激拉曼散射成像测量的拉曼光谱提供了一种方法来监测组织学切片中的大分子变化，并显示在癌变过程中蛋白质和脂类成分的偏差。

结论：这些非线性光学成像技术为肿瘤治疗过程中微环境的监测提供了强大的技术支持，借助成熟的光学显微成像技术可推进肿瘤治疗过程中微环境定性、定量分析的临床进度。

关键词：非线性光学成像；肿瘤微环境；微观生物调控；肿瘤诊疗

人体器官芯片的精准测量

顾忠泽

东南大学

器官芯片（organ-on-a-chip, OOC）是一类在微型芯片上模拟人体器官生理环境和功能的技术。该技术利用组织工程、微流控等技术，在芯片上进行多种细胞、组织和器官的联合培养，通过控制细胞在体外培养过程中的生物学行为，在芯片上对器官功能进行再现，在药物筛选和评价、疾病模型的构建中存在着巨大的潜在应用价值。

本团队近年来发展了基于双光子 / 多光子技术的器官芯片制造方法，解决了器官芯片跨尺度加工的难题；制作了十余种器官芯片模型，解决了器官芯片在药物筛选和疾病模型构建中的难题；开发了基于光子晶体的生物力学测量方法以及基于深度学习的自动测量和分析系统，完成了可应用于器官芯片精准测量和分析的自动化、一体化仪器，解决了器官芯片使用操作复杂、难于定量观测分析等难题。

目前所研发的药物筛选器官芯片模型和分析系统，已在多家药厂开展药物筛选和评价测试，并与多家国内三甲医院合作并开展了精准肿瘤药物敏感性的筛选研究。

关键词：器官芯片；3D 打印；生物传感；药物筛选

光声脑成像技术及其应用

奚磊

南方科技大学

高分辨光声显微成像技术是当前发展最快的光声成像技术之一。该技术具有空间分辨率高、无需标记、穿透深度优于传统光学显微技术等特点。因此，在生命科学、医学、化学以及材料学等相关领域具有巨大的应用潜力。然而，受限于当前的光栅式扫描机制，传统高分辨率光声显微成像技术也有不可忽视的局限性，如成像区域小、扫描速度慢、系统庞大、设计复杂、适用对象单一、缺乏合适的临床应用等。

为突破这些局限，我们建立了两种新型扫描机制，实现了时空多尺度的光声显微成像技术并应用于脑科学研究中。

关键词：光声显微成像；高分辨；多尺度

基于逐次线性迭代的漫射光相关血流成像技术

尚禹
中北大学

目的：近红外漫射光相关断层成像技术（DCT）是一种基于光场时间自相关原理的新型生物组织血流成像方法；传统的微分方程解析方法和有限元方法不能体现被测组织的几何形态或不能充分地利用光学数据，影响成像质量。本文提出了一种基于逐次线性迭代的 DCT 成像技术，目的是结合硬件的优化来获得精确和稳定的血流图像。

方法：我们将光场自相关的积分表达式与泰勒级数相结合，获得 N 阶逐次线性迭代的求解模型（NL 模型）和建立全变分（TV）最小值的目标函数，并利用 Split-Bregman 进行图像重建的计算。此外，我们使用光开关分时共享硬件的光源（S）和探测器（D），并将 S-D 光纤在被测组织的表面分布进行优化设计，这些硬件优化方式可以增加探测数量和减低系数矩阵的病态性。我们也设计接触或非接触的光纤探头来采集光场自相关数据。在仿体实验方面，我们搭建了微血管系统的实验装置，用固态仿体和流动泵驱动的液态仿体来模拟临床的低血流和高血流，从而对 DCT 系统（包括设备和算法）进行定量评估。

结果：计算机仿真和仿体实验均证实了 NL 模型在 DCT 血流成像方面的有效性，表现为可以精确地重建目标组织的位置、尺寸和异质体的血流对比度；获得的血流值与泵的流速也具有非常好的线性关系。进一步，我们也将开发的血流成像技术应用于乳腺肿瘤、头部及腿部测量，观察到了肿瘤引起的高血流和缺血组织内的低血流，这些结果与临床的期望一致。

结论：基于逐次线性迭代的成像算法和硬件优化方式很大程度地提高了 DCT 血流重建的质量，在今后多种疾病的诊断和治疗评估中有重要潜力。

关键词：漫射光相关断层成像；血流；迭代线性算法；近红外

生物组织结构与功能的无标记定量成像

刘智毅
浙江大学

目的：疾病的发生与演化，伴随着生物组织中细胞与细胞外基质间复杂的相互作用。这种作用会引起细胞新陈代谢与细胞外基质（主要是胶原纤维）空间结构的改变，具有高度动态化和各向异性的特征。现有的检测手段，或者是破坏性的，或者时空分辨率低，或者需要外源性的标记物。因此，亟需发展一种非侵入式、高分辨、无标记的检测方法，能够高灵敏高特异性地获取生物组织在病变过程中结构与功能的细微变化。

方法：在本文中，我们提出了基于多光子定量成像的高灵敏检测手段用以生物组织结构与功能的研究，完全依赖于组织内源性的对比度，而无需任何外源性的标记物。其中，基于双光子荧光成像获取细胞内具有自发荧光特性的代谢辅酶 NAD(P)H 与 FAD 强度与寿命信息，并发展了光学氧化还原率、NAD(P)H 蛋白偶联程度、线粒体空间群簇等定量参数揭示细胞的新陈代谢水平。与此同时，基于二次谐波成像获取胶原纤维三维空间图像，并对其三维空间取向；有序度；曲率；局域密度等特征开展了定量解析。

结果：我们将这种无标记多参数融合的定量表征方法应用于骨关节炎的早期研究。通过实施半月板撕裂手术，在小鼠模型中引入骨关节炎。定量结果表明，我们的方法在手术后一周时间，便检测到了骨关节炎软骨组织表层胶原纤维空间结构的退化。同时，在手术后 1-10 周的时间跨度内，我们发现软骨细胞在代谢通路的倾向性上从早期的氧化磷酸化逐步过渡到后期的糖酵解。这些结果展示了我们定量成像方法的高度灵敏性。

结论：我们所提出的无标记多参数融合定量成像方法与系统能够高灵敏高特异性地揭示生物组织在疾病

演化进程中结构与功能的动态细微变化，为疾病的早期诊断和个性化治疗提供分子水平的精确信息。

关键词：多光子成像；无标记成像；定量表征；细胞新陈代谢；胶原纤维空间结构

眼底荧光血管造影图像生成方法研究与应用论证

史国华

中国科学院苏州生物医学工程技术研究所

目的：眼底荧光造影技术能够反映眼底的细微病变以及眼底血管的循环状态，被誉为眼底疾病诊断的“金标准”。然而，眼底荧光造影由于需要静脉注射造影剂，会禁用于严重高血压、心脏病等患者。此外，造影剂具有一定程度的副作用，严重时甚至会对生命造成威胁。因此，可以通过使用图像生成算法来准确生成眼底结构图像对应的眼底荧光血管造影图像，进而帮助眼底相关疾病的预防、辅助诊断和指导检查。

方法：为此，我们综合临床需求、造影技术的特点以及眼底相关疾病的造影表现对单帧眼底荧光血管造影图像生成、眼底荧光血管造影序列生成以及眼底荧光渗漏检测的方法进行了研究，提出了一种基于条件生成网络的单帧眼底荧光血管造影图像生成方法，该方法在眼底血管细节和渗漏信息的生成上均有更好的效果，且生成的图像与真实图像的平均相似度达 0.8655，明显优于现存同类方法。

结果：首次实现了对动脉期、静脉期和后期这三个眼底造影关键时期图像序列的生成。此方法生成的图像与真实图像在各个造影时期的平均相似度分别高于现存有监督的一对一和一对多方法 0.0096 和 0.0413。此外，针对现存基于像素强度的渗漏检测方法复杂度高、检测时间长，以及现存基于监督学习的方法需要大量人工标注数据的问题，提出了一种基于弱监督学习的方法。所提方法的检测速度是传统方法的 20 倍以上，且在公开数据集上的平均检测特异性、准确度和戴斯系数分别高于现存最优的基于像素强度的方法 0.01、0.05 和 0.03。

结论：在理论研究的同时，我们将所提出的方法应用在了实验室现有的、产业化的共焦眼底成像设备中，以探究所提方法的实用性和前沿科学性，实现了从方法的理论研究到方法的实践应用的一系列工作。

关键词：眼底荧光造影技术；图像生成；生成对抗网络；共焦眼底图像

光声成像技术在骨与关节及周围神经疾患诊疗中的应用

胡军

汕头大学医学院第一附属医院

目的：光声成像技术结合了光学成像高对比度特性和超声成像高穿透深度的特性，搭配使用具有靶向功能的纳米粒子，研究光声成像技术在骨与关节、神经疾病领域的一体化诊疗应用的可行性。

方法：首先制作相关疾病（如骨肉瘤、坐骨神经损伤、骨与关节感染及类风湿性关节炎）动物模型，然后进行光声信号采集和成像分析，利用改性功能化纳米粒子介导的靶向区域光声信号增强作用，对相关疾病模型目标区域进行成像或治疗分析，探索光声成像技术在骨与关节、神经疾病中的应用。

结果：成功开展：1. 通过噬菌体展示技术筛查出骨肉瘤细胞的特异性多肽，利用功能化纳米探针 PGNRs-PT6 重建出可显示微小骨肉瘤的高分辨率光声图像，为早期骨肉瘤诊断提供新的方法；2. 利用靶向纳米探针 GNR-HSP27Abs 介导的光声成像鉴别出大鼠损伤与非损伤的坐骨神经，为神经损伤诊断提供一种新技术；3. 成功设计智能复合纳米探针 BSA-MnO2-UBI29-41-ICG-Gent（BMUIG），实现小鼠骨髓炎的荧光、光

声、磁共振三模态成像的同时也发挥治疗作用；4. 使用功能化的靶向镁离子诊疗探针，通过光声 - 微波热声 - 超声多维成像技术，开展小鼠类风湿性关节炎早期分子诊断（光声成像）、Mg2+ 释放发挥治疗作用（微波热声）及关节软骨修复评估（超声成像），为 RA 早期特异诊断、疗效监控的精准诊疗一体化提供新途径。

结论：课题组率先制备了多种功能化纳米靶向探针，用于光声分子成像或多维成像诊疗，推动骨肉瘤、神经损伤、骨髓炎及类风湿性关节炎的新型诊疗一体化技术的转化应用进程。

关键词：光声成像；纳米探针；骨肉瘤；神经损伤；关节炎

组织修复相关细胞亚群的靶向成像与功能鉴定

史春梦

第三军医大学

目的：组织修复是一个复杂的生物学过程，涉及多种细胞类型的时间和空间动态调控。通过分子成像学的理论与方法，针对组织损伤与修复过程中重要修复细胞和微环境细胞的变化特点，构建特异性分子探针，对关键细胞亚群的数量和功能变化进行实时动态成像监测，可望为揭示组织损伤修复与再生的机制和潜在干预手段提供工具。

方法：构建局部组织损伤和全身炎症损伤动物模型，基于组织损伤与修复过程中重要细胞亚群的代谢功能改变，设计制备分子探针，通过分子影像学技术评价分子探针对特定细胞亚群的靶向识别作用，进一步通过原位示踪和分选标记对细胞功能进行研究。

结果：开发了一种基于近红外小分子探针的非表面标志物依赖的在体细胞示踪成像方法，在体内选择性识别和调控损伤组织高纤维化潜能的成纤维细胞亚群和抑制炎症因子的巨噬细胞亚群，通过体内外实验对细胞亚群的功能特性进行了研究，并探讨其在组织修复中的作用及机制。

结论：本研究探讨了应用近红外小分子探针实现组织损伤修复相关细胞成分动态可视化的意义，为修复过程的成像诊断和把相互调控提供了潜在途径。

关键词：组织修复；小分子探针；细胞示踪

有机半导体荧光探针及生物成像应用

吴长锋

南方科技大学

目的：利用有机半导体材料优异的光学特性提升生物光学成像的分辨率和灵敏度。

方法：利用溶剂突然变化，将有机半导体聚合物制备成为小尺寸、高亮度的聚合物点荧光探针。通过调控尺寸和组分，获得了多功能光闪烁聚合物点荧光探针。通过调控共轭聚合物带隙结构，获得了近红外二区高效率发射聚合物点。

结果：有机半导体材料具有优异的光电特性，广泛应用于柔性电子学及有机光电子器件中。通过改变聚合物点的供体 / 受体结构，调控亮态 / 暗态占空比等闪烁特性参数，利用超分辨光学涨落成像 (SOFI) 获得了分辨率为 90 nm 的亚细胞结构成像。为了进一步提升成像分辨率，设计了窄带发射的有机半导体，优化共轭结构调控聚合物点光闪烁性能，在传统宽场显微镜上实现了分辨率为 61 nm 的八阶 SOFI 成像，这是目前最高的 SOFI 成像分辨率。进一步设计多功能聚合物，增强光闪烁特性，结合扩展显微术实现高阶 SOFI 成像，用普通荧光显微镜实现了空间分辨率 30nm 的超分辨成像。利用染料掺杂的方法对各种聚合物纳米粒子进行

了光学性质的调控，通过聚合物和染料分子之间的能量传递可以获得高灵敏的生物传感器，用于体内小分子的高灵敏实时检测。设计窄带隙有机半导体，提高近红外二区发光量子效率，实现了可穿透颅骨的高清晰小鼠脑血管成像。

结论：基于聚合物点荧光探针的 SOFI 成像和扩展显微成像具有鲜明特点，通过化学和光学标记方法的创新，不依赖昂贵复杂的光学成像系统，利用普通显微镜实现了简便快速的纳米级超分辨成像，有望推动光学成像技术在生命医学领域的深入发展和应用。

关键词：有机半导体；超分辨成像；活体成像；荧光探针

面向器官芯片的质谱检测技术研究

谢卓颖

东南大学

器官芯片是一种通过在体外芯片上进行细胞培养的微生理系统，从而实现器官组织结构和功能的逼真模拟，可以为精准医疗、药物试验等研究提供重要研究手段。器官芯片的研究与发展面临的重要挑战之一就是缺乏有效的生物学评估方法来准确描述器官芯片的模型特征并与人体器官进行比对。

质谱分析技术为蛋白组学、代谢组学等组学研究提供的通量和分子信息，可以鉴定和量化特定细胞生命过程中的功能性分子。本报告将介绍我们针对器官芯片细胞及其微环境中生物分子高通量、高灵敏检测的需求发展的几种质谱分析技术。

关键词：器官芯片；质谱；电喷雾离子化；生物分子

活体光学显微成像与生物医学应用

付玲

华中科技大学

光学显微镜是最基本的光学仪器之一，近代与之相关的研究共获得三次诺贝尔奖，涵盖物理学和化学，并已成功应用到诸多领域。如何用新的光学显微成像技术，进行生物体内部的高分辨可视化监测，一直都是光学成像和生物医学研究者不断追求的目标。

本报告将介绍生物医学光学成像的发展现状，针对生物医学光学成像技术的几个重要方向，分别阐述其进展与未来发展趋势；介绍内窥显微成像中的压电 - 光纤共振扫描规律和光纤共聚焦微型显微物镜成像原理，独特的光纤扫描器和微型显微物镜两种核心器件，以及研制的国内首台医用共聚焦内窥仪器，可实时可视化人体消化道黏膜细胞；介绍内窥显微成像的应用，研制的仪器已应用至胃部疾病的临床诊疗，其技术变形应用至脑功能（奖赏、空间导航记忆环路等）的基础研究。

关键词：活体光学；光学显微镜；内窥显微成像

深度滤波反投影光声图像重建

田超 *、沈康
中国科学技术大学

目的：开发一种基于深度学习的高性能滤波反投影算法，称作深度滤波反投影。深度滤波反投影算法能够通过数据驱动的方式学习到自适应的重建参数，从而实现更高质量的图像重建。

方法：深度滤波反投影算法采用的是一种端到端的网络设计模式，网络输入是原始的光声信号，输出是待重建的光声图像。网络基本框架和传统滤波反投影算法相似，包括三个模块：滤波模块、反投影模块和融合模块。滤波模块由三个卷积层组成，其功能是沿着传感器通道方向对原始光声信号进行滤波，获取传感器域的反投影信号；反投影模块包括一个卷积层和一个旋转层，其功能是将传感器域的反投影信号映射到空间投影域；融合模块是一个通用的卷积神经网络，其功能是将多幅空间投影域的图像融合成最终的重建图像。

结果：为了评估深度滤波反投影算法的性能，我们构建了两组对比实验：第一组是常规条件下的光声图像重建；第二组是稀疏视角条件下的光声图像重建。测试结果表明：在常规成像环境下，深度滤波反投影和传统滤波反投影都可以实现一个稳定的重建，但是深度滤波反投影能够重建出更精确的轮廓和幅值信息；在稀疏视角成像环境下，传统滤波反投影算法重建图像存在较严重的条纹伪影，结构信息丢失严重，而深度滤波反投影算法减弱了这些现象，提供了更高质量的重建结果。

结论：本文将深度学习技术和滤波反投影算法相结合，提出了一种新的光声图像重建技术，称作深度滤波反投影。研究结果表明，相比传统滤波反投影算法，具有自适应特性的深度滤波反投影能够提供更高质量的重建结果。

关键词：光声成像；图像重建；滤波反投影；深度学习

基于单细胞代谢成像的肿瘤精准诊断

岳蜀华 *
北京航空航天大学

目的：异常脂代谢是恶性肿瘤的主要特征之一，并为恶性肿瘤的诊治提供了新的思路。传统的脂质检测手段难以同时提供脂类分子成分信息和脂类分子在细胞中的空间分布信息，严重阻碍了肿瘤脂代谢的研究，因此亟需开拓新型单细胞代谢成像方法及应用。

方法:本研究利用受激拉曼散射显微成像的高分子特异性、高灵敏度、高空间分辨率和成像速度快的优势，定量分析了多种恶性肿瘤临床组织标本中单个癌细胞的脂类代谢表型。

结果：本研究意外地发现了胆固醇酯在前列腺癌、肾透明细胞癌和胰腺癌中的异常积累，以及甘油三酯在肝癌、胃癌和甲状腺癌中的异常积累。重要的是，这种脂质异常积累仅出现在癌组织中，并未出现在正常、增生、炎症等良性组织中，这就为恶性肿瘤的精准诊断提供了高特异性的生物标志物。而且，本研究在提取恶性肿瘤的脂质代谢特征的基础上，结合细胞形态和细胞外胶原纤维等多维度信息，利用机器学习和深度学习等处理方法，发展了快速精准的胃癌术中脱落细胞检测、胰腺癌切缘检测、肝癌分子分型等一系列新方法、新技术和新装备。

结论：本研究有望为恶性肿瘤的快速精准体外诊断提供新途径。

关键词：受激拉曼散射；单细胞代谢；肿瘤精准诊断

金属纳米簇的生物医学应用

王富
上海交通大学

目的：金属纳米团簇是近年来发展起来的一种新型材料，主要包括 Au，Ag，Cu，Pt，Pd 纳米簇，由于其超小的尺寸（小于 2 nm）、良好的生物相容性以及性能可调控性在荧光成像、检测和治疗等方面具有重要的应用前景。

方法：我们合成了不同功能性纳米簇，并尝试了它在生物医学领域的应用。包括采用适配体为表面保护剂，制备了可以靶向 nucleolin 蛋白的银纳米簇作为 STED 荧光探针，达到 50 纳米的分辨率；通过改变适配体的种类还构建了量子产率高达 87.43%，可以靶向细胞内氧化应激损伤产物 8-OHdG 等蛋白的银纳米簇；此外，通过调控纳米簇的比例，制备了 AuAg 合金纳米簇，制备出斯托克斯位移为 300 纳米的探针，该纳米簇具有较大的双光子吸收截面，因此可用于 800 纳米双光子激发，实现近红外激发近红外发射的双光子活体成像。

结果：化学动力治疗是一种纳米催化肿瘤治疗技术，在肿瘤微环境内发生化学反应，产生高毒性的羟基自由基（•OH），高效杀伤癌细胞，从而抑制肿瘤生长。基于铂的催化性能，我们制备了靶向型铂纳米团簇，通过催化过氧化氢（H2O2）产生强氧化性的羟基自由基 (•OH) 导致细胞能量代谢障碍，最终诱导细胞凋亡。

关键词：金属纳米簇；荧光成像；活体成像

基于深度学习的血流动态成像

王茗祎
佛山科学技术学院

目的:将深度学习算法用于血流时空动态特征提取，继而提出一种新的基于深度学习的、高时空分辨率的、大适用范围的血流动态成像。

方法：激光散斑血流成像是一种操作简单、成本低廉、非接触的、具有较高时空分辨率的血流成像方法。该方法主要通过衬比成像、强度涨落调制、主成分分析等实现血流信息的提取。但是不适用于高含水样品且单一利用时间信息或空间信息。本方法以激光散斑成像系统或低相干成像系统为采集装置，采用低曝光的采集条件，连续采集一系列的原始散斑图像或吸收图像。通过图像数据重组，建立以包含时空散斑信息或吸收差异信息的二维图像为基础的三维图像组。再通过 U-net 等深度学习网络模型提取重组图像组中的血流动态特征与背景组织静态特征。最后通过降维运算，实现血流动态成像。此外，针对重组数据，提出了一种高效的掩膜标签制作方法，可有效的提高标签制作量及数据量。

结果：以活体 2.5 日龄鸡胚为实验样品，实现了血流动态成像，空间分辨率达 4 μm，时间分辨率达 0.03s。进行了实验。实现结果表明，该方法可以有效抑制无血流处血管的成像；此外还可对非连续性血流进行连续成像。

结论：本方法采用具有较强特征提取能力的卷积神经网络分析血流时空光学特性，继而实现血流动态成像。创新点在于：1）同时关注时空信息，增加了信息的利用率；2）将深度学习引入传统血流成像方法，为实现基于卷积神经网络的动态血流造影提供了一种新的思路。这种新颖的散斑特征或吸收差异特征提取思路有潜力扩展到其它血流成像方法，如光学投影层析成像和光学相干断层扫描血管成像等。

关键词：光学血管造影；时空吸收波动成像；血流动态成像

线照明调制显微镜

袁菁

华中科技大学

目的：光学成像的质量是决定后续数据分析难易程度的关键因素之一。现有方法在强背景下的微弱信号三维光学成像中达到的清晰度还有待提高。

方法：我们发展了线照明调制（Line illumination Modulation--LiMo）显微成像新技术。利用线照明的自然强度调制对样本进行线扫描成像，同时利用并行多线探测记录下不同调制强度对应的光信号，通过简洁的一步线性计算即可去除焦外背景信号，重建清晰的光学切片图像。将 LiMo 技术与薄层组织切片技术相结合，进一步开发了高清晰荧光显微光学切片断层成像（HD-fMOST）技术。

结果：理论和实验均证明，LiMo 技术的背景抑制能力优于激光共聚焦点扫描成像显微镜、激光共聚焦线扫描成像显微镜、结构光照明显微镜等传统方法。HD-fMOST 技术允许在 16 位动态范围内记录神经元突起信号的丰富细节，在数据采集的同时实现了 3% 的无损数据压缩以及准确率高达 95% 的实时细胞计数。此外，HD-fMOST 高信噪比和高清晰度的原始数据，无需预处理，让自动和人工追踪神经元形态更简便、更稳定、更准确和更高效，大大提高了工作效率。

结论：LiMo 显微镜实现方式简单，成像质量极佳，解决了传统光学显微成像过程中无法同时兼顾高分辨、高通量和高清晰度的问题。基于此发展的 HD-fMOST 技术从源头成像技术上提高的成像质量，将极大加速规模化获取脑连接图谱绘制所需的高质量海量数据，为即将到来的中国脑计划提供强有力的技术平台。

关键词：三维光学成像；光学层析；线照明调制显微镜；显微光学切片断层成像

基于单细胞分析的单克隆抗体筛选新技术研究

李勤 *、张卫凯、魏泽文

北京理工大学生命学院生物医学工程系

目的：微流控芯片技术经过二十多年的发展已经在即时检验（Point-of-care testing, POCT）领域展现出显著的优势，在单细胞分析方面也取得了重要进展。单克隆抗体作为靶向探针、治疗药物，具有特异性强、灵敏度高和副作用小等特点，已成为疾病诊断、治疗和生物医学研究的重要手段。基于微流控芯片的单细胞分析技术实现了特异性抗体筛选、抗体基因扩增以及细胞系建立，在研制单克隆抗体方面具有明显优势。

方法：针对抗体检测与基因扩增一体化操作的技术瓶颈，研制出整合抗体检测和基因扩增功能的微流控芯片，实现单细胞捕获、抗体检测、基因扩增和扩增产物释放的连续操作。针对单块芯片无法完成单个细胞多轮筛选的技术瓶颈，研制出适用于抗体分泌细胞多轮筛选的微流控芯片，实现单细胞捕获、培养、抗体检测和细胞定向转移等功能。

结果：利用抗体检测与基因扩增一体化微流控芯片，以杂交瘤细胞为模型，通过操控微阀，实现单细胞之间的隔离，独立完成基因扩增反应；利用不同的微阀组合，实现扩增产物的释放。构建抗 SARS-CoV-2 RBD 单克隆抗体的杂交瘤细胞模型，用于评估抗体检测与基因扩增一体化芯片应用于筛选高亲和力抗体的性能。建立抗体分泌细胞的多轮筛选方法并应用于筛选抗体高产杂交瘤细胞，进一步评估抗体分泌细胞多轮筛选芯片的性能。该芯片解决了单个细胞多轮筛选的技术难题，将传统方法的两轮筛选时间从 13 天缩短至 4 天，进而提高筛选抗体高产细胞的效率。

结论：微流控芯片技术在单细胞分析方面具有广阔的应用前景。在微流控芯片上整合抗体筛选、抗体基因扩增和单细胞多轮筛选等功能，可以应用于筛选特异性单克隆抗体和抗体高产细胞，进一步获得天然配对的抗体基因序列以及建立稳定高产的细胞系，为生物医学基础研究以及临床应用提供新的技术手段。

关键词：单细胞分析；微流控芯片；单克隆抗体；抗体检测；细胞筛选

基于 SERS 纳米标签的多元免疫分析

赵祥伟

东南大学生物科学与医学工程学院

目的：由于 POCT 仪器便携、操作简便、结果及时准确等一系列优点，POCT 产品的应用极为广泛。POCT 行业是近年来 IVD 行业发展最快的细分行业之一。我国 POCT 行业年增速保持在 20%-30%，高于国际市场 8% 左右的增长水平。但是现有 POCT 检测技术存在检测物单一，灵敏度低等问题。因此，本研究旨在发展 POCT 场景下的多元检测技术，为开发相关 POCT 产品奠定基础。

方法：表面增强拉曼散射（Surface Enhanced Raman spectroscopy，SERS）是指吸附在粗糙金属表面或者等离子体纳米结构上的分子的拉曼散射信号可以被显著增强的现象。它克服了传统拉曼光谱与生俱来的信号微弱的缺点，可以使得拉曼强度增大几个数量级。其增强因子可以高达 1014 倍，足以探测到单个分子的拉曼信号，是一种有效的信号放大手段，可以用于痕量材料分析、流式细胞术以及其它一些应用，这些都是传统拉曼的灵敏度和测量速度不足以完成的。本研究中，我们采用 SERS 纳米标签，通过核壳结构设计，在金属核壳结构中间嵌入拉曼染料，利用核壳结构的等离激元耦合作用增强拉曼编码染料信号，在信号放大的同时，利用拉曼染料的特征分子指纹光谱实现生物分子编码检测，从而实现多组分同时分析。我们将 SERS 纳米标签与试纸条等快速检测平台结合，充分利用纳米限域空间对检测速度和灵敏度的提升作用，实现 POCT 高灵敏快速多元检测。

结果：实现了 fg~pg/mL 级别的蛋白质检测灵敏度，可以同时检测 3 种左右标志物，无需专业操作，实现了阿尔兹海默等生物标志物的高灵敏度定量分析。

结论：该技术成熟度较高，有望发展体外诊断、检验检疫、食品安全等领域相关产品。

关键词：SERS；试纸条；POCT；纳米材料

Microglia modulation with 1070-nm light attenuates Aβ burden and cognitive impairment in Alzheimer’s disease mouse model

Xunbin Wei

北京大学跨学部生物医学工程系

Objective: Photobiomodulation (PBM), also known as low-level light therapy, is a promising therapeutic approach and has been applied to various diseases as an alternative intervention. PBM refers to the low-power light (1–500 mW) in the visible and near-infrared (NIR) spectra to trigger beneficial biological processes in cells and tissues, ultimately leading to physiological alterations. Although the exact mechanisms of PBM are not yet elucidated, it is believed that NIR light can activate the chromophore, including cytochrome c oxidase and heat-gated ion channels, as well as restore cellular function via multilevel mechanisms.

Methods: Here, we provide evidence that cognitive and memory impairment in an AD mouse model can be reduced by 1070-nm light via reducing cerebral β-amyloid (Aβ) burden, the hallmark of AD. The glial cells, including microglia and astrocytes, play important roles in Aβ clearance

Results: Our results have shown that 1070-nm light pulsed at 10 Hz triggers microglia rather than astrocyte responses in AD mice. The 1070-nm light-induced microglia responses with alteration in morphology and increased colocalization with Aβ are sufficient to reduce Aβ load in AD mice. Moreover, we have demonstrated that 1070-nm light pulsed at 10 Hz can reduce perivascular microglia and promote angiogenesis

to further improve Aβ clearance.

Conclusion: Our study highlight the important roles of microglia and cerebral vessels in the use of 1070-nm light for the treatment of AD mice and provides a framework for developing a novel therapeutic approach for AD.

Key words: microglia modulation; 1070-nm light; Aβ burden; Alzheimer's disease; mouse model

专题口头报告

单个细胞形态、形变和动力学的光学检测研究

周金华 *、邵梦、蒋梦朵、杨霄、贺琳娜、柯泽宇

安徽医科大学

目的：医学检测中需要观察细胞形态，检测形变能力和细胞的游动活力。例如在红细胞相关疾病和成分血输注中检测红细胞的形态和形变能力，在男性不育患者中检测其精子游动能力来表征细胞活力。目前虽然显微成像系统能观察细胞形态，但无法区分无标记的双凹形和球形红细胞，在观察细胞形态的同时无法做到检测细胞形变能力，尤其是游动精子形态与活力特征的同步化检测技术是亟需开发解决。本研究的目的检测红细胞存储后的形态变化和变形能力，以及单个精子的形态和游动能力。

方法：以编码 LED 阵列控制照明模式，通过成像的图像差分实现无干涉的图像相位梯度；基于相位梯度的变化，通过反卷积计算细胞相位，从而实现计算成像检测细胞形态。在机器学习领域里结合边界因子的自编码，开展细胞特征提取和形态的聚类分析。利用光镊和压电的控制，检测单 / 双手柄拉伸单细胞形变，以及光阱内单细胞的动力学检测。将计算成像和光镊技术结合开展形态与形变能力的检测。

结果：实现了倾斜照明、暗场成像和定量相位成像；通过计算成像技术获得单个红细胞的相位成像，实现无标记下红细胞形态双凹、球形和棘状红细胞的区分，以及细胞计数和粒径检测；通过机器学习，实现了对三种形态的快速和准确的自动聚类分析，在相同样本集训练下，模型准确率高和速度均优于卷积神经网络结果。结合光镊检测，检测了存储红细胞形态与模量随保存时间的变化趋势。通过计算成像，获得了无标记的单个精子的相位，检测了单个精子的游动能力，为单个精子的优选提供了依据。

结论：计算成像结合光镊技术，可实现医学检测中无标记观察细胞形态，检测形变能力和细胞的游动活力。结合机器学习，能对细胞形态进行快速聚类分析。这些技术的融合发展，有望为红细胞相关疾病和单个精子质量提供检测方法。

关键词：计算成像；光镊；机器学习；红细胞；精子

非接触式光声显微成像的技术研发

陈松良 *

上海交通大学

目的：光声显微成像是近年来生物医学成像的研究前沿。然而，在实际应用中，主要问题之一是使用压电超声探头的传统光声显微镜在成像过程中需要将成像设备与样品“接触”，以实现较好的超声耦合与探测，造成应用困难。光声遥感（photoacoustic remote sensing, PARS）技术于 2017 年被提出，可实现非接触式光声显微成像，且近年来有多篇相关文献报道，展示了该技术的巨大潜力。因此，我们课题组近年来也开始发展基于光声遥感的非接触式光声显微成像。

方法：研究进展主要包括多模态成像系统的开发、低成本探测光源的探索、和成像头微型化与成像系统简化的研发。首先，我们设计了集成非接触式光声 - 荧光显微的双模态成像系统；此外，还探索了使用低成本的激光二极管来作为探测光；最后，我们提出了使用光纤光学部件来取代目前基于自由空间光路的光声遥

感成像系统，主要是采用了波分复用器和光纤环行器。

结果：关于多模态成像系统的开发，由于成像过程无需再考量超声耦合，这使得成像变得非常便利，我们使用了该系统展示了斑马鱼的非接触式光声 - 荧光双模态成像。另外，关于低成本探测光源的探索，研究结果发现，虽然激光二极管比超发光二极管便宜许多，但使用激光二极管所获得光声信号的信噪比却是与使用超发光二极管相差不多的，当用于小鼠脑血管活体成像时，我们获得了高质量的光声血管图像。最后，关于成像头微型化与成像系统简化的研发，由于主要采用光纤来传递激发光与探测光，我们实现了成像系统的简化与成像头的微型化，成像头外径仅 3 毫米，有助于将来进一步发展成手持式成像头和内窥成像头，我们将该成像头用于锂金属电池成像，获得了良好的成像效果。

结论：基于光声遥感的非接触式光声显微成像具有很好的性能与潜力，我们展示了相关的技术进展，包括开发多模态系统、使用低成本探测光源、以及设计基于光纤光学的成像系统与制作微型成像头。未来将研发手持式成像头与内窥成像头，并探索更多成像应用。

关键词：光声显微成像；非接触；光声遥感

基于空间频域成像的无标记非接触高分辨人体生理信息监测

赵雁雨

北京航空航天大学

目的：空间频域成像是一种新兴的漫射光学成像方法，可对生物组织等强散射介质进行无标记、非接触、宽场光学特征测量，包括定量的吸收、散射系数测量等，从而进一步定量计算组织成分的含量。人体的 60-80% 由水和脂肪构成，二者与细胞及组织功能密切相关。此外，水和脂肪在组织中含量和分布的改变往往对炎症、糖尿病、心血管疾病、癌症等诸多疾病及相关生理过程有着重要意义。目前的光学成像方法难以对组织中的水和脂肪进行非接触量化测量，也无法对血液中的脂肪进行非侵入式测量。

方法：针对上述问题，我们发展了基于短波红外的高光谱空间频域成像系统。我们利用水和脂肪在短波红外波长独特的光学吸收特性，针对光在生物组织中的传播建立计算模型，首次以亚毫米分辨率实现了在短波红外波段利用结构光对生物组织的光学吸收和散射系数进行测量，并实现了对组织中水和脂肪含量的无标记、非接触、大视场量化成像。

结果:在实验结果中，我们展示了对小动物模型水肿和炎症反应的实时、量化监测能力，人体血脂的无创、非接触监测，以及对皮下白色脂肪和褐色脂肪的非接触分类判别、肿瘤内部脂肪的空间分布测量等应用。此外，我们还研究了超高速的数据处理方法，相比传统方法，将数据处理速度提高了十万倍。我们还将相关方法推广至波前整形领域并引入基于梯度信息的优化框架，将该领域原有方法的速度提高了 60-180 倍。

结论：可以预见，短波红外空间频域成像方法将成为测量组织在短波红外波段光学特征的关键技术，为探索与水、脂肪相关的生理、疾病过程及其机理提供新的技术手段，同时为新的应用研究提供新的平台。

关键词：短波红外；空间频域成像；吸收系数；无标记；梯度信息

基于微流控芯片 - 表面增强拉曼光谱技术的血液外泌体膜蛋白表型分析

王静

福建师范大学

目的：研发一种适用于血液外泌体膜蛋白表型分析的微流控芯片 - 表面增强拉曼光谱检测平台

方法：首先构建能够灵敏分析外泌体膜蛋白表型的基于微流控芯片 - 表面增强拉曼光谱技术（SERS）的检测平台；通过分析检测不同黑素瘤细胞产生的外泌体膜蛋白表型，充分评估检测平台的分析特异性及灵敏度；结合实验室常用方法，例如蛋白质印迹法（western blot）、酶联免疫吸附测定（enzyme linked immunosorbent assay）、纳米颗粒跟踪分析（nanoparticle tracking analysis）、原子力显微镜（atomic force microscopy），从蛋白表达水平以及物理形貌两个层面验证该检测平台捕获的外泌体膜蛋白表型分析结果；利用该检测平台，监控不同黑素瘤细胞在靶向药物（1 μM PLX4720）作用下，产生的外泌体在给药 30 天内及停药后 9 天内的表型变化；利用该检测平台进一步分析黑素瘤早期患者及晚期患者接受靶向治疗过程中血液外泌体的膜蛋白表型变化。

结果：基于微流控芯片 -SERS 技术的检测平台可以实现快速（40 min-65min）、特异的黑素瘤细胞外泌体膜蛋白表型的表征；基于多种肿瘤标志物的检测平台可以实现灵敏的黑素瘤细胞外泌体膜蛋白检测，检测极限为 1 个 / μL；该检测平台能够检测到加药组黑素瘤细胞产生的外泌体的膜蛋白表型随药物的施加和停用的变化；该检测平台可以成功区分 20 例早期黑素瘤患者及 21 例健康人血液外泌体的膜蛋白表型；及监控 8 例黑素瘤患者靶向治疗过程中，血液外泌体的膜蛋白表型变化。

结论：基于微流控芯片 -SERS 技术的检测平台能够实现快速、灵敏、特异的血浆外泌体膜蛋白表型分析；通过监测血液外泌体膜蛋白表型，有望实现黑素瘤的早期检测及患者的靶向治疗疗效监测。

关键词：微流控芯片；表面增强拉曼光谱 (SERS)；外泌体；体液活检

微波热声成像技术及其医学应用基础研究

覃欢

华南师范大学

目的：发展新物理原理医学影像技术方法，实现无损深层生物组织高分辨成像，实现从非特异性物理显像向特异性成像的转变，从低分辨形态学检测向多参数精准诊断的转变，为早期肿瘤诊断提供强有力工具。

方法：微波热声成像 (Microwave-induced Thermoacoustic Imaging) 技术是新发展的一种新型无损医学成像方法，利用比光更长波长的微波激发，以超声作为信息载体的微波热声成像技术进一步地降低了生物组织散射对成像分辨率的影响。它结合了纯微波成像的高对比度特性和纯超声成像的高分辨率特性的优点，可以提供高对比度和高分辨率的组织成像。其原理与光声成像类似，把脉冲激光换成脉冲微波。当脉冲微波（一般脉宽小于 500 纳秒，单脉冲总能量和平均功率均小于 FDA 损伤标准）照射到生物组织时，生物组织吸收微波能量产生热膨胀效应被激发出属于超声波范围的热声波，被激发的热声波携带着被辐射组织微波吸收特性的信息并穿过组织向外传播，通过采集组织周围各个方向的热声信号，就可以重建出组织内部微波吸收分布图像。热声信号所反映的组织微波吸收特性又与组织的生理特征、代谢状态、病变特性密切相关。

结果：微波热声成像突破了纯光学成深度的“硬极限”（5 cm），实现了分米级深度的高分辨成像（<500 μm），有望用于乳腺肿瘤筛查。与医院合作推动该系统临床应用转化，为早期乳腺肿瘤筛查提供新的医疗装备。

结论：基于微波吸收差异特性反映组织生理病变的微波热声成像用于肿瘤成像具有很大的发展潜力，有望成为新型物理成像技术的研究热点。

关键词：微波热声成像；乳腺肿瘤筛查；关节炎成像

扩散相关光谱血流血氧量化方法及其应用研究

李哲 *、冯金超、贾克斌
北京工业大学

目的：扩散相关光谱 (DCS) 利用近红外长相干光检测组织内散射颗粒的动态特性提供深层组织血流变化，具有无创、穿透深度深、检测要求低，适用范围广且适用于长时间床边监测等优点。然而，人体组织结构和功能的复杂性使其伴随着血流和血氧等多参数的同时变化，基于此，本研究展开了扩散相关光谱血流血氧量化方法及其应用研究。

方法：传统扩散相关光谱血流检测系统的时间分辨率在 3~4s 左右，无法准确获取快速变化的脉动血流信息，易造成有效信息缺失，搭建了基于软件相关器的高时间分辨血流检测系统；针对传统血流量化方法存在迭代拟合、易受到数据噪声影响和量化时间较长的问题，提出了基于长短期记忆网络 (LSTM) 的血流血氧量化方法，从系统采集的原始扩散相关光谱数据直接量化输出血流，亦可采集多波长扩散相关光谱数据量化输出血流和血氧信号，实现多元生理参数的监测；针对外周动脉疾病 (PAD) 诊断中动脉钙化导致踝臂指数 (ABI) 无法测量的问题，提出了基于双视角卷积递归神经网络 (dvCRNN) 的诊断方法，从整体和细节两个角度提取组织血流变化的特征，实现信号域的直接诊断。

结果：改进的高时间分辨血流检测系统提升血流采样频率至 10-50 Hz，可实现组织血流脉动信号的实时检测；基于 LSTM 的血流血氧量化方法不仅适用于非均匀性和形状不规则的测量对象，且极大提升了量化速度，实验结果表明该方法与传统算法具有较高的相关性、良好的一致性和较小的差异性；采集 53 名外周动脉疾病患者和 10 名健康志愿者动脉闭塞试验下小腿腓肠肌的血流变化数据，诊断准确率高达 96.67%。

结论：扩散相关光谱技术可实现深层组织血流和血氧等多元时序信号的检测与表征，且在外周动脉疾病、脑卒中等心脑血管类疾病的初筛、预后、智能监测方面具有良好的应用前景。

关键词：扩散相关光谱；组织血流；组织血氧；深度学习

干涉单分子定位超分辨成像技术及其生物应用

李依明
南方科技大学

目的：超分辨显微镜的发展使得用光学显微镜来分析纳米级生物结构成为可能。但是传统的三维超分辨显微镜的轴向分辨率比横向分辨率差很多（三维分辨率约为 20 nm*20 nm*60 nm），限制了对很多分子机器三维结构的研究（大部分尺寸小于 100 nm），比如三维染色体非常紧凑，我们需要最高的三维分辨率来定位三维 DNA 的路径。

方法：干涉单分子定位超分辨成像技术（iPALM）技术是目前少数的理论三维分辨率能达到 10nm 以下的荧光超高分辨显微成像技术。分析 4Pi-PSF 的主要难点有：1）相机采集的 4Pi-PSF 呈干涉条纹状，传统的高斯模型拟合方法并不适用；2）不同于传统 PSF 模型的三维形式，4Pi-PSF 的四维数学模型在校准和拟合定位方面是全新的挑战。通过理论建模的创新以及底层成像算法的改进，我们在 iPALM 系统不增加硬件复杂度的情况下即可实现多色、多周期成像，大大提高系统的效能。

结果：相对于传统 iPALM 技术基于光强的分子定位方法，我们的方法理论上可使三维定位精度提高 20 倍，达到低于 10 nm 的三维分辨率。此外，通过优化的光学设计，我们大大缩小了 iPALM 成像系统的体积（仅为上一代的 1/3），提高了系统的稳定性。

结论：由于 iPALM 所能实现的超高分辨三维成像，将大大缩小电镜和光镜之间的分辨率差距，使得光电耦联成像变得更有意义。和传统电子显微镜相比，荧光显微镜的分子特异性更强，此类超分辨荧光显微技术将是传统结构生物学成像技术的强有力补充。

关键词：超分辨显微镜成像；单分子定位显微镜；点扩散函数；iPALM

Live cell anatomy study with multidimensional super-resolution microscopy and deep learning

Hao Zhang
南方科技大学

Objective: Super-resolution fluorescence microscopy has become an indispensable tool to study subcellular structures. However, the number of colors that can be used in fluorescence microscopy to image the live-cell anatomy is far less than the number of intracellular organelles and compartments. We try to image more than 10 subcellular structures simultaneously and with super-resolution.

Methods: Here we universally stain all the subcellular lipid membranes with a lipid dye Nile Red. We further employ a two-color detection to discriminate vesicle organelles with similar shapes and sizes, as the emission spectrum of the dye responds to the lipid polarity of membranes. With the"optical fingerprints" of organelles via spectrum and polarization super-resolution microscopy [1], we report that deep convolutional neuronal networks can predict 15 subcellular structures from fluorescent images using only one dye, one laser excitation, and two detection channels.

Results: With this method, we image 15 subcellular structures and achieve pixel accuracies of over 91.7% compared to the colocalization images, which not only bypasses the limitation in multi-color imaging but also accelerates the imaging speed by more than one order of magnitude.

Conclusion: We demonstrate such a simple preparation of cell staining and rapid acquisition of spatial and spectral imaging data can empower DCNN to predict intracellular anatomy images with high accuracy and throughput, providing a new paradigm for multiplexing imaging inside the living cells.

Key words: deep learning; super resolution; live cell imaging

声辐射力激励的光学相干弹性成像及其应用

朱疆
北京信息科技大学

目的：生物组织的力学性质测量对于评估组织的生理功能具有重要意义，可以用于疾病的临床诊断和疾病发展的评估。光学相干弹性成像（Optical coherence elastography, OCE）利用光学相干层析成像平台（Optical coherence tomography, OCT）的三维高分辨成像能力，通过对生物组织中空间不同位置的弹性测量，实现高分辨、非侵入、大视场弹性分布分析。超声换能器产生的声辐射力（Acoustic radiation force, ARF）可以远程无损伤地诱发表层组织和深层组织的振动，因此，适合用于眼角膜、晶状体和视网膜的弹性成像。报告将介绍声辐射力激励的光学相干弹性成像方法及其应用的研究进展，以及我们在这方面的研究工作。

方法：为了测量眼角膜和晶状体的弹性，我们提出了声辐射力正交激励的光学相干弹性成像方法，超声声束从眼球侧面诱导角膜和晶状体产生弹性振动，OCT 成像光束从眼球正面对眼组织中的弹性波成像，分析弹性波的传播速度，计算角膜和晶状体的弹性模量。这种系统结构能够方便地同时检测角膜和晶状体弹性。为了实现视网膜的弹性测量，我们提出了声光同侧平行耦合的光学相干弹性成像方法，超声声束与 OCT 光束从眼球的正面平行入射，在 ARF 激励视网膜振动的过程中，OCT 对弹性振动和弹性波进行测量，计算视网

膜的弹性模量。这种系统结构能够方便、灵敏地检测视网膜的弹性模量。

结果：利用弹性属性与组织类似的仿体，我们对 ARF-OCE 方法进行验证，测试结果与机械测试系统的测量结果相近，表明 ARF-OCE 方法能够准确地测量样品的弹性模量。接着我们对活体兔眼的角膜、晶状体和视网膜进行了弹性分析，结果表明，我们的方法能够用于测量活体动物的眼组织弹性。

结论：声辐射力激励的光学相干弹性成像方法为眼组织弹性分析提供了新的手段，并有助于眼组织疾病的治疗评估和早期诊断。

关键词：光学相干层析成像；弹性成像；眼组织；生物力学

经颅光声人脑成像与聚焦的初步研究

高飞 *、张钜泽、吕腾博、张佳冬

上海科技大学

目的：光声成像作为一种发展迅速的新型医学影像技术，在人体软组织成像方面显示了巨大的潜力，比如乳腺 / 甲状腺，皮肤，食道等器官的肿瘤诊断。然而，在经颅成像方面，由于头骨对激光的强散射和衰减，以及对光声信号的严重畸变，光声成像技术在人脑成像方面进展较为缓慢。2021 年在 Nature BME 上报道的光声人脑成像结果，也是在开颅的情况下进行的。到目前为止，经颅光声人脑成像还是该领域的一大挑战。

方法：为了克服人脑头骨对声波信号的强烈散射与畸变，在经颅光声成像方面：我们提出基于深度学习算法的光声信号恢复与图像增强，第一次将神经网络用于光声人脑图像重建，并公开了相应的光声数字脑数据集（arXiv:2109.09127）。在经颅光声聚焦方面：我们提出基于时间反演光声信号引导的时间反演超声编码光聚焦技术（arXiv:2012.04427）（TRPA-TRUE），在数值模拟环境中第一次实现经颅的精准光聚焦。

结果：通过理论分析和数值仿真验证：1. 深度学习算法在经颅光声图像重建方面可以对图像质量有显著的提升。相比于传统的背投影算法，图像分辨率和对比度至少可以提高 5~10 倍。2. 所提出的 TRPA-TRUE 技术可以经过同时具有光学强散射和声学强散射的介质（如人脑头骨），实现准确的经颅光学聚焦。相比于传统的 TRUE，所提出的 TRPA-TRUE 可以实现光聚焦效率提升 5~10 倍以上。

结论：经颅光声人脑成像和聚焦在脑疾病诊断和治疗方面具有巨大潜力。该研究工作对于进一步进行经颅光声成像与聚焦硬件系统的设计以及实验验证，具有重要的指导意义。在挑战方面：1. 深度学习算法需要较多高质量数据进行模型的训练，在将来的研究中，我们将进一步扩充光声数字脑数据集，促进该领域发展和同行间合作。2. TRPA-TRUE 的实验设计具有较大的难度，我们将与相关领域专家合作，促进实验验证，推进活体与人体实验。

关键词：经颅光声人脑成像；经颅光声聚焦；脑疾病与治疗

时域太赫兹光声：可调控的水传感与检测技术

江丽雯、陈冀景、皮一涵、龙莹、田震、李娇 *

天津大学

目的:太赫兹辐射，波长在 0.03 到 0.3 mm 之间，是一种非电离、光子能量很低（~meV 量级）的电磁波，广泛用于检测和识别生物体内关键生物大分子如蛋白质、DNA 和糖。水对太赫兹辐射的高吸收特性使其在生物医学应用上具有独特优势，但是考虑到许多生物样品在“水环境”中才能维持其生物活性，水的强吸收严重限制太赫兹技术应用。本文以如何在太赫兹波段突破“水环境”中样品的有效检测瓶颈为研究出发点，提

出了一种太赫兹应用于生物检测的新方法—太赫兹光声（THz-OA）。该技术成功实现水溶液及富水生物样品的太赫兹光声信号检测，并通过抑制水的太赫兹光声信号实现水溶液中其他目标分子的高灵敏度检测。

方法：本文使用的 THz-OA 系统由太赫兹辐射源、样品架、温控装置及超声探测器组成。太赫兹辐射聚焦到样品中心，光斑直径约 1.5 mm，单位脉冲能量为 4 μJ，频率范围为 0.2-1.5 THz。太赫兹脉冲源照射样品引发绝热膨胀，由于热弹力效应产生光声信号，该信号通过压电超声探头（中心频率 1-2.5 MHz）接收经过低噪声放大器放大后经由采集卡采集进一步处理。溶液样品检测使用定制的微流控芯片，样品温度通过自制温控系统调节。

结果：对仿体样品、水与盐溶液以及离体生物组织切片进行检测。结果表明该技术可实现涵盖微米到厘米的探测范围，突破传统太赫兹检测中富水样品厚度限制。通过温控技术实现水信号的有效调控，利用水低温时“静音”效应抑制水信号，实现水溶液中离子的高灵敏度检测。不同温度下离子溶液 THz-OA 信号随着溶液浓度变化显示出一定规律性，为进一步探索离子溶液中离子与水分子的相互作用等研究提供了可行的技术手段。

结论：THz-OA 技术能够突破太赫兹技术在生物医学领域的应用瓶颈，实现在“水环境”中高灵敏度检测。为进一步研究富水生物样品中其他生物分子成分提供一种可行技术手段，具有广阔的发展空间与应用前景。

关键词：太赫兹；光声；水溶液；离子

青年学者 - 青年优秀论文复赛

皮肤免疫应答中单核细胞迁移与活化的可视化研究

刘征[1] 徐梦丽[1] 骆清铭[2*] 张智红[1,2*]

[1]（华中科技大学武汉光电国家研究中心，武汉 430074）

[2]（海南大学生物医学工程学院，海口 570228）

白细胞的间质迁移及其在皮肤微环境中与其他免疫细胞之间的协作是皮肤免疫应对外来抗原攻击的重要方式。尽管对皮肤间质内的嗜中性粒细胞（例如定向迁移和群体蜂拥）和 T 细胞（例如 Levy 行走）的迁移行为已经有大量的研究报道，但人们对单核细胞的间质迁移行为及其调控机制认识尚浅。我们对多色标记的小鼠接触性超敏反应（CHS）模型进行活体光学成像研究，探索了单核细胞的间质迁移模式和激活过程，研究了皮肤炎症免疫反应级联中的动态细胞事件。活体成像数据显示，间质单核细胞在运动方向上采取随机迁移，并且在半抗原刺激 12 小时后，频繁地与其他个体接触。我们的研究还揭示了在半抗原刺激 24 小时后 CXCR2 介导的单核细胞在毛囊周围形成单核细胞聚集现象。选择性拮抗 CXCR2 抑制单核细胞形成聚集，显著抑制单核细胞的活化及角朊细胞的凋亡。总结来讲，我们通过活体成像发现了单核细胞个体之间频繁地接触及毛囊聚集的新现象，解析了接触和聚集行为介导的单核细胞活化机制，为理解皮肤区域免疫应答过程中单核细胞的迁移与活化提供了新见解 .

关键词：皮肤免疫；单核细胞；细胞迁移；细胞活化；活体成像

A microfluidic biosensor for rapid nucleic acid quantitation based on hyperspectral interferometric amplicon-complex analysis

Rongxin Fu[1] Xiangyu Jin[1] Wenli Du[1] Xianbo Luo[2] Li Ma[2] Guoliang Huang[1,2*]

[1] (*Department of Biomedical Engineering, School of Medicine, Tsinghua University, Beijing 100084, China, 100084*)

[2](*National Engineering Research Center for Beijing Biochip Technology, Beijing, China, 102206*)

Abstract: Nucleic acid detection plays a vital role in both biomedical research and clinical medicine. The temperature circulation changes of the widely used PCR technique are time-consuming and technically challenging for system development. Recombinase polymerase amplification (RPA) is an isothermal method for rapid nucleic acid detection. However, current RPA amplicon detection methods are complicated, expensive, and easy generate false positives, restricting the promotion of RPA techniques. In this work, a hyperspectral interferometric amplicon-complex quantitation method is presented, combined with asymmetric dipole complex strategy optical scattering analysis. GelRed dye was utilized to form amplicon-complex particles, and Fourier domain spectrum computation contributed to complex scattering quantitation. With this method, a supporting microfluidic chip and automatic system were developed to achieve integrated, rapid, quantitative, and miniscule nucleic acid detection. The *Plasmodium falciparum dhfr* gene was utilized as an example for targeted nucleic acid quantitation and single nucleotide polymorphism (SNP) detection. The total reaction time was decreased to merely 20 min, and the limit of detection was only 3.17 ng/μL. The minimum measurable concentration of target was 1.68 copies/μL, 31.67 times more sensitive than turbidity detection,

and the single reaction chamber was only 9.33 μL. No scattering increase occurred for template-free control, and thus, false positives caused by primer dimers and nonspecific products could be avoided. The experimental results prove that the provided method and system can detect single-base mutations in the *dhfr* gene and is a reasonable technique for rapid, automatic and low-cost nucleic acid detection.

Key words：microfluidic biosensor; recombinase polymerase amplification; hyperspectral interferometry; optical scattering analysis; nucleic acid detection

研究生 - 青年优秀论文复赛

基于深度学习的声学分辨率光声显微成像

张雪婷（研究生）[1+] 曾思略[2+] 潘殷豪[2] 刘成波[2*] 孟静[1*]

[1]（曲阜师范大学 计算机学院，日照 276826）

[2]（中国科学院深圳先进技术研究院 生物医学与健康工程研究所，深圳 518055）

声学分辨率光声显微镜（AR-PAM）可以在不需要外源性造影剂的情况下无创地提供生物组织高分辨率的形态和功能信息。然而当成像目标远离焦点区域时，AR-PAM 的成像质量会极巨下降。虽然研究人员已经提出一些改善离焦区域成像质量的方法，但离焦图像始终存在信号失真、质量不佳等问题。因此，本文提出了一种以在焦和离焦数据为训练对的残差 U-Net 方法来解决上述问题。仿体和活体实验表明，我们提出的方法可以有效地扩展 AR-PAM 的焦深，使远离焦点区域的成像分辨率可以提高到与焦点区域几乎相同的水平。本文工作有望推动 AR-PAM 在各种生物医学研究中的深入应用。

关键词：深度学习；AR-PAM；离焦重建；U-Net；ResNET

猪肝微波消融过程中组织约化散射系数和杨氏模量的实时变化研究

晋晓飞[1]，冯宇[1]，朱柔君[1]，钱露[1]，吴鑫[1]，李军乐[1]，钱志余[1*]，周娟[2]

[1]（南京航空航天大学自动化学院生物医学工程系，南京，211106）

[2]（中国科学院深圳先进技术研究院劳特伯影像中心，深圳，518055）

目的：在微波消融（Microwave Ablation, MWA）临床治疗中，尽管温度可以作为评估消融疗效的重要参考指标，但是尚不能完全反映热消融过程中肿瘤组织的生物活性状态。寻找多参数综合评估因子实现治疗效果的实时评估已成为精准消融的关键。越来越多的学者使用约化散射系数（）和杨氏模量（E）来评估微波消融的治疗效果。但是，这两个参数之间的内在关系尚不清楚。本文旨在研究微波消融期间与 E 之间的具体关系。

方法：对离体猪肝脏进行微波消融实验，设计两参数同步采集系统，获取微波消融期间肝脏组织约化散射系数和杨氏模量，研究约化散射系数与杨氏模量之间的关系。

结果：发现在微波消融过程中，的变化趋势与 E 非常相似，即先上升后趋于稳定，并且在其中几组实验中甚至出现了同步的变化规律。经过多项式拟合，发现约化散射系数和杨氏模量在三阶多项式上具有最高的拟合度，拟合优度最接近于 1。基于此，建立了 E- 之间的相关模型，从而能够基于约化散射系数来定量评估微波消融过程中组织的杨氏模量。经验证，该模型的最大绝对误差为 29.37 kPa，最小绝对误差为 0.88 kPa。这也表明该模型具有良好的准确度和鲁棒性。

结论：本研究有助于进一步建立多参数肿瘤微波消融实时疗效评估模型，对临床实时评估微波消融疗效有重要价值。

关键词：微波消融；约化散射系数；杨氏模量

光清除技术在光学相干层析成像中的应用

李锐　洪嘉英　周茜　信念　李勤　张晓*

（北京理工大学生命学院，北京 100000）

目前光清除技术已经与荧光成像技术相结合，使得荧光成像技术不仅可以在亚细胞尺度上成像，还可以在厘米级以上的大尺度上成像。但是，光清除技术还未与光学相干层析成像（OCT）相结合。我们首次在实验中将光清除技术应用于 OCT 成像，并在该过程中采用了方便易用的 FOCM 技术进行光清除。先将自制的 FOCM 溶液滴在固定后的样品（包括猪肝、猪肾和猪小脑）上，然后用 OCT 分别采集 0 小时、0.5 小时、1 小时、1.5 小时、2 小时后的样品图像。实验结果证明，随着时间推移，FOCM 技术可以显著提升 OCT 成像深度，并获取了传统 OCT 无法观察到的生物结构。这大大提升了 OCT 在实际应用如临床病理诊断和癌症研究中的性能，在 OCT 成像领域具有重要意义。

关键词：光学相干层析成像；光清除技术

Quantitative mapping of morphological features of cerebral blood vessels based on aggregation-induced emission dots

Jia Meng, Zhe Feng, Zhihua Ding, Jun Qian, Zhiyi Liu*

State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation,
College of Optical Science and Engineering; International Research Center for Advanced Photonics, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China

Corresponding authors. E-mail addresses: liuzhiyi07@zju.edu.cn (Z. Liu)

Cerebrovascular disease is a variety of diseases that affect cerebrovascular and cerebral circulation. It seriously endangers human health and is one of the hot fields of concern. Monitoring the structural and functional changes of blood vessels is of great significance for us to understand the evolution of healthy tissues and a variety of diseases. Accurate characterization of vascular morphology may significantly improve our understanding of cerebrovascular structure, development and pathogenesis. Unfortunately, there is a lack of systematic methods to assess such changes. Here, we build a non-invasive, quantitative imaging and characterization system. We imaged cerebral vessels based on aggregation-induced emission (AIE) particles, and developed a quantitative characterization algorithm of vessel thickness to quantitatively describe vessel in a two-dimensional (2D) or three-dimensional (3D) context. In order to achieve high-resolution and deep cerebrovascular imaging, we used bright encapsulated AIE particles to image the cerebral vessels of mice without craniotomy, with the imaging depth more than 800 μm. To demonstrate the translational relevance, we imaged and characterized the photothrombosis model in mice based on biologically excretable AIE particles to reveal the morphological changes of cerebral vessels after stroke. Finally, we imaged the cerebral vessels of marmosets, and revealed the relationship between vascular morphological changes and heartbeat by characterizing the thickness parameter of periodically vibrating blood vessels. In conclusion, the cerebrovascular morphological imaging and characterization system based on AIE particles is conducive to further understand the cerebrovascular structure, pathogenesis and disease evolution.

Key words: aggregation-induced emission; morphology; quantitative; thickness; excretable

S06
第四届医工韶光创新

专题口头报告

基于 CTE 图像和深度学习的克罗恩病肠壁纤维化分级预测：与影像组学方法及影像科医师诊断对比

罗梓欣[1]、孟霁昕[2]、李雪华[2]、黄炳升*[1]

1. 深圳大学
2. 中山大学附属第一医院

目的：克罗恩病（Crohn’s disease，CD）肠壁纤维化程度影响患者治疗方案的选择及预后。目前已有研究采用基于计算机断层成像（Computed tomography，CT）的影像组学方法来评估肠壁纤维化[1]，但耗时长。本研究旨在应用深度学习方法分析 CT 图像，建立更高效的肠壁纤维化分级预测模型。

方法：我们在多个中心回顾性采集 312 例病变肠段的术前 CT 图像。对手术切除的病变肠段进行纤维化病理分级，可得无 - 轻度纤维化（100 例）和中 - 重度纤维化（212 例）两类。由影像医师在图像上标注感兴趣区域。我们设计了一种三维残差网络结构，在建模集（159 例）上以十折交叉验证策略构建深度学习模型，在多中心测试集（153 例）上进行独立验证。我们还在相同的数据集上构建了影像组学模型及影像医师诊断模型。使用受试者工作特性曲线下面积（Area Under Curve，AUC）评估模型性能，采用 DeLong 检验与非劣效性检验对比各模型的性能差异。

结果：深度学习模型性能良好：建模集上 AUC 为 0.828，独立测试集上 AUC 为 0.811。在观察者不同时间点之间、不同观察者之间、不同炎症程度之间、不同病变位置之间、有无透壁性病变情况之间、不同 CT 扫描仪之间的性能差异均无统计学意义（DeLong 检验的 P 值均大于 0.05）。深度学习模型在独立测试集上的性能均明显优于两位影像医师的诊断模型 (*1 AUC=0.579，*2 AUC=0.646，P<0.05)，且不劣于影像组学模型 (AUC=0.813，P<0.05)。此外，深度学习方法的总耗时 (48.4 s) 明显少于影像组学方法 (599.8 s，P<0.001)。

结论：我们首次将深度学习方法应用于 CD 肠壁纤维化程度的预测，构建了能够准确辨别不同程度纤维化的预测模型，其性能在不劣于影像组学模型的前提下，需时更少、操作更方便，有望减轻医生阅片负担并辅助制定治疗方案，改善患者预后。

关键词：克罗恩病；肠壁纤维化；CTE 图像；深度学习；影像组学

Computer-aided Diagnosis for Pathology Image of Prostate Cancer Based on Fusion of Hand-crafted Features and Deep Learning Feature

Zhaotong Li[1,2]、Zeru Zhang[1,2]、Zhe Wang[1]、Xinrui Huang[3]、Song Gao*[1]

1. 北京大学医学部

2. Institute of Medical Humanities, Peking University, Beijing, China

3. Department of Biochemistry and Biophysics, School of Basic Medical Sciences, Peking University, Beijing, China

Objective: Prostate cancer, the most common malignancy in men, has become the second largest male cancer killer in the world after lung cancer. As one of the most accurate diagnostic modes of prostate cancer detection, the performance of ultrasound-guided living tissue puncture pathological examination depends on the subjective experience of doctors, which is prone to misdiagnosis and mistreatment based on only one pathological data. The computer-aided diagnosis (CAD), a part of routine clinical work for prostate cancer detection, further improves the efficiency of clinical diagnosis for the classification of benign and malignant pathological images.

Methods: The prostate pathological images were collected from HE (hematoxylin and eosin) slides with 40X magnification using Olympus microscopy at the Department of Pathology, Peking University Health Science Center, and the Department of Pathology, People Hospital of Guangzhou. The diagnosis of these images was made by 2 or 3 experienced pathologists based on their histologic features. Finally, 1100 effective prostate pathological images were screened to our dataset in which 546 and 554 images were classified as prostate cancer and health respectively. In addition to the methods, a novel classification model was proposed by fusing eight elaborate image features including seven hand-crafted features and one deep learning feature, which were Scale-Invariant Feature Transform (SIFT), Speeded Up Robust Features (SURF), Oriented FAST and Rotated BRIEF (ORB) of the local features, shape and texture features of the cell nucleus, Histogram of Gradient (HOG) feature of the cavity, color feature and convolutional neural networks (CNN) feature of deep learning respectively. During the feature engineering phase, the Bag of Words & Term Frequency - Inverse Document Frequency (BoW & TF-IDF) model combined with a proposed data augmentation algorithm was proposed to extract the seven hand-crafted features above, and the deep feature was extracted from the convolution layers of ResNet-18. The proposed deep learning network consists of three main sections: Matching Network, Integrated Network, and Fusion Network, and the Integrated Network was again divided into Backbone and Additional Network. Specifically, the Matching Network was used to adjust dimensions of hand-crafted features to match the deep learning feature size; the Integrated Network integrated and processed these eight features in a two-dimensional space; the Fusion Network was composed of eight fully connection layers with concatenation, which realize the effective fusion of different characteristics and output the final classification results of pathology images.

Results: The experiment results were obtained by using different Backbone, ResNet-18/50, VGG-11/16, DenseNet-121/201, which showed that the proposed model with ResNet-18 has the optimal performances in the aspect of accuracy, specificity, sensitivity, and AUC, that is 95.45%, 93.64%, 97.27%, and 98.34% respectively. Furthermore, we carried out a detailed analysis on the performance of the individual feature, including seven hand-crafted features and one deep learning feature, all the evaluation metrics of these individual features were lower than 90%, which demonstrated that the proposed model has an efficient performance on feature fusion of the differential extracted features. Besides, the heat map generated by the Grad-CAM++ was used to explore the difference of region of interest (ROI) between the proposed model and ResNet-18, which proved that our model focused more accurately on the cancerous cells compared with the performance of ResNet-18.

Conclusion: A novel classification method which combined the hand-crafted features and deep learning feature was proposed for the CAD on the prostate cancer pathological image. It was proved that the advancement of the proposed network from the aspect of different backbones and the individual features. The next work is to generalize the proposed method to other pathology images, e.g., breast cancer, thyroid cancer, etc. due to the identical principles of the feature engineering and deep learning.

Key words: Prostate Cancer; Pathology; Computer-aided Diagnosis; Feature Fusion; Deep Learning

Automatic classification of multi-type retinal lesions based on lightweight convolutional neural network and fundus images

Zhenzhen Lu[1]、Shuyuan Zhu[1]、Jingran Dong[1]、Xiaobing Wang[2]、Jihong Feng*[1]

1. Department of environment and Life, Intelligent Physiological Measurement and Clinical Translation, Beijing Intl. Base for Sci. and Technol. Coop., Beijing University of Technology, Beijing, China

2. Capital Medical University, Beijing Ophthalmology and Visual Science Key Laboratory, Beijing Tongren Eye Center, Beijing Tongren Hospital, Beijing, China

Objective: Requiring a large amount of label training data, traditional convolutional neural network was a very time-consuming task that cannot perform well on mobile and embedded devices. On the other hand, a fundus image may contain a variety of retinopathy symptoms, but traditional deep learning in ophthalmic disease screening commonly targets single lesion category in a fundus image. Thus, this study presented a multi-label classification method to classify multi-type lesions of retinal based on lightweight convolutional neural network and transfer learning for mobile and embedded devices.

Methods: Based on the Messidor database, we built a retinal multi-label lesions data set in which six classes of retinopathy were labeled based on retinopathy grade and macular edema risk grade. The training set and validation set were divided with the ratio of 9:1. Firstly, we employed the ImageNet data set consisting of 1.2 million images to pretrain the ShuffleNetV2 lightweight convolutional neural network. Except of the last fully connected layer, all weights in the ShufflenetV2 network were initialized applying for the pre-trained ImageNet model. All layers were then fine-tuned with the training data set in the retinal multi-label lesions data set. To reduce the impact of image quality and imbalanced classes for the experiment, we preformed median filtering to all images and separated the foreground and background using images binarization. By automatically reading the upper, bottom, left and right boundaries of the images, we segmented the images only containing the eyeball part and resized the images into 224 * 224 pixels for the network.. Then we used the contrast limited adaptive histogram equalization to process only the brightness channel of retinal fundus images. We input the images before and after image processing respectively to train our network and to evaluate our models with the average accuracy on validation set.

Results: The proposed method achieving the highest accuracy of 90.6% and the average accuracy of 89.6% has both better classification and balance between real-time performance and accuracy without overfitting, even with a small number of images in training set.

Conclusion: We designed the lightweight convolutional neural network based on transfer learning for multi-label classification of fundus images, preprocessed images, and trained networks. It is very convenient for

lightweight CNN, inheriting less parameters and high computing speed, to configure to mobile devices. Most importantly, our method is hopeful to apply for clinical trial and expedite the diagnosis of multi-type retinal lesions, thereby facilitating earlier treatment for ophthalmic diseases.

Key words: Fundus images; Multi-type lesions, Multi-label classification; Transfer learning; Lightweight convolutional neural network

PCXRNet: Condense attention module and Multiconvolution spatial attention module for Pneumonia Chest X-Ray detection

Yibo Feng [1]、Xu Yang[2]、Dawei Qiu[1]、Huan Zhang[1]、Dejian Wei[1]、Jing Liu*[1]

1. College of Intelligence and Information Engineering, Shandong University of Traditional Chinese Medicine

2. Megvii

Objective: Pneumonia is one of the leading causes of worldwide child deaths. Many recognition approaches based on convolutional neural networks have been proposed for children's chest X-ray images in recent years. However, few of them make good use of the potential inter- and intra-relationship of feature maps.

Methods: Considering the challenge mentioned above, this paper proposes an attention-based convolutional neural network, named PCXRNet, for pneumonia chest X-ray diagnosis. To utilize the information on the channels of feature maps, we add a novel condense attention module (CDSE), containing two steps: condense step and squeeze-excitation step. Unlike traditional channel attention modules, CDSE first downsamples the feature map channel by channel to condense the information before the squeeze-excitation step, in which channel weights are calculated. In order to make the model pay more attention to informative spatial parts in every feature map, we propose a multi-convolution spatial attention module (MCSA). It reduces parameters and introducing more nonlinearity. The CDSE and MCSA can work in series to dig up useful information on and between feature maps complementarily.

Results: We conduct extensive experiments on ChestXray2017, and compared with existing methods, PCXRNet reaches remarkable performance with the accuracy of 97.436%, recall of 96.838%, precision of 97.705%, and F1-score of 97.241%. We also use the other two pneumonia datasets COVID-19 and Tuberculosis, where PCXRNet achieves state-of-the-art results. A gradient-weighted class activation mapping algorithm is applied to further demonstrate the effectiveness of our method.

Conclusion: Results show that our proposed method can utilize the lesion information in the chest X-ray images more effectively.

Key words: attention mechanism; chest X-ray images; deep learning; pneumonia detection

面向智能病理的图像扰动物理建模及算法鲁棒性研究

黄培祥[1]、章松涛[1]、秦文康[1]、马韬[1]、朱容琪[1]、王永义[1]、程平[1]、姜杉[2]、罗琳*[1,2]

1. 北京大学工学院

2. 北京协同创新研究院

目的：当前我国癌症患者数量逐渐增高，病理医生极度缺乏，亟需智慧诊疗技术辅助病理医生进行诊断。然而，目前的 AI 辅助诊断算法大多基于单一数据集或单一中心，即使获得了较高的准确率，但泛化性能较差，难以应用到其他数据集或医院。其中一个核心原因是病理切片的制片和成像中存在多种因素的扰动，如刀片磨损、展片不均、染色程度、外部污染、成像参数等，都会对智能诊断产生不同程度的影响。常见的染色归一化等预处理方法无法应对染色偏差以外的影响。目前的数据扩增等模型训练方法大多基于图像处理的偏色、模糊、拼接等简单实现，不能准确和全面的模拟普遍的扰动。基于风格迁移的扰动生成模型的可解释性较差，难以定量。总体来说，目前国际上缺乏针对病理切片特有扰动的全面、定量的建模研究，不同扰动程度的病理数据难以全面收集或量化模拟，对算法鲁棒性的衡量缺乏合理手段。本文目标制定涵盖全流程不同扰动类型和等级的定量扰动数据集，支持对算法鲁棒性的精确测试，定量评估算法模型的鲁棒性和泛化能力，有利于促进智能诊断落地。

方法：本文围绕组织病理染色制片和成像流程，针对出现的人为和设备因素产生的扰动进行了物理建模和定量模拟，并与病理科医生开展了扰动程度的标定工作。在建模过程中首次使用有限元分析、染色空间向量分离、光学密度叠加、标量衍射模拟等技术，解决了病理特有扰动的定量建模问题，如撕裂，百叶窗，折叠，区域染色偏色等。基于扰动物理建模方法，建立了分级定量扰动的数据集，利用不同的 CNN 网络对 WSI 和 Patch 级别的扰动图像进行了识别，对各种网络的抗扰动性能和不同类别不同程度扰动对网络的影响进行了分析和讨论。

结果：总体来看在 Patch 级别扰动分类数据集上各大网络表现趋势相近，随着扰动等级的提高准确率逐渐下降，识别平均准确率相对于原始数据下降 1% ～ 30%，其中 ResNet18 表现相对最好。

结论：本工作对于病理辅助诊断卷积神经网络的鲁棒性的研究具有重要意义。

关键词：图像识别；病理辅助诊断；扰动建模；人工假象；鲁棒性

A robust feature selection algorithm based on recursive principal component analysis and subsampling for indentifying gene signature from expression profile

Bin Yang*

The Third Central Hospital, Tianjin

Objective: The next generation sequencing technology has capability to deliver fast, inexpensive and accurate genome information. It provides the levels of thousands of gene simultaneously in a single experiment. Meanwhile, one of major challenges is to extract useful information from these high throughput data. Feature selection techniques can be used to extract the significant genes which influence the classification accuracy effectively by eliminating the noisy and redundant genes. The aim of this study is to develop an algorithm capable of extracting meaningful features from gene expression data and to use the resulting gene signature for patient classification or risk stratification.

Methods: The basic idea behind the algorithm is recursively applying dimension reduction and subsampling for stable variable selection, according to their loadings and scores of principal component analysis (PCA).

For a cohort of the gene expression profiles with clinical information, a univariate Cox regression analysis was performed to screen all possible important genes with p-values less than a cutoff. Based on these survival-associated genes, a rough score indicating prognosis was constructed for each patient using principal component analysis. Next, a subsampling method was applied to construct a more stable and robust gene signature by removing those random or redundant genes. Thereafter, the prognostic scores were recalculated for all patients. Through recursively performing above procedures, this algorithm was expected to achieve rapid dimension reduction and stable feature selection in genome-wide expression data sets.

Results: The algorithm was tested in the RNA sequencing data accompanied with clinical information collected from The Cancer Genome Atlas database including 33 types of cancer. In certain cancer types, univariate Cox regression analysis showed even more than 8000 genes possibly related with survival ($p < 0.05$). Empirically, after 2 rounds of recursive dimension reduction and subsampling, our algorithm generally identified 10-100 most representative genes, which could be severed as the gene signature for further applications. In our study, the prognostic models using these gene signatures could trichotomize the survival risks into low, middle and high groups, while most other algorithms only dichotomize patients into low and high group. Furthermore, comparing to cluster methods, our models could rank patients along with continual scores, indicating a mimic cancer developing progress. Combining this algorithm with other bioinformatics utilities such as gene set enrichment analysis, we explored the stage-specific pathways in a pan-cancer mode and revealed the close relationships between DNA damage, cell cycle, energy metabolism and T cell infiltration during cancer progression.

Conclusion: We proposed a bioinformatics pipeline that involves the application of principal component analysis and subsampling. The algorithm can reduce the dimension of expression data from thousands of genes to a handful of genes. The proposed scheme has shown to provide more accurate models with fewer feature inputs. The result confirms its utility as an effective tool in cancer research.

Key words: feature selection; dimension reduction; gene expression

Automatic structuring of breast ultrasound reports in Chinese with natural language processing based on BI-RADS

Jingyan Liu[1]、Zhongyu Liu[2]、Yulan Peng*[1]、Jin Yin[2]、Wei Qian[3]

1. 四川大学华西医院超声医学科

2. West China Biomedical Big Data Center, West China Hospital, Sichuan University

3. West China Hospital, Sichuan University

Objective: Breast ultrasound reports in Chinese most recorded as freely descriptive text. Several studies have implemented the extraction of BI-RADS findings and classification as separate keywords from ultrasound reports with natural language processing (NLP). However, the information of the multi-mass report is not extracted into multiple information groups, and the processed structured reports may have errors in reconstruction.The purpose of this study was to automatically structure breast ultrasound reports in Chinese with NLP, especially for multi-mass reports, which enables clinicians to follow up the prognosis of different masses and have a more comprehensive understanding of breast tumors.

Methods: We proposed an annotation guideline to enable extraction of groups of information centered on

each mass from breast ultrasound reports in Chinese. The annotation guidelines have 16 predefined entity types and 14 relation types between entities. We applied an encoder-decoder model to jointly do named entity recognition (NER) and relation extraction (RE). The model comprised a pre-trained BERT for Chinese in encoder module to get the embedding vectors of the original sentences and point-network based decoders in decoder module to decide the entity spans, the entity types for NER and the subject spans, the object spans and the relation types for RE. An attention-based module was applied between the encoder module and the decoder module. And an LSTM cell was applied to get the fusion representations of the attention module outputs, the hidden state outputs and the final result representations of the last time step.

Results: A total of 3231 reports were annotated, including 5726 entities and 3423 relations. Our model has achieved total micro-F1 scores of 0.891 and 0.780 for NER and RE respectively.

Conclusion: This is the first study to focus on automated structuring of multi-mass breast ultrasound reports, demonstrating the possibility of a more comprehensive study of breast tumors based on medical big data.

Key words: breast; ultrasound; natural language processing; multi-mass; BI-RADS

青年学者 - 青年优秀论文复赛

A Novel Online Action Observation-Based Brain-Computer Interface That Enhances Event-Related Desynchronization

Zhang Xin[1] Hou Wensheng[1,2*] Wu Xiaoying[1,2] Chen Lin[1,2]

[1] (*Bioengineering College, Chongqing University, Chongqing 400044, China*)

[2]（*Key Laboratory of Biorheological Science and Technology, Ministry of Education, Bioengineering College, Chongqing University, Chongqing 400044, China*)

Abstract: Brain-computer interface (BCI)-based stroke rehabilitation is an emerging field where different studies report variable outcomes. Among the BCI paradigms, motor imagery (MI)-based close-loop BCI is still the main pattern in rehabilitation training. It could estimate patients' motor intention and provide corresponding feedback. However, the individual difference in the ability to generate event-related desynchronization (ERD) and the low classification accuracy in multi-class scenario constrain the MI-based BCI's application in rehabilitation. In current study, a novel online action observation (AO)–based BCI was proposed. The visual stimuli of four types of hand movements were designed to simultaneously induce steady-state motion visual evoked potential (SSMVEP) in occipital region and activate sensorimotor region. The task-related component analysis method was utilized to identify the SSMVEPs. Results showed that the amplitude of the induced frequency in SSMVEP had a negative relationship with the stimulus frequency. And the classification accuracy in four-class scenario reached 74.22 ± 14.50% within 2.5s duration. Importantly, the AO-based close-loop BCI, which provided visual feedback based on SSMVEPs, could enhance ERD compared with the AO session. And the increasing attentiveness might be one key factor for the enhancement of the ERD in the designed AO-based BCI. Thus, the proposed AO-based BCI provides a new insight for BCI-based rehabilitation.

Key words： action observation; brain-computer interface; event-related desynchronization; steady-state motion visual evoked potential; rehabilitation after stroke

Approach for Training, Storing and Compressing Neural Network Model at Memory Constrained Edge Devices

Jiarong Chen[1,#], Mingzhe Jiang[1,#], Wanqing Wu[1,*]

[1] School of Biomedical Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, 518056 China

[*] Corresponding author: Wanqing Wu wuwanqing@mail.sysu.edu.cn

[#] These authors contributed equally to this paper

Abstract: By processing data locally, there are a number of vital benefits in edge calculation, such as privacy, response time and power consumption. As a representative prediction and classification algorithms, neural network achieves higher performance and requires more resources at the same time, which is the major

challenge for edge devices with limited memory to implement it. In this paper, we first explored the feasibility and constraint of directly training neural network model on an ATmega2560 processor. Adapting to the constrained memory resource, we optimized the training and storing phases, including parameter discard and parameter quantization. The proposed implementation and optimization were validated on an ECG database for Atrial Fibrillation classification. The experimental results indicate that the method compresses the trained model to about 25% of the original size with negligible performance degradation. By reducing the burden of embedded devices, it is possible for embedded devices to implement more complicated neural network and to have higher signal processing capability.

Key words: *e*dge calculation; tiny ML; parameter quantization

红外热成像驱动的人体运动姿态识别

朱业安（研究生）[1, 2, 3] 王睿 [4] 吴小鹰 [1, 2, 3] 侯文生 [1, 2, 3*]

[1]（生物流变科学与技术教育部重点实验室，重庆大学，重庆 400044）

[2]（重庆市医疗电子工程技术研究中心，重庆 400044）

[3]（人工智能与服务机器人控制技术重庆市重点实验室，重庆 400044）

[4]（虚拟现实与交互技术研究院，华东交通大学，南昌 330013）

目的：提出一种无约束的三维人体运动姿态实时识别方法，并检验其信效度。

方法：将红外热成像相机实时记录 的人体运动热成像视频作为输入；以三维动捕系统捕获的骨骼关键点坐标为输出；通过构建双通道级联神经网络学习输入与 输出之间的映射关系，实现人体运动姿态的实时识别。

结果：识别方法实现的 3D 人体姿势估计误差低于 21mm，优于其他 先进方法（Mask R-CNN, VideoPose3D, PoseForme），并率先获得 80% 的优良帧分数。同时横向比较结果显示，使用单个 红外热像仪进行姿态估计的效果可达到或优于现有商业系统的性能。

结论：红外热成像序列驱动的人体运动姿态识别是精准 有效的，有望作为一种补充方法在医学评估项目中应用。

关键词：热成像；人体姿势估计；动作捕捉；神经网络；运动学评估

基于 CT 图像和影像报告的多模态数据融合方法及应用研究

郑智民 [1,2] 陈卉 [1,2*]

[1]（首都医科大学生物医学工程学院，北京 100069）

[2]（临床生物力学应用基础研究北京市重点实验室，北京 100069）

目的：对 CT 图像和影像报告进行多模态的融合，并在胰腺疾病诊断上展开应用研究。

方法：利用卷积神经网络提取 CT 图像的特征，同时考虑 CT 图像的动态序列特性，通过递归神经网络进一步提取图像特征；通过传统基于规则的模式匹配的方法将文本结构化，利用自编码器提取文本特征，并与图像特征维度统一。将所得图像特征和文本特征通过拼接、平均、加权求和的方式进行特征融合，并通过 BP 神经网络得到基于融合特征的分类结果。将图像特征和文本特征分别通过支持向量机、BP 神经网络、XGBoost 分类器进行分类预测，根据各个分类器的概率输出值，得到模型融合的分类结果。

结果：单一模态下，基于图像的分类准确率最高为 75.11±1.92%，基于文本的分类准确率最高为

78.14±2.09%。多模态融合下，基于特征融合的分类准确率最高为 83.76±1.51%，基于模型融合的分类准确率为 85.17±1.48%。

结论：无论是特征层面还是模型层面的融合，CT 图像和影像报告的模态融合结果都比单一模态提供了更多的信息，提高了机器学习模型的分类性能，为更多模态的医学数据融合提供了参考。

关键词：多模态融合；CT 图像；影像报告

一种计量电源线设计及其在医疗设备效益分析中的应用

王威 李涛 徐富强 何宇 郑小溪 ※

（中国人民解放军中部战区总医院医学工程科，武汉 430070）

目的：基于 Arduino 平台开发一种用于医疗设备的带有计量功能的电源线，在使用过程中记录医疗设备的电压、电流、功率等电能信息，分析医疗设备的工作状态，以便对医疗设备进行效益分析。方法：以 Arduino 平台为基础，以单相计量芯片 HLW8032 为核心元器件搭建电能监测电路，并扩展外围显示模块。Arduino 主机获取计量芯片返回的电能信息，设定一合适的阈值标识设备处于工作状态亦或待机状态，将结果显示在液晶屏及 LED 灯上。结果：开发了一种用于医疗设备的带有计量功能的电源线，通过分析电源线上的电能信息，判断医疗设备设备是否处于工作状态。结论：根据医疗设备工作状态和待机状态下消耗电能的不同，设计的电源线可实现对医疗设备工作状态的判断并进行显示，并对设备工作时间进行自动统计，从而提高设备效益分析的准确性。

关键词：Arduino 平台；电能计量；效益分析

研究生 - 青年优秀论文复赛

基于多任务多注意力残差收缩卷积神经网络的可穿戴睡眠呼吸暂停检测方法

沈奇（研究生）[1] 刘官正 [1,2,3*]

[1]（中山大学生物医学工程学院，广州 510006）

[2]（广东省传感技术与生物医疗仪器重点实验室，广州 510006）

[3]（广东省便携式普及型先进实用医疗器械工程技术研究中心，广州 510006）

睡眠呼吸暂停综合征（Sleep Apnea Syndrome, SAS）是常见的慢性呼吸障碍疾病，常伴随着多种并发症，严重困扰着人类健康。基于可穿戴设备的容积血流脉搏波（Photoplethysmography，PPG）的 SAS 检测方法引起了广泛关注，具有低成本、低负荷、穿戴方便等优点。针对可穿戴 PPG 信号干扰更大的问题，本文提出了一种多任务多注意力残差收缩卷积神经网络的睡眠呼吸暂停检测方法。首先，本研究利用智能手环设备，收集了 92 例手腕部的 PPG 睡眠数据。其次，本研究设计了一种残差多注意力机制卷积模块，高效的融合了网络在时间域与通道域的双重重要特征。接着，引入残差收缩卷积模块来抑制信号噪声以及网络的冗余特征。这两种模块的结合构建了用于特征提取的骨干网络。同时，提出了一种深度度量学习与有监督特征学习相结合的多任务学习方法，进一步提高了网络的表征学习能力。最后，本研究还引入 AdaCost 代价敏感算法以缓解样本中存在的类别不平衡问题。结果表明：片段检测的准确率，敏感性以及特异性分别达到了 81.82%，70.27% 以及 85.81%；个体检测的准确率，敏感性，特异性分别达到了 95.65%，88.89% 以及 97.30%。与同行对比，本研究提出的方法具有更好的性能，为基于可穿戴设备的睡眠呼吸暂停综合征检测提供了新的思路。

关键词：睡眠呼吸暂停综合征；可穿戴设备；容积血流脉搏波；卷积神经网络；深度度量学习

Applying Cone-beam CT Radiomics for Predicting Treatment Response in Patients with Liver Tumors Treated by Stereotactic Body Radiation Therapy: a Pilot Study

Pengfei Yang（研究生）[1] Tianye Niu [2#*]

[1] (College of Biomedical Engineering and Instrument Science, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang, China)

[2]（Shenzhen Bay Laboratory, Institute of Biomedical Engineering, Shenzhen, China)

Background: To investigate the potential of using cone-beam CT (CBCT) based radiomics approach for assessing the treatment response in liver tumors treated with stereotactic body radiation therapy (SBRT).

Methods: In this prospective study, CBCT and planning CT (pCT) images of liver cancer patients who received SBRT were collected. The reproducible CBCT features were selected for further analysis. The delta features were also calculated. The multivariable logistic regression was used to assess the ability of raw and delta CBCT features for predicting the two-level treatment response (I: local efficacy vs local non-efficacy; II: complete response vs partial response) in patients with 5-fraction SBRT. The univariate analysis was applied to validate

the capability of CBCT features in identifying local efficacy in patients with 3-fraction SBRT.

Findings: A total of 49 patients were included in this study. Eleven out of 547 CBCT features were selected for analysis. For patients with 5-fraction SBRT, the treatment response prediction models constructed by combining raw and delta CBCT radiomics features showed higher AUC than models using raw or delta features only in both the two-level classification tasks (I: 0.8981, 95%CI: 0.7946-1; II: 0.8929, 95%CI: 0.7691-1). For patients with 3-fraction SBRT, eight CBCT radiomics features were also found valuable for predicting local efficacy.

Interpretation: Radiomics features extracted from CBCT images have the potential for assessing the response to the treatment in advance, which could serve as an early biomarker for liver tumor SBRT.

Key words：liver tumor; cone beam computed tomography ; radiomics ; stereotactic body radiation therapy

超声图像甲状腺结节良恶性分类：一种基于生物视觉机理的局部 / 全局特征解耦网络

赵世轩[1]（研究生）陈杨[2] 杨开富[1] 李永杰[1*]

[1]（电子科技大学生命科学与技术学院，神经信息教育部重点实验室，成都 610054）

[2]（四川大学华西医院华西大数据中心，成都 610044）

甲状腺结节是一直常见的结节性病变。甲状腺癌的发病率在过去三十年中迅速增加，是发病率最高的癌症之一。超声作为一种无创的影像学检查手段，可用于鉴别甲状腺结节的良恶性，在大规模筛查中可发挥重要作用。在本研究中，受超声诊断领域知识和视觉认知机理的启发，我们提出了一种局部 / 全局特征解耦网络对甲状腺良恶性结节进行分类。该模型模拟了人类视觉系统的双通路结构和处理模式，建立了一种新的特征提取方法，提高了结节的识别性能。我们基于自注意机制设计的组织 - 解剖解耦模块，可以通过传递局部和全局特征提取线索连接视觉双通路，完成分类与分割的多任务学习。为了验证模型的有效性，我们构建了一个大规模的数据集并进行了实验。结果表明，该方法的准确率达到 89.33%，超过了医生的平均诊断水平。

超声图像；甲状腺结节；注意机制；分类；深度神经网络

基于深度强化学习的热消融适形规划

梁利斌[1, 2] 王广志[1*] 丁辉[1]

[1]（清华大学医学院生物医学工程系，北京 100084）

[2]（西安交通大学生命学院生物医学工程系，西安 710049）

经皮热消融是目前临床治疗肿瘤的重要手段之一，具有微创、并发症少、术后恢复快等优点。手术规划作为热消融手术的重要步骤，直接影响手术的效果。临床中，当肿瘤较大且形状不规则时，需要多针组合才能完成适形消融，然而由于计算复杂度高，多针适形规划非常挑战。针对该问题，本文提出了基于深度强化学习的多针适形规划方法：将规划过程视为“游戏”并构建游戏平台；在此基础上，训练深度网络反复操作“游戏”，多次试错并积累经验，直到深度网络学习到适形规划的策略。本文以肝肿瘤的微波消融为例，对算法进行测试并与传统的模拟退火规划算法比较，实验结果表明：相比传统算法，本文方法产生的手术方案可达到更好的适形程度，且规划速度是传统算法的将近 6 倍。本文的工作为智能热消融手术规划的发展提供了一个新的可行思路。

关键词：热消融；适形规划；深度强化学习；人工智能；自动规划

Classification of Dysarthria Speech for Parkinson's Disease with A Self-Supervised Learning Model

Chen Gong Hao Fang Chen Zhang Yanan Sui [1] Luming Li [*]
(National Engineering laboratory for Neuromodulation, School of Aerospace Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The diagnosis of Parkinson's disease (PD) is often difficult when patients' motor symptoms are not obvious. Speech disorders could serve as early stage biomarkers for patinents with PD. In this paper, we collected a large speech corpus from 600 subjects and tried to distinguish speech samples showing PD dysarthria from normal ones. We tested the performance of different upstream and downstream models and used random search for better hyperparameters. Among all the combinations, a self-supervised learning model designed for speech with support vector machine reached the highest AUC of 0.821 and an accuracy of 74.0%. Our work demonstrates that PD dysarthria could be effectively differentiated from speech by extracting physiological features that play roles in speech production.

Key words：Parkinson's Disease; Speech; Machine Learning; Self-supervised Model

Research on a System of Identifying Circulating Tumor Cells Based on Random Forest Algorithm

Xin Li[1], Lingzhe Zhang[3], Jingyao Chen[1], Jutang Li[4], Chenyu Lin[1], Jun Li[1], Yuqian Zhu[1], , Lei Wang[2,*] Bingdi Chen[1,*]
[1]Shanghai East Hospital, The Institute for Biomedical Engineering & Nano Science, Tongji University School of Medicine, Shanghai, 200120, China，
[2]（School of Electronic and Information Engineering， Tongji University, shanghai201804, China）
[3]（Software College of Beijing, Tsinghua University, beijing100084, China）
[4]（Tongren Hospital Affiliated to Shanghai Jiaotong University, shanghai200050,China）

The random forest algorithm is applied to create a tumour cell recognition system in this undertaken research. The integrated, comprehensive learning model employs a variety of weakly supervised models to generate a stronger supervised model. The study design is split into five stages. First, this process significantly enriches "PET-metabolizing" tumour cells. The next phase has the obtained biological picture samples assessed for tumour cells on the basis of nuclear and cytoplasmic abnormalities. After that, segmenting the image, applying preprocessing, and making a training set are carried out. The final stage is creating a classification and extraction system for random forest algorithm to categorise photos of circulating tumour cells based on their attributes. The system ends by comparing the simulated and real cell images. For a 100-decision tree model, accuracy of 95.6 percent is achieved when the training set has 95 percent of the data, the test set has 5 spercent, and there are 100 trees. Inputting the 1573 photos, the process takes 50 minutes because the entire training only lasts 50 minutes. In the experiment, when the image of the simulated blood sample with reference cells is fed into the system, the obtained average accuracy was 94.59 percent. The overall accuracy from the results of the ten tests is 83.03 percent when the test blood image is placed into the system. Artificial intelligence, based on circulating tumour cells, has far better computational speed and can save several hours. This can help people get quicker results for pathological diagnoses. But accuracy is still restricted with genuine blood samples, and there is still space for improvement.

Automatic Sleep Staging using Deep Convolutional Neural Network and Gated Recurrent Unit with EEG and PPG Signals

Yongshen Zeng[1] Yali Zheng[1]

[1] (*College of Health and Environmental Engineering, Shenzhen Technology University, Shenzhen, 518118, China*)

Abstract: Accurate sleep staging is of great significance for the assessment of sleep quality and the diagnosis of sleep disorders. Polysomnographic devices are commonly used in clinical practice for this purpose, which however are infeasible for daily sleep monitoring due to the high costs of the equipment and the staging process. Therefore, wearable sleep tracking devices and automatic sleep staging tools are required. As sleep is considered as the activation or consciousness levels of central nervous system (CNS), the classification of sleep stages is mainly determined by the characteristics of EEG signals as provided in the AASM Manual for sleep scoring. Existing algorithms mainly used EEG or cardiovascular signals/parameters such as electrocardiogram (ECG), photoplethysmogram (PPG), heart rate or heart rate variability as a surrogate of CNS activities for sleep staging. While recent research suggested that there were coupling between CNS and autonomic nervous system (ANS) during sleep. It is interesting to investigate whether more accurate sleep staging can be achieved by taking both CNS and ANS activities into account. This study aims to investigate if EEG and PPG signals can classify sleep stages better than EEG or PPG alone, and whether the accuracy is comparable to PSG. It is expected this study would provide foundation for choosing the most important physiological signals for future development of wearable sleep tracking devices.

Key words：Sleep Staging; CNN-GRU model; CNS-ANS coupling

基于生理模型与深度学习融合的连续无袖带动态血压估计

王日琛 郑亚莉

（深圳技术大学健康与环境工程学院，深圳 518000）

在基于脉搏传输时间原理的连续无袖带动态血压测量技术中，常用方法是构建基于脉搏传输理论的生理模型，或是通过数据驱动的方法搭建机器 / 深度学习模型，两者都有相应的优缺点，但是在活动场景下的连续血压估计的准确度一直未能满足国际血压测量标准要求。该项研究探索将两者结合的方法，即使用生理模型与深度学习融合的方法对血压进行估计，并评估其相对于生理模型法和深度学习法的性能表现。本论文使用了 25 名健康受试者在饮水状态下所采集的连续生理信号（包括心电信号和光电脉搏波信号）进行模型开发和验证，并采用了测量值和估计值的平均绝对误差（mean absolute error, MAE）、平均误差和误差的标准方差（mean±standard deviation, SD）和皮尔逊相关系数（Pearson correlation coefficient, PCC）对估计精度和跟踪性能进行评估。结果表明，生理模型与深度学习融合法在 25 个人上的平均性能整体优于生理模型法及深度学习法（收缩压 MAE：7.84 vs 8.38 vs 8.97 mmHg, PCC：0.60 vs 0.60 vs 0.47）。本项研究表明，生理模型与深度学习融合法在活动场景下的估计误差和跟踪性能相对于生理模型和纯数据驱动的深度学习模型表现更佳，具有潜力改善目前生理模型法和深度学习法在部分个体上估计误差和跟踪能力较差的情况。

关键词：深度模型的域知识；无袖带连续血压估计；脉搏传输时间；光电容积描记图强度比

Using multi-scale information fusion residual network to predict the ISUP grade of ccRCC in digital pathology images

Chang Shilong[1] Wang Yucheng[1] Liu Shuang[1,2] Yang Kun[1,2] Xue Linyan [1,2*]

[1] (*College of Quality and Technical Supervision, Hebei University, Baoding 071002, China*)

[2]（*National & Local Joint Engineering Research Center of Metrology Instrument and System, Hebei University, Baoding 071002, China*)

Abstract: Clear Renal cell carcinoma (ccRCC) is the most common malignancy of renal cell carcinoma. For ccRCC patients, accurately determining the ISUP grade is critical for better prognosis and treatment selection. However, conventional ISUP grading is mainly based on subjective microscopic examination of tumor morphology, leading to inconsistency between pathologists. In this paper, we develop and evaluate a novel deep neural network, named as MsfNet (multi-scale fusion network), to overcome the limitation of traditional ResNet50 for very precise automated ISUP grading of ccRCC in digital pathological images. In MsfNet, the feature map generated at a layer utilized multiple inputs from all preceding stages and was repeatedly used later to produce further feature aggregation in the following stages, instead of only considering the features from the immediately prior layer. We collected 90 H&E-stained WSIs from the No. U090KI01 renal tissue section of Zhongke Guanghua (Xi'an) Intelligent Biotechnology Co., Ltd and randomly divided them into training set and test set in a ratio of 4:1. Owing to the large size of a WSI, the WSIs were cropped into small patches with the size of 320×320 pixels at 40× magnification. To assess the performance of our architecture, we compared MsfNet with some other existing classification networks on several evaluation metrics of AUC, accuracy, precision, recall and F1-score. Furthermore, Grad-CAMs were adopted to visualize the details of the regions of interest of MsfNet and ResNet50. According to the evaluation results, our model achieved a micro- averaged AUC of 0.9807, a macro- averaged AUC of 0.9778, an accuracy of 87.06%, a precision of 87.78%, a recall of 85.85% and a F1-score of 86.72%. Furthermore, the Grad-CAMs showed that our model successfully distinguished and highlighted more abnormal areas than ResNet50. The proposed MsfNet provides very accurate ISUP grade of RCC in digital pathology images that suggests the potential value of using histopathological artificial intelligence assistance systems in routine practice scenarios.

Key words：renal neoplasia; renal cell carcinoma; pathology image; deep learning; convolutional neural network

S07
医学影像工程与技术分会场

专题口头报告

基于大样本深度学习研究男性和女性在大脑功能老化中的异同

杜宇慧 *[1]、袁振 [1]、Vince D. Calhoun[2]
1. 山西大学计算机与信息技术学院
2. 佐治亚州立大学，佐治亚理工，埃默里大学，神经影像和数据科学转化研究三机构中心

目的：人口老年化是严重的社会问题。已有证据表明人脑的功能会随着年龄的增长而衰退。然而，目前没有研究揭露了正常的老化是如何影响脑功能的衰退过程的，更没有研究调查了男性和女性之间脑功能老化的异同。本研究旨在发掘人脑功能连接中和老化最相关的测度，揭示人脑功能在老化过程中的衰退规律，揭示男性和女性的脑功能衰退有什么共同和特异之处，为针对性地减缓人脑老化提供有力的指导。

方法：基于介于 48 到 75 岁的 9642 个女性和 8519 个男性样本在静息状态下估计的脑功能连接测度，我们构建大规模（4200 个）的深度学习模型发掘和老化最相关的脑功能连接，调查男性女性之间共同的和特异的老化相关的脑功能连接，并基于 21000 个深度学习模型在独立数据上进行有效验证。

结果：我们发现，深度学习模型在不同的年龄组间进行分类时可以得到很高的分类准确率，这一点对独立数据集也成立。例如，在男性和女性中取得的最高分类准确率分别为 90.19% 和 87.07%。结果表明我们提取到的老化相关的功能连接测度是可靠的。此外，总体上脑功能连接强度的绝对值会随着年龄的增长而变弱，即负连接在变老时会增强，而正连接在变老时会减弱，验证了老化导致了功能的衰退。在基于网络水平分析这些连接时，我们发现老化主要抑制了网络内部的正连接和网络之间的负连接。与此同时，男性和女性共同老化的连接在变化趋势上展示了高度的一致性，且这些连接主要集中在认知控制网络内部；在女性特异的连接中，我们发现这些连接在男性和女性中的表现相差较大，且这些连接主要集中在认知控制和视觉网络之间；在男性特异的连接中，我们同样发现这些连接在男性和女性中表现出较大的差异，且这些连接主要集中在认知控制和默认网络之间。

结论：人脑功能的衰退在男性和女性之间既存在大量的相似之处，也存在性别特异的脑功能老化规律，这些规律有利于开发新的技术去针对性地延缓人脑老化带来的不良影响。

关键词：人口老年化；深度学习；男女差异；脑功能连接

B0 and B1 inhomogeneities effect on selection of the optimal parameters of LIBRE（Lipid Insensitive Binomial Off-Resonant RF Excitation）at 3T

Zeping Liu、Guoxi Xie*、Anyan Gu、Zhuoneng Zhang、Xiangyu Xiong、Chuanqi Sun
广州医科大学

Objective: LIBRE is a new fat suppression technology that can effectively against the inhomogeneity of the magnetic field. And LIBRE method can resist the influence of the inhomogeneities of the magnetic field well. However, four

original LIBRE pulse parameters are obtained by numerical simulation under the condition of homogeneous magnetic field (both B0 and B1). Under certain parameters, the inhomogeneities of the B0 and B1 fields will cause the SNR of the water to decrease, and sometimes there is no fat suppression effect. This article mainly studied the influence of the inhomogeneity of the B1 and B0 fields on the image SNR of different parameters.

Methods: Numerical simulations carried out for (1) RF flip angles α ranging from 0.5° to 40° and RF pulse offset frequencies f from -1200 to 1200 Hz with fixed γΔB0=0 and RF pulse durations (2t) respectively 2.6ms, 2.2ms, 1.8ms, 1.4ms; (2) γΔB0 (γ, gyromagnetic ratio) from -300 to 300Hz, RF pulse offset frequencies f from -1200 to 1200Hz with fixed α=10° and RF pulse durations respectively 2.6ms, 2.2ms, 1.8ms, 1.4ms. Phantoms (baby oil and mixed solutions of NiSO4 and NaCl) used in this study were designed to mimic the fat and water of the human body. The LIBRE pulses were implemented as part of a Cartesian 3D segmented k-space spoiled gradient recalled echo (GRE) MRI sequence. Evaluate the inhomogeneities of B0 and B1 fields with field mapping and b1 mapping standard sequences respectively. Phantom experiments were carried out with a LIBRE pulse duration (2t) of 2.6ms and 100-500 Hz frequency offset; 2.2ms and 300-700Hz frequency offset; 1.8ms and 500-900Hz frequency offset; and 1.4ms and 800-1200Hz frequency offset.

Results: The measured inhomogeneities of the B0 and B1field were 211.70 and 88.93 respectively. Only the real flip angles of the four groups of parameters reach 4-8°, 5-11°, 6-13°, 7-17° respectively, |Mxy| can reach more than 70% of the M0. Only the γΔB0 of the four groups of parameters reach about 50-100Hz, -80-130Hz, -120-140Hz, -130-100Hz respectively, |Mxy| can reach more than 70% of the M0 and fat can be suppressed well. Phantom experiments showed that the best frequency offsets matching 2.6ms, 2.2ms, 1.8ms, and 1.4ms are 380Hz, 500Hz, 640Hz,820Hz, respectively.

Conclusion: The sensitivity of different parameters to the B0 and B1 field is different. When using LIBRE on different scanners, its parameters need to be adjusted.

Key words: MRI; fat suppression; LIBRE; magnetic field inhomogeneities.

非医学影像专业住院医师放射基地轮转 SPARK 教学模式初探

韩志江

杭州市第一人民医院

目的：旨在提高非医学影像专业住院医师（Non-medical imaging residents，NMIR）在放射专业基地的轮转质量，构建新型五位一体教学模式，并分析实施效果。

方法：选择 2020 年 6 月至 10 月在浙江大学医学院附属杭州市第一人民医院放射专业基地轮转 1 月的 NMIR 68 人，采用分层随机抽样法分为两组，其中试验组 32 人实施 SPARK 教学模式（），对照组 36 人实施常规教学模式，并于月中和月末以读片形式对学员进行量化考核，比较两种教学模式的培养效果。

结果：试验组和对照组比较，男女比例分别为 13:19 和 12:24（$\chi^2 = 0.387$，$P = 0.534$），本科和在读硕士研究生比例分别为 20:12 和 27:9（$\chi^2 = 1.240$，$P = 0.265$），月中考核成绩中位数（四分位距）均为 8（2）分（$Z = -0.039$，$P = 0.969$），月末考核成绩中位数（四分位距）分别为 70（10）和 60（10）分（$Z = -2.626$，$P = 0.009$）。

结论：SPARK 教学模式有助于 NMIR 针对性、系统性学习放射专业知识，提高阅片技能。

关键词：住院医师规范化培训；教学体系建设；基地

1.5T 磁共振成像过程中心脏植入物射频致热安全评估的组织模拟介质推导

姚爱萍 *[1]、杨鹏飞 [2]、王晶 [2]

1. 兰州大学

2. 国家药品监督管理局医疗器械技术审评中心

目的：植入式医疗器械在磁共振成像 (MRI) 过程中面临的射频致热问题评估，通常是使用植入物的等效数学模型来估计射频 - 植入物相互作用引起的体内功率沉积。该模型通常是在体外条件下得出的，包括使用适当的测试场条件和组织模拟介质（TSM）特性。目前，对 TSM 特性的论证是基于植入物结构的电磁学传播和 耗散特性。ASTM 标准中提出的测试介质的介电特性（ε r=78， σ =0.47 S/m，简称 HPM0.47）是基于水的介电常数和组织平均电导率，而 ISO10974 中推荐的测试介质的介电特性（ε r=78， σ =1.2 S/m，简称 HPM1.2）是基于水的介电常数和 血液的电导率。在此我们评估了这两种常用的 TSM 对线式心脏植入物安全评估的适用性。

方法：我们采用不同长度（380 毫米和 340 毫米）的通用导线式植入物，导体直径为 1.0 毫米，绝缘层厚度为 0.5 毫米，远端终端的绝缘层被移除 2 毫米。将这些通用植入物植入到位于射频鸟笼线圈进行胸部成像的虚拟人 Duke 的心脏部位，通过变化植入物在心脏远端部位的三个位置以及植入物在胸部的六个近端位置，使用了 18 种不同的位置组合。对每种植入物组合在 HPM0.47 和 HPM1.2 两种测试介质下基于其等效数学模型进行了第三级 (Tier3) 评估，并将得出的功率沉积与其第四级 (Tier4) 全波仿真评估结果进行了对比。

结果：基于 HPM0.47 测试介质下的等效数学模型的 Tier3 评估结果与 Tier4 结果的评价偏差为 2.4dB, 最大偏差为 3.2dB。而基于 HPM01.2 测试介质下的等效数学模型的 Tier3 评估结果与 Tier4 结果的评价偏差和最大偏差分别为 0.2dB 和 1.3dB。

结论：初步研究表明，对线式心脏植入物进行体内射频致热评估时，HPM1.2 可能比 HPM0.47 更适合。在未来的工作中，需要进一步考虑各种不同的电极和导线拓扑结构以及导线的绝缘厚度，以便确定心脏植入物以及其他类型植入物的最佳组织模拟介质。

关键词：组织模拟介质；射频 (RF) 致热；心脏植入物；磁共振成像 (MRI)

基于数值计算的系列医学影像仿真仪器研发与应用

汪红志

华东师范大学

目的：医学影像技术在现代医学诊疗中越来越重要，高素质医学影像相关人才对于国家医疗健康战略具有重要支撑作用。医学影像成像理论是医学影像医师、技师和工程师核心素养和能力的基础，成像理论本身抽象复杂，仅关注结果的真机实验无法满足成像理论的过程化展示和本质的理解，批量化、规范化的成像理论实验一直无法开展，使得对专业学生的专业培养教育和从业人员的培训学习效率不高，乃至全面专业素质难以提高，从而可持续发展能力不足，因此针对涉及大型昂贵、有危险性的医学影像仪器相关的高素质专业人才培养和培训的核心问题，必须要设法通过创新性的手段来解决。基于数值计算的医学影像仿真仪器是较为理想的解决方案。

方法：本研究关注大型医学影像仪器系统（包括设备、方法）及超系统（包括样品和环境），基于还原论方法构建与真机更吻合的模拟数据采集模型，研发了实验效果逼真度高、实时性强、操作体验佳、本质理解透的系列医学影像仿真仪器，包括数字 X 射线摄影（DR）设备、计算机断层成像（CT）设备、磁共振成像（MRI）设备、正电子断层成像（PET）设备、放射测量系统、医学影像数学基础实验软件等。

结果：本研究（1）建立了数字人的医学影像物理信息数据库；（2）基于还原论思想，对复杂昂贵的大型医学影像设备系统进行解构重构建模，创造性地开发了系列医学影像仿真仪器；（3）创新性地将数值模拟仿真技术应用于医学影像教学领域。

结论：目前已经在包括美国麻省大学、复旦大学、北京大学、四川大学、首都医科大学等国内外 40 余所高校批量用于操作性实验教学。部分功能的网络版软件于疫情期间免费提供给 40 余所高校 8 万余人次线上实验教学。基于系列仿真仪器，开发了 30 余个实操性实验，并出版了《医学影像成像原理仿真实验》，部分实验纳入十三五和十四五规划教材。

关键词：数值计算；医学影像仿真仪器；CT；MRI；PET；放射测量

Synergetic Ferroptosis-Gemcitabine Chemotherapy of the Carbonaceous Nanozyme (CNS@MnFe2O4) to Improve Treatment and Magnetic Resonance Imaging Monitoring of Pancreatic Cancer

Gaorui Zhang 、Dexin Yu*

山东大学齐鲁医院

Objective: To be one of the deadliest cancers, the lethal nature of pancreatic adenocarcinoma (PDAC) includes a high degree of perniciousness, resistance to chemoradiotherapy, insensitivity to targeted therapy, and a low percentage of early diagnosis. With the development of nanomedicine, some nanomaterials with the ability of high drug loading, targeting and theranostic functions have shown a great potential in PDAC diagnosis and treatment. In this work, the gemcitabine (Gem) loaded carbonaceous nanoparticles@$MnFe_2O_4$ (MFC-Gem) as a nanotheranostic platform was fabricated and used for MRI-guided ferroptosis-chemo synergetic therapy of PDAC. And the metabolic mechanism of MFC-Gem in PDAC therapy was also explored to enhance the clinical transformation.

Methods: $FeCl_3$ and $MnCl_2$ were dissolved in 180 mL of water with a stream of N_2. NH_3H_2O was added and kept at 80 °C for 10 min under N1 atmosphere. The obtained $MnFe_2O_4$ nanoparticles were separated by a magnet and repeatedly washed with water. D-(+)-glucose solution (0.6 M) was heated to 170 °C for 7 h, and centrifuged (12000 rpm, 10 min), washed. The 20 mg obtained CNSs were dispersed in 50 mL water and 5 mg MnFe2O4 was dispersed in 50 mL water under ultrasound. The product of MFC was washed and dried for further use. And 15 mg MFC was dispersed in 50 mL PBS (pH 6.0) under ultrasound and 10 mg Gem was added and obtained the MFC-Gem was separated by magnetic decantation and washed with water. The morphological characteristics and elemental composition of MFC-Gem were observed. The 3.0T MR scanner was used for the measurement of the MR relaxation rate of MFC-Gem. The toxicity of Murine pancreatic cancer cells (PANC02) was verified by CCK-8 assay. The fluorescence microscopy were used to detected the level of oxygen species (ROS), the GSH, Lipid peroxidation (Lipid ROS), mitochondrial membrane potential (ΔΨm) and superoxide anion (O2•–) in vitro. The treatment effect of MFC-Gem were detect by Calcein-AM/PI staining assay and flow cytometry analysis. The dramatic morphological changes of mitochondria were performed by TEM. Expression of GPX4 and Caspase-3 were detected by Western blot analysis. The hemolytic properties, H&E, blood biochemical indicator and inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry (ICP-MS) were ueds to in vivo biodistribution and biocompatibility assay. 3.0 T MRI scanner were used to verified the potential ability of the MFC as a contrast agent for pancreatic cancer diagnosis and real-time monitoring and the results were verified by prussian blue staining. The immunofluorescence analyze has been exploited to analysis the expression of

GPX4 and Caspase-3 through the tumor histosections to investigate the synergistic treatment ability of MFC-Gem through ferroptosis and chemotherapy in vivo.

Results (1) The TEM and SEM showed the average diameter of CNSs was about 120 nm, and the EDS spectrum demonstrate elementals of C, O, Fe and Mn were dispersed over MFC. The average ζ potentials of CNSs and MFC were -28.9 mV and -25.3 mV. FTIR showed the Gem was successful loaded on the MFC-Gem. (2) MFC-Gem showed the higher Fenton reaction rates in the acid solution. The consumption of GSH was increased with the extension of time and revealed about 82% of GSH consumed by MFC (200 g/mL) compared with the control group. The Gem release profile revealed an initial fast drug release at pH 5.0 during the 12 h. (3) After incubation with MFC-Gem the GSH content of the PANC02 was 23.9% for the when the Gem group was 93.2% and the ROS generation in PANC02 was increased. MFC-Gem could increased level of lipid ROS accumulation, accelerate the ΔΨm decreases, down-regulated the GPX4 expression and significantly up-regulated the Caspase-3 expression. (4) In vivo, the tumor uptake of Fe and Mn element reached 71.52±6.73 μg/g and 32.03±9.97 μg/g after PANC02 tumor-bearing Balb/c mice were injected the MFC-Gem(5 mg/kg), the hemolysis ratio remained less than 5% and there were on observable tissue damage and inflammatory lesion in major organs. T2-weighted images showed the contrast effect in the tumor region and the obvious signals effect at 4 h post-injection of MFC-Gem. (5) The therapeutic effect showed that the MFC-Gem could prolong the survival time of mice.

Conclusion: The MFC-Gem, with highly biocompatible, less side effect, can deplete the intracellular GSH and catalyze H_2O_2 to generate ROS and supply a pH-responsive release for Gem in vivo. In vitro and vivo, the ability of ferroptosis therapy and chemotherapy of MFC-Gem can play a key role in inhibiting the tumor growth through synergistic effects. In summary, MFC-Gem shows a high therapy efficiency property compared with Gem alone and actualize the simultaneous MRI monitoring in pancreatic cancer which is of great value in the theranostics of other tumors in future in clinical applications.

Key words: Pancreatic cancer; Ferroptosis; Chemotherapy; Magnetic resonance imaging; Nanotheranostics

难治性癫痫患儿大脑半球切除术后运动功能的综合评估

赵一霖

深圳市儿童医院

目的：大脑半球切除术 (Hemispherectomy) 是治疗弥漫性半球病变所致难治性癫痫的外科术式。术后癫痫发作控制良好，可出现不同程度的运动功能改变。这突显出大脑的强大可塑性，在年幼患儿中更为明显。神经影像技术可联合分析脑结构、功能及相关的神经影像特征，揭示其神经生理机制，因此目前神经影像技术被认为是综合评估术后运动功能预后的最佳方法。本文旨在总结神经影像技术在半球切除术后运动功能预后中的研究进展，为功能改变的神经机制提供新见解。

方法：在 Pubmed、Springer Link、知网和万方等国内外大型数据库中，搜索 MeSH 关键词“Hemispherectomy; Magnetic resonance imaging; prognosis”或中文关键词“大脑半球切除术、磁共振成像、预后”，查阅 2007 年 1 月 -2021 年 2 月神经影像技术在半球切除术后运动功能中应用的相关文献，用医学文献王进行筛选整理，主要参考近 6 年内的文献进行分析。

结果：最终纳入 47 篇文献，外文引用率 81%，近 3 年文献引用率 43%。目前神经影像技术可很好地测

量术后患儿神经影像指标，近年来也有学者使用弥散张量成像（DTI）及基于体素的形态学测量分析患儿术后锥体束及椎体外束弥散指标及运动 - 感觉皮层变化情况。DTI 研究发现术后运动功能改变与白质微结构重塑具有强相关性。另有学者利用功能磁共振研究发现半球术后患儿对侧大脑半球七大经典静息态脑网络得以保留，各网络间连接的增强与运动功能改善强相关。

结论：目前 DTI 在半球术后运动功能评估应用最为广泛，与之相比，功能磁共振则更直接但在较小年龄患儿（≤ 5 岁）分析时具有局限性，基于体素的形态学测量能排除年龄和病程因素但难以评测神经核团变化情况。弥散张量成像是目前唯一可无创检测神经微结构的方法，有利于探究与运动功能相关的神经重塑机制。因此，神经影像技术有助于术后患儿运动功能预后的疗效与功能发展趋势评估。

关键词：大脑半球切除术；磁共振；运动功能；儿童

Alterations in dynamic functional connectivity in individuals with subjective cognitive decline

Qian Chen*[1]、Jiaming Lu[2]、Xin Zhang[2]、Bing Zhang[1,2]

1. 南京医科大学鼓楼临床医学院医学影像科

2. 南京大学医学院附属鼓楼医院医学影像科

Objective: Individuals with subjective cognitive decline (SCD), a self-perceived worsening of cognitive function without objectively detected deficits, have been considered at higher risk of Alzheimer's disease (AD). We aimed to investigate the dynamic functional connectivity (DFC) in SCD individuals and assess the associations with cognitive performance.

Methods: Thirty-three control subjects and thirty-two SCD individuals were enrolled and performed the neuropsychological evaluation and resting-state functional magnetic resonance imaging (rs-fMRI) scanning. Thirty-three components were selected by group independent component analysis (ICA) to construct seven functional networks (basal ganglia, auditory, visual, sensorimotor, cognitive executive, default mode, and cerebellar network) using the Group ICA of fMRI Toolbox (GIFT). Based on the sliding window approach and k-means clustering, distinct DFC states with specific connectivity patterns were identified. We calculated the temporal properties of fractional windows and mean dwell time of each state and number of transitions between each pair of DFC states. The differences in DFC metrics and the associations with cognitive performance were calculated.

Results: The whole cohort demonstrated four distinct connectivity states. Compared to the control group, the SCD group showed increased fractional windows and mean dwell time in state 4, the most hypo-connected state with weak connectivity located mostly within each network and between each pair of networks. The SCD group also showed decreased fractional windows and mean dwell time in state 2, characterized by the predominance of strong positive intra-network and inter-network connectivity in the auditory, visual, and sensorimotor networks. The number of transitions between state 1 and state 2, state 2 and state 3, and between state 2 and state 4 was significantly reduced in the SCD group. The altered DFC properties showed significant correlations with cognitive performance on global cognition measured by Mini-mental state examination, executive function measured by trail making test, episodic memory measured by auditory verbal learning test, and language function measured by Boston naming test.

Conclusion: Our findings indicated the DFC network deterioration in the SCD stage, which may underlie the

early cognitive decline in SCD subjects, and also serve as sensitive neuroimaging biomarkers for the preclinical detection of individuals with incipient AD.

Key words: Subjective cognitive decline; dynamic functional connectivity; independent component analysis; fractional windows; transition frequency

品管圈在提高新生儿幼儿磁共振检查成功率及效率管理中的应用

陈晓惠

武汉大学中南医院

目的：许多疾病在出生后必须马上做手术，还有许多疾病在出生后 1-3 周内必须做手术，提高新生儿幼儿磁共振检查的成功率，对患儿及时治疗很有帮助，图像质量的产生及控制涉及医技护、患者、核磁设备、检查技术流程等多个环节，各方面的密切配合是形成优质图像的前提。本文的目的是探讨品管圈在提高新生儿幼儿磁共振检查成功率、质量、效率管理中的应用。

方法:在医学影像科成立“磁圈”，确立以“提高新生儿幼儿磁共振检查成功率、质量、效率”为活动主题，收集并记录新生儿幼儿磁共振检查过程中采用的方法，分析影响新生儿幼儿磁共振成功率的原因及新生儿幼儿磁共振质量、效率较低的原因，讨论、制定相应对策，在下次检查中应用新的方法进行检查，对影响新生儿幼儿磁共振图像质量的原因进行分析总结，对比分析质控前后图像质量的改进情况，旨在提高新生儿幼儿磁共振检查的图像质量。比较圈活动前后的成功率、质量、效率的变化。

结果：通过品管圈活动，新生儿幼儿磁共振检查成功率、质量效果明显提高，活动前后新生儿幼儿磁共振检查成功率分别为 65% 和 85%；图像质量满意度分别为 70% 和 90%；新生儿幼儿脑成像全套检查效率分别为每例检查时间为 16min 和 12min；圈全员的操作技能、团队凝聚力、责任心及学习积极性等明显提高。

结论：结论 开展品管圈活动明显提高了新生儿幼儿磁共振检查的成功率、图像质量及检查效率，促进检查更加安全、规范和高效，提高了新生儿幼儿磁共振检查成功率、服务质量和效率。

关键词：品管圈；“磁圈”；新生儿幼儿磁共振检查成功率

程序响应酸性微环境 MRI/ 荧光纳米对比剂的构建及其用于肝癌诊断研究

吴波

武汉大学中南医院

目的：构建一种具有靶向能力的酸响应启动的 MRI/ 荧光纳米对比剂，用于肝癌的 MRI/ 荧光双模式程序触发成像诊断，描绘肿瘤内部缺氧程度图，获取肿瘤内分子水平上的病理信息，为患者早期诊断、鉴别诊断、疾病管理特别是制定更精准的个体化医疗策略提供一些建议。

方法：首先制备具有靶向性的酸响应聚集增强的 MRI/ 荧光对比剂 IONPs。并通过细胞实验及溶血实验等评估纳米对比剂的靶向性、安全性及生物相容性。接着评估了对比剂的体外、细胞水平酸响应触发成像能力：通过用不同 pH 值的缓冲液模拟体内肿瘤酸性微环境，通过动态光散射仪器、透射电子显微镜等方法对不同 pH 环境下的对比剂响应聚集形貌进行观察；以及通过磁共振、荧光仪等测试其酸响应聚集能力及触发启动成

像效果，并在细胞水平上做了相应的测试。最后建立小鼠肿瘤模型，收集并分析 MR 及活体荧光图像，对对比剂 IONPs 的活体水平酸响应 MRI/ 荧光成像效果进行评价。

结果：合成的两亲性酸敏感纳米对比剂 IONPs 粒径大小均一，分散性好，具有很高的安全性及良好的生物相容性。体内外实验均表明，对比剂 IONPs 具有优异的酸响应成像触发的能力。在弱酸性微环境中，酸敏感两亲性聚合物定量响应性断裂，亲水保护层脱去，对比剂 IONPs 由亲水变为疏水并发生团聚，粒径变大而特异性程序开启 MRI/ 荧光信号为“ON”状态。图像结果显示，IONPs 可以快速地、有选择性地使实体肿瘤变亮，肿瘤边界清楚，很明显的将其与肌肉组织区分开。更重要的是，对比剂能突出肿瘤团块内 pH 值更低的缺氧区域，肿瘤局部的 pH 越低，缺氧越严重，其 T1 信号越高，荧光强度也越强。

结论：合成的 MRI/ 荧光对比剂 IONPs 具有很好的肿瘤酸响应聚集增强 MR 成像效果，是一种良好的具有靶向性的酸响应成像对比剂，其可以选择性的对肿瘤进行无创诊断及鉴别诊断，更重要的是能突出肿瘤内 pH 较低的缺氧区域，描绘肿瘤内部生化病理情况，为患者治疗提供分子水平上的病理信息。

关键词：双模式成像；核磁共振成像；酸响应；荧光探针；对比剂

精神分裂症同步 EEG-fMRI 的脑动态网络融合分析

裴浩男、蒋思思、尧德中、罗程 *

电子科技大学 生命科学与技术学院

目的：精神分裂症 (Schizophrenia, SZ) 是一种严重的慢性精神类疾病，其多种心理特征呈紊乱状态且具有不协调的精神活动，但其脑功能损伤背后的生理机制仍不明确。本研究采用同步脑电和功能磁共振技术（EEG-fMRI），探究精神分裂症患者电生理活动的网络动态交互特征对不同脑区间的 fMRI 功能连接状态的调制作用。

方法：本研究采集了 10 例 SZ 患者和 8 例健康被试的同步 EEG-fMRI 数据。首先，去除同步 EEG 信号中的 fMRI 伪迹后，利用自适应有向传递函数 (ADTF) 构建 EEG 动态网络：包括将 EEG 划分为 delta(1-3Hz)、theta(4-7Hz)、alpha(8-12Hz) 与 beta(13-30Hz) 四个频段，计算各频段内平均 ADTF 值作为网络的功能连接；并计算每个 2s 时间窗内的功能连接变异性，将高于全局变异性均值的时间点标定为 EEG 网络动态变异性因子。其次，依据先验模板在 fMRI 数据上将大脑划分为 164 个脑区，并提取各脑区平均 BOLD 信号；将 EEG 网络动态变异性因子与标准 HRF 函数卷积作为调制项，通过生理心理交互模型计算不同脑区间功能耦合，从而确定 EEG 网络变异性对大脑区域间有向功能连接的调制效应。最后，通过双样本 T 检验（$p<0.001$）考察两组之间的差异。

结果：在低频段 delta 频段调制下，SZ 患者脑区间影响显著增强，其中大脑皮层下丘脑区域、额叶区域、小脑及白质区域扮演核心角色。而在高频段 beta 中，大脑区域之间的影响转变为全面减弱，且集中在额叶与白质及小脑与白质之间。但是，alpha 频段调制下，主要表现为其他脑区到额叶的影响增强。

结论：本研究首次将同步 EEG-fMRI 技术应用于精神分裂症研究，拓展了“精神分裂症脑网络失连接假说”，并揭示精神分裂症中小脑 - 皮层下 - 皮层间功能连接的改变具有 EEG 信号调制的频率依赖性。

关键词：EEG-fMRI；精神分裂症；生理心理交互模型；时变网络

A surface-based MRI study in post-stroke dementia

Wenwen Li[1]、Yinghua Cai[2]、Linhui Ni[2]、Guocan Han[3]、Zhiyong Zhao*[1]、Dan Wu[1]

1. 浙江大学

2. Department of Neurology, Neuroscience Center, Sir Run Run Shaw Hospital, School of Medicine, Zhejiang University, China

3. Department of radiology, Sir Run Run Shaw Hospital, School of Medicine, Zhejiang University, China

Objective: Neuroimaging studies have reported significant atrophy in entire hippocampus and its subfields in patients with post-stroke dementia (PSD), however, the changes in cortical morphology are still unclear in PSD patients. Therefore, this study aimed to investigate alterations in the anatomy measurements and network properties of cortical regions in PSD patients using surface-based morphometry.

Methods: The present study collected high-resolution T1-weighted MR images from 48 stroke patients with subcortical lesions (PSD: n = 20; post-stroke nondemented (PSND): n = 28), and age-matched 21 normal controls (NC). We first used FreeSurfer 6.0 to segment the whole brain into thirty-four cortical regions for each hemisphere, and obtained nine surface-related morphological metrics. Then, we constructed the structural connectivity matrix at the individual level, and further calculated the network properties for each participant. Finally, we used a linear mixed model with the subject as a random factor to compare the difference between groups, and performed the correlation analysis between MRI measurements and clinical assessments.

Results: We found PSD-specific changes (which show the differences between PSD and PSND but not between PSND and NC) in thickness and surface area in lateral occipital cortex, middle temporal cortex and superior temporal sulcus. Also, volume and surface area in cingulate cortex and middle frontal cortex, and mean curvature in lateral orbitofrontal were correlated with the cognitive function. Moreover, network analysis showed that the whole brain network in three groups all remained a small-world property. However, PSD and PSND groups both displayed an increased local efficiency compared with the NC group, which was negatively correlated with cognitive function in PSD group.

Conclusion: We found dementia-specific morphological changes in occipital and temporal regions in patients after stroke, which may serve as the biomarkers of PSD, and the increased local efficiency of network in the PSD may indicate a more modulated brain than NC.

Key words: magnetic resonance imaging; linear mixed model; post-stroke dementia; surface; brain network

首发与复发因素对自杀倾向抑郁症患者大脑的影响：基于多模态磁共振成像技术的研究

庞佳楠[1]、陈悦[1]、孙芬芬*[1]、赵智勇[2]

1. 绍兴文理学院大脑、心智与教育研究中心

2. 浙江大学生物医学工程与仪器科学学院

目的：重度抑郁症（major depression disorder, MDD）是一种世界范围内的精神疾病，患者普遍具有严重的自杀意念（suicidal ideation, SI）。先前研究表明，首发重度抑郁症（first-episode MDD, FE-MDD）与复发重度抑郁症（recurrent MDD, R-MDD）的临床表现存在明显差异，包括自杀倾向程度。然而，首发和复发

因素影响自杀意念的潜在脑机制目前尚未阐明。因此，本研究使用多模态磁共振成像技术探究首发与复发性抑郁对具有自杀意念患者的大脑结构和功能的影响。

方法：从中国抑郁症脑成像联盟开源数据库筛查出 102 名 FE-MDD 患者（SI = 70；non-SI = 32）和 71 名匹配的健康对照，以及 75 名 R-MDD 患者（SI = 37；non-SI = 38）和 49 名匹配的健康对照。下载所有被试的 T1 结构像、静息态功能像以及汉密尔顿抑郁量表（HAMD）评分。使用低频振幅分数（fractional amplitude of low-frequency fluctuations, fALFF）和灰质体积（gray matter volume, GMV）分别描述大脑的功能和结构特点。结合协方差分析与事后检验，比较 fALFF 和 GMV 在不同组之间的差异性，并与 HAMD 评分进行相关分析。

结果：相比健康对照，首发 SI-MDD 患者只显示脑结构改变，而复发 SI-MDD 患者的脑结构和功能都发生了改变。病人亚组间比较显示，FE-MDD 对 SI 特异性的影响表现为 GMV 在右侧缘上回和左侧颞中回的减少，而 R-MDD 对 SI 特异性的影响表现为 fALFF 在双侧额上回的降低和双侧小脑的升高。此外，双侧小脑的 GMV 和 fALFF 与患者的 HAMD 评分呈负相关。

结论：首发与复发因素对 MDD 自杀倾向患者的脑结构和功能改变存在不同的影响，这也许从脑科学角度为患者的不同临床表现提供了解释。

关键词：重度抑郁症；自杀意念；磁共振成像；低频振幅分数；灰质体积

青年学者 - 青年优秀论文复赛

混合金属的金属有机框架为模板制备的碳支撑 $ZnFe_2O_4$/C 可用于高性能磁颗粒成像

蒋振奇 *

（北京理工大学医工融合研究院，北京 100081）

最近，磁粒子成像（MPI）已显示出多种生物医学应用，如细胞追踪、肺灌注和成像引导的热疗等。 然而，目前报道的 MPI 试剂无法达到 MPI（20 nM）的可能理论检测极限。先前的理论研究表明，碳负载和金属掺杂可以增强超顺磁性氧化铁纳米粒子（SPION）的 MPI 性能。在目前的研究中，通过热解合成了一系列混合金属金属有机骨架衍生的碳支撑 SPION。在合成的 SPION 中，发现 $ZnFe_2O_4$/C@PDA 的 MPI 信号强度比具有相同 Fe 浓度的商业 MPI 对比度（Vivotrax）高 4.7 倍。在所有测试样品中，$ZnFe_2O_4$/C@PDA 在荷瘤小鼠中也显示出最高的 MPI 强度。此外，它们被发现具有高度的生物相容性，并显示出线性细胞定量。这项工作可以为新型高性能 MPI 代理的设计和开发开辟新的途径。

关键词：磁颗粒成像；金属有机框架；高温热分解；食管鳞癌

时空间和多感觉注意加工过程中额顶网络的特定表征模式

王璐瑶 [1*] 李春林 [2] 韩梓腾 [3] 孙立伟 [2] 吴景龙 [3] 闫天翼 [4]

[1]（上海大学生命科学学院，上海 200444）

[2]（首都医科大学生物医学工程学院，北京 100069）

[3]（北京理工大学机电学院，北京 100081）

[4]（北京理工大学生命学院，北京 100081）

额顶网络，包括额叶眼动区和下顶叶沟，与注意力加工有关。然而，目前尚不清楚额顶网络是否以相同的机制编码了不同的注意过程。本文设计了 30 个实验条件，构建了单模态 - 多模态注意域和时间 - 空间注意域模型。研究发现额顶网络形成了注意调控的基本网络，跨注意域进行调节。然而，额顶网络内不同脑区的体素激活空间分布模式会根据特定的注意需求进行重组，表明额顶网络编码不同注意域时的神经表征存在差异。此外，还有其他脑区，如背外侧前额叶等，在特定注意过程参与调节。根据本文分析的结果，可以发现与注意域细节信息加工和一般信息加工相关的两种激活脑区。

关键词：自上而下注意；激活强度；表征相似性；额顶网络；磁共振

White matter hyperintensities, APOE4 and cognitive aging: a mediation and interaction study in cognitively healthy population

Cui Zhao[1,2], Ying Liang[1,2*], Xu Zhang[1,2*]

[1](School of Biomedical Engineering, Capital Medical University, Beijing, 100069, China)

[2](Beijing Key Laboratory of Fundamental Research on Biomechanics in Clinical Application, School of Biomedical Engineering, Capital Medical University, Beijing, 100069, China)

Abstract: White matter hyperintensities (WMH) are the most prevalent imaging features seen in the magnetic resonance imaging of elderly people, which have been regarded as one of the neuroradiological markers of cerebral small disease. However, the underlying mechanisms of how WMH affect cognitive functions over the progression of aging remains unclear, especially the interactions between WMH and other risk factors of cognitive decline, such as the apolipoprotein ε4 allele (APOE4). We aimed to investigate the pattern of how WMH affect cognition of the normal aging population, and to explore the association between WMH anatomical spatial distribution and the APOE4 gene, the most common genetic risk factor of Alzheimer's dementia. We found that the burden of total WMH and regional PWMH had a significant mediation effect on age and age-related cognitive functions across attention, memory, language and intelligence multiple domains. Indeed, the burden of DWMH were found to synergistic interacted with APOE4, which resulted in the effect on the executive function. We provided a possible mechanism for the association pattern among WMH, cognitive aging and APOE4 genotype in cognitively healthy population.

Key words: white matter hyperintensities (WMH); cognitive aging; APOE4

研究生 - 青年优秀论文复赛

基于残差网络的胃部癌变组织光学相干断层成像分类研究

冉宇辰 [1] 范应威 [1,2*] 罗斯特 [3] 刘力菲 [1] 张钊 [1] 唐晓英 [1,2*]

[1]（北京理工大学生命学院，北京 100081）

[2]（北京理工大学医学技术学院 / 医工融合研究院，北京 100081）

[3]（微纳光电器件教育部重点实验室、

湖南大学物理与电子学院低维结构物理与器件湖南省重点实验室，长沙 410082）

光学相干断层成像（OCT）是一种无创、无辐射、高分辨率的影像技术。正常组织和癌变组织的术中实时成像与分类对外科医生的手术引导非常重要。本文通过 OCT 系统采集患者切除的癌变组织图像，开发基于残差网络的胃部癌变组织智能化分类方法。该方法在深度学习 resnet18 模型基础上进行优化，使用 4 个残差模块以减少网络层数重新设置网络结构，用于识别癌变组织。通过准确率、精确率、召回率、特异性、F1 值、ROC 曲线和模型参数来评估不同残差网络的模型性能。结果表明，本文提出的方法和 resnet18 分类准确率均达到 99.90%，该方法的模型参数为 resnet18 的 44%，占用系统资源少、效率更高。这种人工智能方法有助于推动未来胃部癌变组织分类的临床应用。

关键词：OCT；残差网络；胃部癌变组织；深度学习；人工智能

阻塞性呼吸暂停中的母胎心率和睡眠情况分析

刘力菲 [1] 范应威 [1,2*] 李广飞 [1] 冉宇辰 [1] 唐晓英 [1,2*]

[1]（北京理工大学生命学院生物医学工程系，北京 100081）

[2]（北京理工大学医学技术学院 / 医工融合研究院，北京 100081）

妊娠妇女的睡眠呼吸暂停（OSA）会影响母体和胎儿宫内状态。本文对妊娠妇女 OSA 事件与母胎心率和胎儿心率变异的关系展开研究。方法：对 7 例患者的 72 次睡眠呼吸暂停事件和患者睡眠情况、母胎心率变化的关系进行 ANOVA 相关性分析。结果显示，孕妇的心率仅在 OSA 进行时发生显著变化，而胎儿心率和胎儿心率变异的变化持续到母亲的当次 OSA 结束后（10s-15s）；对孕妇 OSA 发生时的睡眠分期进行统计发现，有 92.4% 的事件发生在 REM 期。结论：OSA 对妊娠妇女的睡眠产生影响较明显，并且可以引起胎儿心率的变化，OSA 通过影响胎儿宫内状态变化可能进而导致不良妊娠结局的发生。本文为妊娠合并 OSA 综合征的研究开展提供了一定现实依据。

关键词：阻塞性睡眠呼吸暂停（OSA）；妊娠；睡眠；胎儿心率变异

Hemodynamic comparison in tandem pre-aneurysm models: A study on the potential mechanism for tandem aneurysms initiation

Yao Yunchu[1] Mei Yuqian[1] Ji Zhi[2] Chen duanduan[1]

[1] (Beijing institute of technology, Beijing 100081, China)

[2](The High School Affiliated to Renmin University of China, Beijing 100081, China)

Pathological factors leading to tandem IAs initiation growth and rupture remain unclear. Identifying the characters which triggering the secondary aneurysm initiation would contribute to determining the rupture risk of aneurysm more accurately in the clinic. Guidelines to determine the growth sequence of tandem aneurysms are warranted. In our study, the potential hemodynamic index was determined which can indicate how a single aneurysm triggers the growth of the secondary one.

Methods and results: Vessel geometry was constructed by using the image segmentation method based on signal intensity. The semi-automated algorithm was used to generate the pre-aneurysm model. Three series of the model were created: Model-P with the proximal aneurysm along the parent vessel skeleton was restored, Model-D with the distal aneurysm removed, model-A with all aneurysms removed. IA inception areas were localized based on the regional positioning algorithm. TAWSS, AFI, GON, and vortices, the hemodynamic index for the initiation of IAs, were calculated to quantitatively and qualitatively evaluate flow patterns in our research.

Results:In our research, the possible preferential initiation models were estimated through the change of hemodynamic parameters. Overall, significant hemodynamic changes were extracted in the IA initiation region of the possible preferential initiation models. Patients were divided into two groups according to the morphology size of tandem IAs. In the same size group, obvious vortex cores were extracted in the IA initiation region. Although similar vortex core information was not found in the different size group, the point of maximum curvature was found to correspond with the area where the IA initiation.

Conclusions:The ROI of IA initiation was located to improve the accuracy of the dataset. The vortex core information might provide guidance for tandem aneurysms for inducing the growth of the next aneurysm. Based on the order of temporal occurrence for multiple IAs, the assumption that smaller aneurysms have a higher risk of rupture and with an unstable artery wall was proposed because of the pathological conditions triggering degenerative remodeling for a long time.

Key words： tandem aneurysm; hemodynamics, vortex core; growth sequence

CT 影像组学在新型冠状病毒肺炎诊断的应用初探

目的：初步探索 CT 影像组学在新型冠状病毒肺炎诊断中的应用。

方法：收集 2020 年 1 月至 3 月在我院经病毒核酸检测确诊为新型冠状病毒肺炎（COVID-19）患者 25 例，另外收集 25 例临床诊断为其他间质性肺炎（非新型冠状病毒肺炎）且 CT 图像上难以与 COVID-19 鉴别的患者 25 例。通过 GE AW4.6 工作站导出 50 例患者重建层厚为 1.25mm 的 CT 图像，利用 3D Slicer 软件通过阈值法半自动提取病灶，进行人工修饰后再用影像组学分析软件提取影像组学特征，采用曼 - 惠特尼秩和检验、Spearman 相关性分析及 LASSO 回归进行特征降维，最后采用多因素 logistic 回归逐步向后法筛选出影像组

学特征。采用病灶特征（ROC）曲线来评价筛选出的影像组学特征诊断 COVID-19 的效能并与多因素逻辑回归模型整体效能进行比较。结果提取到影像组学特征共 93 个，经过降维最终筛选出 original_glcm_Contrast、original_glrlm_GrayLevelNonUniform- ity 这 2 个病灶特征，其诊断 COVID-19 的 ROC 曲线下面积、准确率、灵敏度、特异度、阳性预测率、阴性预测率在 original_glcm_Contrast 分别为 0.793、79.2%、95.7%、64.0%、71.0%、94.1%，在 original_glrlm_GrayLevelNonUniform- ity 分别为 0.857、85.4%、78.3%、84.0%、86.4%、84.6%；多因素逻辑回归模型整体诊断 COVID-19 的 ROC 曲线下面积、准确率、灵敏度、特异度、阳性预测率、阴性预测率分别为 0.930、87.5%、82.6%、92.0%、90.5%、85.2%。

结论：CT 影像组学在诊断 COVID-19 上具有较好辨别能力及较高的准确率，其中 original_glrlm_GrayLevelNonUniformity 特征单独的诊断效能最优，联合多个组学特征可以提升鉴别诊断效能。

关键词：新型冠状病毒肺炎；影像组学；计算机体层成像

Cerebral blood flow pattern changes in unilateral sudden sensorineural hearing loss based on Brainnetome Atlas

Yue Chen (graduate student)[1,2] Haimei Li[3] Honglei Han[4] Zeshan Yao[5] Wenwen Gao[1] Bing Liu[1] Hongwei Yu[1] Jian Liu [6]
Xiuxiu Liu[1] Yige Wang[1] Juan Wei[7] Aocai Yang[1] Kuan Lv[1] Ma Guolin[1*]

[1](Department of Radiology,China-Japan Friendship Hospital, Beijing, China)
[2](Peking University China-Japan Friendship School of Clinical Medicine, China)
[3](Department of Radiology, Fuxing Hospital, Capital Medical University, Beijing, China)
[4](Department of Otolaryngology,China-Japan Friendship Hospital, Beijing, China)
[5](AnImage Technology (Beijing) Co., Ltd., Beijing, China)
[6](Department of Ultrasound Diagnosis,China-Japan Friendship Hospital, Beijing, China)
[7](GE Healthcare, MR Research China, Beijing, China)

Objective: Sudden sensorineural deafness (SSNHL) is an ear emergency, which can lead to social and psychological disorders. The etiology of SSNHL is not clear yet, and little is known about its neural mechanism.The aim of this study was to use 3D arterial spin labeling(3D pCASL) to study CBF pattern changes in unilateral SSNHL patients, and further explore whether the abnormal CBF would be correlated with specific clinical characteristics.

Materials and methods:32 unilateral SSNHL patients and 28 healthy controls were recruited. CBF in 246 subregions were calculated based on Brainnetome Atlas. Brain regions with CBF alterations between SSNHL patients and healthy controls were identifified by Student t test. The correlation between CBF changes and specific clinical characteristics were calculated.

Result: CBF increased in visual-related(bilateral ITG, contralateral FuG and contralateral PhG) and sensory areas (ipsilateral PoG and bilateral thalamus). CBF decreased in contralateral auditory-related areas (STG), default mode network (DMN) and contralateral INS.CBF in thalamus(mPMtha,rTtha) was negatively associated with tinnitus loudness (VAS scores) and severity(THI scores).CBF in the ipsilateral Orbital Gyrus(A12/47o), the contralateral fusiform gyrus(A20rv), the ipsilateral inferior temporal gyrus (A20il) were negatively correlated with the degree of hearing loss.

Conclusion: CBF pattern changes in unilateral SSNHL patients in auditory-related areas and non-auditory areas, suggesting that there may be transsensory compensation in SSNHL(especially in visual and sensory system). The decreased CBF in the ipsilateral Orbital Gyrus(A12/47o) may reflect the severity of SSNHL. These findings could help the understanding of the potential pathophysiology of unilateral SSNHL.

Key words：sudden sensorineural hearing loss; cerebral blood flow; arterial spin labeling; brainnetome atlas

Reduced Volume and Altered Functional Connectivity of Globus Pallidus in Pediatric Bipolar Disorders Type I

Xiaotong Zhang[1], Weijia Gao[2], Weifang Cao[1], Liangfeng Kuang[1], Jinpeng Niu[1], Yongxin Guo[1], Dong Cui[3], Qing Jiao[1*], Jianfeng Qiu[1], Linyan Su[4], Guangming Lu[5]

[1] (Department of Radiology, Shandong First Medical University & Shandong Academy of Medical Sciences, Taian, China)

[2] (Department of Child Psychology, The Children's Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou, China)

[3] (Institute of Biomedical Engineering, Chinese Academy of Medical Science & Peking Union Medical College, Tianjin, China)

[4] (Mental Health Institute of the Second Xiangya Hospital, Key Laboratory of Psychiatry and Mental Health of Hunan Province, Central South University, Changsha, China)

[5] (Department of Medical Imaging, Jinling Hospital, Clinical School of Medical College, Nanjing University, Nanjing, China)

*(Correspondence authors: Qing Jiao, Email: qjiao@sdfmu.edu.cn, Department of Radiology, Shandong First Medical University & Shandong Academy of Medical Sciences, Taian, China)

Objective: We sought to characterize morphological and functional impairment of globus pallidus (GP) in pediatric bipolar disorders type I (PBD I).

Materials and methods: MRI data of 31 PBD I subjects and 19 age-gender matched healthy controls (HCs) were processed. GP volume of each subject was obtained through Freesurfer 6.0 and analyzed by two sample t-test with regressing estimated total intracranial volume. The bilateral GP were selected as seeds and then voxel wised functional connectivity (FC) of the seeds with whole brain was calculated. Two samples t-test was applied to examine difference of FC of bilateral GP between PBD I and HCs, with age and gender as covariates.

Results: Relative to HCs, PBD I presented bilateral GP volume reduction (left: p=0.010, right: p=0.004) hyperconnectivity in right GP with right inferior frontal gyrus, whereas hypoconnectivity in left GP with right superior cerebellum and right GP with precuneus cortex. Besides, illness duration negatively correlated with bilateral pallidum volume in PBD I patients.

Conclusions: The pallidum is a vital output structure of corticolimbic model involved in regulating emotional expression. IFG participates in modulating or inhibiting compulsion. Our results emphasized that disrupted GP volume and altered FC between GP and IFG may be exploited to address pathophysiological mechanisms underlying in PBD I.

Key words: globus pallidus; functional connectivity; pediatric BD I; corticolimbic model; magnetic resonance imaging

基于深度学习的乳腺 DCE-MRI 肿瘤分割

崔婧然[1]（研究生）赵世轩[1] 谭玉博[1] 罗红兵[2] 李永杰[1*]

[1]（电子科技大学生命科学与技术学院，成都 610054）

[2]（四川省肿瘤医院影像中心，成都 610041）

目的：动态对比增强的磁共振图像（DCE-MRI）对乳腺癌诊疗有重要应用。通过计算机辅助实现乳腺 DCE-MRI 肿瘤分割可以提升诊疗效率。

方法：本文从 72 个病例中选取了 17280 张乳腺 DCE-MRI 组成数据集。每个病例 DCE-MRI 数据中选取 10 个时间序列、包含肿瘤层在内的连续 24 个扫描层。经数据增强、乳房提取等预处理后，数据按 7:3 的比例划

分为训练集和测试集。本文基于 UNet 网络结构，采用随机梯度下降的优化方法和 Dice 损失函数训练网络模型。分割结果采用 Dice 相似系数和 IOU 相似系数评价。

结果：UNet 网络在训练集和测试集的 Dice 评价分数分别达到 0.851 和 0.837。经医生试用，分割效果基本可以满足临床需要。

结论：UNet 网络能够辅助完成乳腺 DCE-MRI 的肿瘤分割工作，其对小面积结节的扫描层分割还需进一步优化。

关键词：乳腺 DCE-MRI；肿瘤分割；深度学习；UNet

Altered inter-subject functional correlation of the default mode network in normal aging

Jinpeng Niu[1], Weifang Cao[1*], Liangfeng Kuang[1], Xiaotong Zhang[1], Jie Yang[2], Li Dong[2], Jianfeng Qiu[1], Qing Jiao[1*]

1 Department of Radiology, Shandong First Medical University & Shandong Academy of Medical Sciences, Tai' an, China

2 MOE Key Lab for Neuroinformation, School of Life Science and Technology, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, China

*Correspondence: Weifang Cao; wfcao@sdfmu.edu.cn and Qing Jiao; bingbao17@163.com

Abstract: The default mode network (DMN) is considered as an intrinsic system associated with complex cognitive functions. Recently, a perspective of the DMN is a system that formed by integrating incoming extrinsic information with prior intrinsic information over time. Converging evidence has suggested that normal aging is associated with cognitive declines and accompanied by functional changes of the DMN. Using fMRI data on naturalistic state from 500 healthy participants, we investigated the effects of age on inter-subject functional correlation (ISFC) within the DMN and its relation with cognitive function. We found significant decreased ISFC in DMN with age, especially between prefrontal cortex and PCC. Moreover, age-related decreases in ISFC were significantly positively correlated with decreased fluid intelligence with aging. Our results suggest that normal aging is associated with ISFC changes within DMN, and that altered ISFC may be a marker of cognitive aging.

Key words: functional magnetic resonance imaging; inter-subject functional correlation; default mode network; aging

S08
主动健康前沿技术与创新应用

特邀报告

主动健康是历史发展的必然

李祥晨
国家体育总局

生活方式疾病已成为人类主要杀手。当前，发达国家纷纷采用生活方式干预的方案进行积极应对，我国也已把主动健康干预技术列入《十四五规划和 2035 远景目标》前沿原创新科技探索中，与火星计划、深海深空极地探索并列，重视程度可见一斑。作为面向一种未来健康医学模式。其核心理念是利用物理、心理等非药物手段对人体施加可控刺激，采用不同于疾病医学对抗式维持人体正常值范围，而是主动远离正常值范围，寻找高效激发人体自组织力方法，从而达到消除疾病促进健康的医学模式。这是我国在继续提高疾病诊治水平“右手”防御策略的基础上，积极发展主动健康干预“左手”出击策略，是贡献给全人类的中国方案。主动健康医学将重塑人类健康经济价值链，创造现代健康服务业，以经济发展和科技创新对冲疾病医学导致医疗费用快速增长趋势。健康中国”战略明确指出要从以治病为中心向以人民健康为中心转变。主动健康是基于复杂性科学，借助现代大数据和 AI 技术的健康科学，主动健康理论、方法与技术的研究涉及生物科学、新材料、信息科学、中医现代化等多个领域，紧紧围绕“主动健康”这一理念广泛开展跨学科研究，将加快推动我国大健康产业的发展，加速完善我国未来国民健康保障体系。

基于可穿戴设备的数字生物标志物发掘

周凯欣
中国科学院生物物理研究所

可穿戴设备因其全场景使用的优点在主动健康管理中有广泛的应用前景，但医疗级可穿戴设备乏善可陈，难以满足迫切的精准健康需求，其中一个重要原因是数字生物标志物 (Digital Biomarker, DB) 的研究进展缓慢。根据数字医疗设备 DB 发掘的 3V 框架，我们使用大规模人群的动态血糖监测设备数据，结合基因组和电子病历数据，建立了一个动态反馈糖尿病风险的 DB，探索了一个如何基于可穿戴设备发掘针对健康管理需求的医疗级 DB 的解决方案。随着国内大规模人群队列等基础设施的日趋完善，该方案的落地实施将有效助力我国可穿戴设备制造业引领国际前沿，服务于人群主动健康。

异质传感技术与健康监测

肖文栋
北京科技大学

借助于可穿戴、无线智能感知、步态视频等异质传感技术，可采集实时、连续、多模态人体生物信号，实现全方位、全天候的健康监测，帮助未病、院中、术后等全面的健康管理与干预。

穿戴式心脏健康智能诊断及实时预警播报系统

刘成良
上海交通大学

我国猝死人数 54.4 万 / 年 , 平均年龄 :43.8 岁，由于猝死的心电信号难以捕捉，对看上去健康的潜在猝死人群就难以预防，但猝死信息隐藏在每天 10 万余次的心跳之内。本研究提出心电信号原位特征参数提取，云端数据库、模型库和知识库支撑的心率失常诊断预测预警方法，国际上率先解决了猝死不能预警预防难题，模型通过 15 万余病例的验证，为健康人提供了预防工具，也为心脏病人提供了实时跟踪监控手段，一旦出现心律失常疾病可以及时发现，远程医生救护治疗。

危重疾病发病前的动力学特征

张启明
中国中医科学院

可穿戴设备可对人体的生物信号进行生活和工作场景下长时程、实时、无创记录，可借以发现许多危重急病发生前的动力学特征，现给出若干临床例证

中医耳穴数字化诊疗研究

李青峰
杭州师范大学

耳穴疗法是在人耳郭上特定的区域或位置（即穴位）通过针刺、贴压、耳灸等方法刺激来治疗或预防疾病的一种特色疗法，是中国传统医学的一个重要组成部分。

基于动态血糖监测和中医药干预的二型糖尿病主动健康模式探索

温川飙
广州新黄埔中医药联合创新研究院

“基于动态血糖监测和中医药干预的二型糖尿病主动健康模式探索”基于 4 个课题研究：1、国家科技部重点研发计划项目：“便携设备健康服务云平台构建及示范应用研究”2、国自然基金：“基于数据湖技术的疾病主客观征象及生物信息“分层特征关联网络”的发现及算法研究——糖尿病为例”3、成都市重点研发项目：

基于中医云健康平台的糖尿病分级联动管理技术及应用示范推广研究 4、工信部：基于 5G 物联网技术构建代谢性慢病中医智慧诊疗体系及推广应用。通过研发便携式智能设备协助糖尿病数据动态监测，包括环境、运动、睡眠、饮食、生理等，基于云模式突破中西医数据归一化和动态算法问题，提升患者主动健康防控意识并预警，构建“家庭 - 社区 - 医院”服务大数据分析及动态监测平台；应用于 3 个医联体联盟单位，进行 2000 人的糖尿病患者试点，呈现初步效果。

导引按跷临床试验探讨

齐明思

中北大学

采用古中医绿色疗法，依据“导引按跷”原理，以仪器代替针灸，创新融合现代科技技术。

原始创新的未来医学

孙兴国

中国医学科学院阜外医院

国学整体观指导科学技术（心肺运动试验、上下肢精准功率计和连续动态功能监测）实现慢病（心脑血管代谢肿瘤虚弱征等）有效诊疗与健康有效管理

基于个人健康助理终端 PHAT，构筑全民主动健康体系

李国翟

天津大学

基于医院用心电图机和多参数监护仪结合智能手机研发的。它准确，便携，无线网络传输医疗诊断和监护生理参数。

主动健康的一元多次方程模型

刘承宜

华南师范大学

主动健康是行为与人体复杂系统的高阶整合。因为缺乏人体复杂系统的定量整合方法，无法整合表征行为的健康效应。本文从一元 N 次方程系数的角度研究人体复杂系统的高阶整合。

穿戴智能及在糖尿病慢病管理中的应用探讨

聂泽东

中国科学院深圳先进技术研究院

穿戴健康设备能在日常生活中连续、长期收集数据，是实现疾病的早预防、早诊断和早治疗的有效手段，是实现院外慢病管理有效工具；随着 COVID-19 的全球流行，进一步巩固了对可穿戴医疗设备的需求，并同时验证了该技术安全性和有效性。本报告将简述穿戴智能带来的新的机会与挑战，并重点介绍团队基于穿戴智能在糖尿病慢病管理中的应用探讨。

基于 HBC 的人联网技术

陈宇（宋勇推荐学生）

北京理工大学

人体通信（HBC, Human Body Communication）作为一种以人体为信号传输介质的新兴短距离无线通信技术，可用于连接分布在人体内部、表面及附近的不同电子设备。经由人体传输的微弱电信号通过近场分量被限制在人体表面，有效减少了能量辐射到周围环境中。利用人体信道实现人体内部植入式医疗设备之间、植入式医疗设备与体外穿戴式电子装置之间的数据通信。

基于小波包分析的神经肌肉功能检测的主动健康应用的研究

张紫珺

遵义医科大学

本研究验证可穿戴设备在处理生物电信号的性能，其针对肌肉电生理信息的采集与分析，可作为对神经肌肉疾病的一个重要评估手段，采集多通道肌电数据，并应用小波包分析方法，获取可观化的肌肉活动信息，进行全面精准评估，最终为研发精准，可早期预测疾病发生的软硬件开发提供理论和技术支持。

基于深度学习算法对重症心梗患者预后情况预测的研究

周星宇

遵义医科大学

在提升医疗卫生现代化管理水平，优化资源配置，创新服务模式，提高服务效率，降低服务成本，满足人民群众日益增长的医疗卫生健康需求上，计算机技术带来的影响更是极为深远。重症心梗患者预后情况的准确预测对心梗的临床治疗具有着重大意义，我们提出一种基于深度学习算法对重症心梗患者预后情况预测的方法以对心梗患者的预后情况进行预测，从而减轻医护人员在心梗患者救治方面的负担，降低心梗患者出院后再次发病的风险。

S09
生物制造分会场

特邀报告

Cell Identity Conversion and Liver Regeneration

Lijian Hui

State Key Laboratory of Cell Biology, Shanghai Institute of Biochemistry and Cell Biology, Center for Excellence in Molecular Cell Science, Chinese Academy of Sciences, Shanghai, China

Email: huilab@sibcb.ac.cn

Objective： To understand the mechanistic regulation underlying cell plasticity during liver regeneration and tumorigenesis of normal cells is a long-term interest of our lab.

Methods： Recently, taken hepatocytes as the experimental system, our lab has initiated studies on cell lineage conversion for regeneration, namely transdifferentiation and dedifferentiation in vitro and in vivo. Striving to understand these two seemingly different phenomena, we find ourselves in querying the essential scientific question: How is cell identity maintained through preventing the conversion of terminally differentiated cells to other cell types, including cell lineage conversion and transformation to tumor cells; or in a reversed term, how is the cell plasticity regulated?

Results： In vivo cellular reprogramming after injury can regenerate injured tissue and restore function. Li et al. show that Arid1a regulates liver regeneration by promoting a permissive chromatin state in hepatocytes, which renders them competent to respond to injury associated regenerative signals and facilitates expression of liver-progenitor like cell genes.

By using directly reprogrammed human hepatocytes (hiHeps) and inactivation of p53 and RB, Sun et al. established organoids possessing liver architecture and function. HiHep organoids were genetically engineered to model the initial alterations in human liver cancers. Bona fide hepatocellular carcinomas were developed by overexpressing c-Myc. Excessive mitochondrion–endoplasmic reticulum coupling induced by c-Myc facilitated hepatocellular carcinoma initiation and seemed to be a target of preventive treatment. Furthermore, through the analysis of human intra-hepatic cholangiocarcinoma-enriched mutations, we demonstrate that the RAS-induced lineage conversion from hepatocytes to intra-hepatic cholangiocarcinoma cells can be prevented by the combined inhibition of Notch and JAK–STAT.

力学正反馈信号回路介导的心肌成纤维细胞表型双稳态现象

徐峰
西安交通大学
Email：fengxu@mail.xjtu.edu.cn

细胞内分子生物化学反应通常是可逆的，例如蛋白质的磷酸化和去磷酸化过程及细胞膜表面受体 - 配体键之间的结合和解离过程。可逆的生化反应在细胞行为中起着重要的作用，例如细胞粘附、铺展和分化等。然而，在细胞和组织尺度上，也常常存在着不可逆的生物化学过程，例如细胞分裂、干细胞分化、细胞力学记忆和组织纤维化等。细胞内分子尺度上可逆的生物化学反应如何导致细胞行为和组织功能的不可逆变化的机制仍不清楚。正反馈环（positive feedback loop）具有双稳态特征，很可能是引起组织纤维化等不可逆过程的分子机制之一。目前，正反馈环已被用于解释生化刺激介导的细胞不可逆行为，例如，MAPK 正反馈环介导的卵母细胞成熟和 Twist1-Prrx1-TNC 正反馈环介导的成纤维细胞激活。力学微环境已被证明在组织纤维化发展过程中起到重要作用。然而，力学刺激是否可以通过正反馈环引起组织不可逆的纤维化过程仍不清楚。通过构建在体疾病动物模型，体外水凝胶模型和数学理论模型，我们发现：随着心肌纤维化的发展（基质刚度的增加），力学传导膜蛋白（粘附蛋白 integrin β1 和离子通道蛋白 Piezo1）的表达量逐渐增多，最终形成了正反馈回路，该回路作为双稳态开关促进了不可逆性心肌纤维化表型的转变。进一步的分子机理研究表明，Ca2+ 和 Yes 相关蛋白（Yes-associated protein，YAP）在反馈回路的激活中起着重要作用。通过干扰力学介导的反馈回路的强度并降低基质硬度，可以逆转心肌细胞疾病表型。研究结果提供了一种治疗心肌纤维化疾病的潜在手段。

微纳静电生物打印：调控细胞 / 组织生长新途径

贺健康
西安交通大学
Email: jiankanghe@mail.xjtu.edu.cn

目的：自然组织与器官细胞外基质通常由特定排布规律的微纳米胶原纤维结构组成，体外精确制造这些微结构环境对调节细胞分化生长与功能化活性组织构建具有重要意义。近年来，生物打印技术由于在三维结构可控制造方面的巨大优势被广泛应用于人工组织与器官制造研究，但由于现有生物打印的尺寸精度普遍较低（>200 μm），从而难以精确模拟体内组织细胞生长的三维微纳结构环境。为此，本文介绍了一种基于电流体动力学原理的微纳静电生物打印新方法。

方法：微纳静电生物打印是通过采用静电场力代替传统机械挤出力，使打印单根纤维尺寸远小于喷头直径，从而实现可降解生物材料纤维与活性细胞 / 水凝胶单丝的高精度可控沉积与叠加。研究了工艺参数如电压、接受距离、流量等对打印纤维线宽的影响规律，阐明了静电打印过程中电场强度随着打印高度的衰减规律与静电排斥机制，发明了高活性、高精度的活性细胞静电打印新技术，探索了微纳静电生物打印技术在调控细胞三维定向生长与功能化心肌组织体外制造方面的应用。

结果：研制了具有原位监测功能的微纳静电生物打印系统，主要包括高压电源、注射泵、打印喷头、收集基板和高分辨率移动台等模块；实现了最大结构高度为 10.01 ±0.18 mm、平均纤维线宽为 18.3 ± 1.5 μm 的三维生物纤维结构的精确打印，成功构建了三维分层定向、高频跳动的活性类心肌组织；提出了采用绝缘接收基底代替传统半导体或导电基底并将打印距离从现在的毫米级缩小至 50-100 μm 的静电打印新策略，从而保证可控稳定打印的同时将细胞静电打印过程中的电流从毫安级（>0.5 mA）大幅减小至微安级（<10 μA），实现了高活性（>96%）、高精度（<50 μm）的细胞静电打印。

结论：微纳静电生物打印技术突破了现有生物挤出打印尺寸严重依赖喷头直径的限制，将生物打印纤维尺寸大幅缩减至微米 / 亚微米尺度，为可控制造与天然细胞外基质纤维或活细胞尺度相似的微结构环境提供了新途径。

A novel 3D microscaffold promoted the generation of hematopoietic stem/progenitor cells from human pluripotent stem cells

Jie Na
Tsinghua University
Email: jie.na@tsinghua.edu.cn

Objective: Embryonic primitive and definitive hematopoiesis are essential for the development and maintenance of the blood system. During embryo development, hematopoietic stem/progenitor cells (HSPCs) are derived from a special type of endothelial cells (ECs), termed hemogenic endothelial cells (HECs), at several locations in the embryo. As HSPCs have significant value in regenerative medicine. The aim of our study is to establish an efficient system to generate HECs and HSPCs from human pluripotent stem cells (hPSCs).
Methods: we established a novel 3D platform, that mimics the microenvironment of primitive hematopoiesis, such as at the yolk sac and aorta-gonad-mesonephros (AGM) region, and use it to differentiate HECs and HSPCs from hPSCs.
Results: We found that the 3D microscaffold greatly promoted the formation of HECs and HSPCs from hPSCs. Moreover, cells in the 3D microscaffold are capable to modify the biomaterial to mimick the in vivo niche structure. Single-cell RNA-seq analysis revealed that HSPCs generated in the 3D microenvironment better resembled human embryonic hematopoietic stem cells in vivo. Moreover, the 3D microscaffold also form a protective niche and facilitated the larger scale production of HECs and HSPCs.
Conclusion: Our study improve the quality and quantity of HEC and HSPC derived from hPSCs and help to meet the growing need for off-the-shelf HSPCs for drug development, cell therapy and regenerative medicine.

Systemic immune responses to irradiated tumours via the transport of antigens to the tumour periphery by injected flagellate bacteria

Jinhui Wu
Nanjing University
Email: wuj@nju.edu.cn

Objective: The immune system has been identified to be able to cure cancers. Among these strategies, the most promising method is to stimulate immune response by novel tumour antigens to eliminate systemic tumour. However, the intrinsic inhibitory immune microenvironment of tumour inhibits the uptake and presentation of these new antigens, which in turn leads to inhibition of immune response.
Methods: We employed the movable Nano-bacteria to capture tumour antigens and actively deliver them out of immunosuppressive microenvironment for better immune activation.
Results: Results showed that through this way, a 36-fold increase of OVA- specific DC activation can be achieved. Systemic antitumour effects were observed in four tumour-bearing mice models and over than 60% survival rate in tumour-metastasis mice model (v.s. 20%) were observed. Moreover, the cured mice (tumour free) were not observed to have tumour recurrence within 265 days and were able to resist further multiple tumour inoculations. Furthermore, the antitumour effects can be abrogated by CD8 blocking, indicating the systemic tumour regression was caused by the adoptive immune response.
Conclusion: In conclusion, to solve the problem that the in-situ antigen cannot initiate the immunity in tumour suppressing microenvironment, we have innovatively proposed a method of transporting the antigens into tumour marginal tissue microenvironment and then activating the DCs.This method is simple and effective, and does not need to regulate the immune microenvironment, providing a new idea and direction for personalized in-situ vaccine.

基于核酸链置换的基因精准分析

齐浩
天津大学
Email: haoq@tju.edu.cn

目的：核酸分子间识别的高度序列依赖性已经成为有力可靠的生物工程工具之一，这里我们通过设计链置换分子探针，针对低浓度、单碱基位点，实现恒温、精准的片段化核酸序列分析。

方法：核酸分子链置换反应被广泛应用到诸多的分子生物技术，基于现有的计算机辅助分子结构算法，仅通过核酸序列已经可以实现高精准度的结构以及核酸分子间相互作用的预测。基于高精度的核酸行为模拟计算，在核酸接合反应（ligation）中，我们引入了具有 Toehold 设计的核酸分子探针，通过 Toehold 诱导实现热动力平衡驱动的核酸接合反应复合体形成，通过探针的热动力性能的调控实现了对于单碱基变异序列高效识别的核酸结合反应。

结果：通过简单的 Toehold 核酸探针设计与添加，我们在经典的模板依赖性核酸接合反应中实现了多个全新的可调节分子功能，首先与现有的反应机理相比，Toehold 探针实现了目标模版的循环，这也是首次报到的人工设计的可循环核酸接合反应，极大地提高接合反应效率，可以实现高探针 / 模板分子比例下的核酸接合反应，并且可以有效地防止探针间的多倍体链接。因此，我们实现了具有单碱基区分能力的核酸接合反应，并且实现了 DNA 探针对于 RNA 或者 DNA 目标序列上的单碱基变异的高效识别。在恒温操作下，我们证明了对于来自外周血的高度片段化肿瘤 DNA 分子诊断，以及病毒核酸序列的高灵敏度检测分型。

结论：与现有的技术相比，Toehold 核酸探针介导的接合反应可以实现在较小目标序列范围内实现特定序列的单碱基变异的精准检测，对于肿瘤的液体活检、病毒快速分型都具有极大的应用前景。

基于液滴微流控的模块化组织 3D 打印技术

王华楠
大连理工大学
Email: huananwang@dlut.edu.cn

目的:本研究提出以微凝胶（Microgels）组装的颗粒水凝胶（Granular hydrogels）作为 3D 生物打印墨水，基于液滴微流控（Droplet microfluidics）技术精准设计制造载单细胞微凝胶载体作为基本模块，通过微颗粒组装和 3D 打印技术结合突破单细胞精度的仿生组织体外精准构建。

方法：通过微流芯片设计、乳液体系设计、新型温敏表面活性剂合成等技术研发，以突破细胞包裹微凝胶的连续、高通量制备技术。通过流体力学模拟优化集合复杂多通道芯片制造，以实现高通量微凝胶载体的制备。开展水凝胶基质的设计优化和单细胞可控组装，以满足细胞微环境的重塑和仿生，从而调控干细胞增殖分化等功能。通过多场耦合交联凝胶网络设计，以赋予颗粒基凝胶打印成形性和结构稳定性，以实现工程化组织的精准构建。

结果：成功开发出乳化 - 破乳一体化芯片、温控乳化 - 破乳一步法、双乳液液滴模板法等多种载细胞微凝胶制备技术，实现连续、快速、一步法的微凝胶载体制备，不仅实现单细胞水平的细胞封装，同时又保持封装细胞的存活和功能。进一步利用流体模拟技术结合复杂多层芯片制造工艺，成功开发出大批量制备载单细胞凝胶微载体的新型高通量芯片，单细胞微载体生产率比现有液滴微流控技术提高了两个数量级（>10ml/hr)。开发出一种由明胶和透明质酸复合的、光触发亚胺交联的新型微凝胶制备材料，解决了自由基引发聚合的微凝胶载体制备时因氧阻聚导致的网络分布不均匀、力学强度差的难题；成功开发可多场交联的颗粒凝胶作为打印墨水，赋予了颗粒凝胶剪切变稀和自愈合特性及打印成形性，通过体外细胞实验和体内动物模型，证实打印的组织工程支架显著促进干细胞的成骨分化和骨组织再生。

结论：本研究从生物微制造技术和微环境仿生材料设计两方面出发，为单细胞精度的工程化类组织体外精准制造提供了新策略，并在单细胞水平开展干细胞微环境研究，为 3D 生物打印技术的再生医学应用开辟了新方向。

Large-scale tissue fabrication and micro-scale cell movement

Qi Gu
Institute of Zoology, CAS
Email: qgu@ioz.ac.cn

Objective： Human tissues are big complicated physiological system but with basic cell unit at microscale, which thus in turn requires biofabrication strategies such as bioprinting with not only the enormous control over high deposition resolution and complex geometries of blood vessels, but also supply environment to regulate intrinsic cell signaling. Current approaches have had limited success at multi-scale vascular connection due to the incoordination between cell-laden materials and stability of perfusion channel. Developing new bioactive materials to rationally augment cell viability is still an enormous challenge, owing to the nutritionally deficient environment caused by the limited-penetration distance of nutrition when cells are encapsulated within biomaterials.

Methods： We report a methodology to fabricate soft vascularized liver-like tissue at centimeter-scale with high viability and accuracy using multi-materials bioprinting involving inks with low viscosity and a customized multistage-temperature-control printer. A platform was also established to engineer skeletal muscle tissue through a 3D printing strategy followed by sequential dynamic culture processes.

Results： The printed constructs could be perfused with branched vasculature with well-formed 3D capillary network and lumen, which would potentially supply the cellular components with sufficient nutrients in the matrix and to mimic a mature and functional liver tissue with increased functionality in terms of synthesis of liver specific proteins and subperitoneal grafting. The effects of confined printing on the skeletal muscle during maturation, which impacted the myotube alignment, myogenic gene expression, and mechanical forces, were observed.

Conclusion： We have made some advances in combining 3D bioprinting, biomaterials, printing stem cells to fabricate functional tissues, delivering insights into the fundamentals of stem cell dynamics in 3D and understanding the mechanism of stem cell fate regulation and cell migration in 3D environments.

微组织工程革新生物制造和再生医学

杜亚楠
清华大学
Email: duyanan@mail.tsinghua.edu.cn

目的：解决再生医学和干细胞治疗领域细胞来源数量不足和质量不稳定的问题，以及体内移植后体内定位差、存活率低、疗效有限等问题。

方法：微组织工程”研究内容为应用微纳加工技术结合生物材料、生物力学、基因编辑等手段构建精确

可控的“定制化”干细胞微环境，为再生医学研究提供创新理论基础和解决方案。其中，基于干细胞 3D 微组织提出和实现了“干细胞药剂学”理念和应用，通过构建“3D 干细胞微组织”实现了细胞规模化、高质量体外扩增和微创、定点、高效体内递送和再生治疗。

结果：1. 经过 2 周培养可获得千万量级的干细胞微组织，其中含有百亿量级的高质量间充质干细胞，实现了 1000 倍的细胞扩增效率。与传统人工细胞培养相比，可节省 90% 的空间和人力，60% 的时间成本。

2. 规模化制备的微组织，在治疗糖尿病并发症严重下肢缺血的小鼠模型中仅需要传统游离细胞疗法十分之一的间充质干细胞用量就可实现高效血管组织再生，避免截肢。

3. 对间充质干细胞进行了基因修饰，将胰高血糖素类似物 Extendin-4 基因导入干细胞，并通过 3D 微支架递送可维持干细胞体内存活达四周，实现了对于 2 型糖尿病小鼠的长效治疗，将单剂量注射的疗效提升至 1 个月之上，显著优于现有糖尿病治疗药物。

4. 该项目核心技术“微组织工程再生技术”，已进行转化，其核心产品明胶微 3D 微载片材料于 2020 年 12 月和 2021 年 3 月分别获得中国药监局药品评审中心和美国 FDA 首款细胞药用辅料资质审批。作为全球首款可用于细胞药物制备和体内递送的药用级辅料，预期将加速微组织工程技术在细胞和再生医学领域的转化应用。

结论：微组织工程方法将为各类细胞疗法提供体外修饰制备和体内递送的平台技术和方法，改善组织工程和细胞治疗的靶向性、有效性和安全性。最终推动再生医学的临床转化和应用。

专题口头报告

In vitro micro-tissue model reconstructs expansion pattern in liver fibrosis progression and reveals cell communication through mechanical cues

Lv Zhou、Zhiqiang Liu、Zhifeng You、Yi Long、Zhaozhao Wu、Yanan Du*

清华大学

Objective: (1) Reconstruct 'septa', the direction-specific collagen expansion pattern between portal tracts of liver lobule during liver fibrosis progression with in vitro micro-tissue models.

(2) Justify the effect of biochemical cues in cell communication during fibrosis expansion, and explain the mechanism of liver fibrosis progression by different cell migration pattern on collagen under different strain.

Methods: (1) Reconstruct quiescent and activated HSC distribution in collagen mimic the F1 stage in liver fibrosis using PDMS 'liver lobule stamp', and characterize long-time cell distribution together with collagen remodeling by fluorescence labelling.

(2) Characterize quiescent and activated HSC migration pattern on collagen with or without mechanical strain using time-lapse video recording in silicone stretching chamber. Strain can be controlled quantitatively by adjusting rounds of nuts on screws.

Results

(1) Septa structure in liver lobules can be reconstructed in vitro. Collagen alignment and condensation indicates cell distribution.

(2) Activated HSCs migrate faster than quiescent ones. Collagen strain can make quiescent HSCs migrate faster, and evidently guide migration direction of both quiescent and activated HSCs. This difference in cell migration pattern can be used to explain cell distribution in liver fibrosis model.

Conclusion: (1) Liver fibrosis progression can be reconstructed with the PDMS stamp model

(2) Activated and quiescent HSCs can communicate through mechanical cues

Key words: liver fibrosis; fibrosis expansion; micro-tissue model; collagen; mechanotransduction

ECM-degradable endothelial cells for liver fibrosis treatment

Peng Zhao、Tian Sun、Cheng Lyu、Yudi Niu、Kaini liang、Yanan Du*

清华大学

Objective: Chronic inflammation often leads to fibrosis, involving various organs or tissues, including skin, kidneys, liver, lungs, etc. In the development of fibrosis, different cell types can synthesize type 1 collagen, including macrophages, myofibroblasts, etc. These cells excessively secrete type I collagen, which leads to the deposition of type I collagen [1]. The unbalanced production of MMPs and TIMPs in the body further accelerates the process of fibrosis [2].

There are two unmet needs:

1.There is no effective way to treat late stages of liver fibrosis.

2.There are lack of tools to screen cells with high ECM degradation ability.

Methods: We look forward to developing cells with high degradation capability, infiltrating and degrading dense ECM in fibrotic diseases.

We want to develop a high-throughput, quantitative analysis, broad-spectrum degradation capability characterization system.

Results 1.Establishment of a cell degradation ability characterization system and condition screening.

2.Characterization of degradation ability of ECM-degradable LSEC.

3.ECM-degradable LSEC treatment in late-stage liver fibrosis.

Conclusion: In this project, we attempted to construct a fluorescent gel screening system on the basis of the mimic fibrosis 3D model to preliminarily select cells with high degradation capacity.Through the cell degradation ability characterization system, we screen out liver sinusoidal endothelial cells stimulating by A+P, which can degrade 80% collagen in vitro and can treat late-stage liver fibrosis in vivo.

Innovation:

It is the first time to establish a system capable of high-throughput, applicable to all enzymes that degrade collagen, and quantitative detection system.

For the first time, it was discovered that liver sinusoidal endothelial cells can degrade collagen in a fibrosis-like model.

It is the first time to explore the therapeutic effects of LSECs on liver fibrosis from the perspective of collagen degradation.

Key words: liver fibrosis; liver sinusoidal endothelial cell; collagen degradation; cell therapy

Accelerate wound healing by microscale gel array patch encapsulating defined SDF-1α gradient

Zhen Xu
Shenzhen University

Objective: Injuries to the skin are frequently encountered in our daily life and effective interventions are often required for the treatment of skin injury, especially for the injury with full-thickness skin defects. Despite great advancement in the exploration of therapeutic strategies over decades, the repair of wounds still remains an unmet clinical challenge (1-3). Here, we developed a novel skin wound patch, named SDF-1α gradient microscale gel array patch, that can simply cover the wound and promote wound recovery by recruiting endogenous stem cells to sites of injury. Arrays of microscale gel were patterned on an adhesive layer and each microscale gel was functionalized with defined SDF-1α gradient. The defined SDF-1α gradient is expected to serve as a homing signal to guide stem cells migration into the gel and the gel will also provide a shelter to protect migrated stem cells against local unfavorable environment, thereby leading to the enhanced skin regeneration.

Methods: SDF-1α gradient microscale gel array patch was prepared by a three-layer microfluidic device: a gradient layer, a source layer, and a sink layer. Each layer of the device was designed by Auto Computer Aided Design (AutoCAD) software and fabricated by carbon dioxide laser ablation. The molecular diffusion and subsequential chemical reaction will generate a constant vertical gradient in the microscale gel that embedded in the gradient layer. Gelatin aqueous solution, in together with glutaraldehyde, was loaded into the through hole of the polymethylmethacrylate (PMMA) stencil; after frozen at subzero temperature, suspended arrays of microscale gel will be generated with ice crystals as porogen; The assembly of the device was done by gluing the three layers together. At first, Sulfo-SANPAH was covalently linked to the microscale gel under UV exposure; Second, SDF-1α solution and double distilled water was introduced to the source layer and sink layer respectively to establish a vertical molecular gradient across the microscale gel. Due to the presence of a photocrosslinker, Sulfo-SANPAH, the gradient was maintained stable by bounding SDF-1α molecule to the microscale gel. At last, SDF-1α gradient microscale gels will shrink after lyophilization; subsequently they can be easily released from the mold and transferred to an adhesive layer.

Results The fabricated patch consists arrays of microscale gels mounted on an adhesive layer. Each microscale gel is nearly cylindrical in shape, having a diameter of 500 μm and height 500 μm in the dehydrated state. The microscale gel is porous and contains pores with pore sizes in the range of 50-100 μm, which can provide enough space for stem cell migration and growth. Molecular gradient of model protein was established in each microscale gel, which was formed by relying on diffusion from the source layer to the sink layerIn vitro, the microscale gel provided a beneficial environment for bone mesenchymal stem cells (BMSCs) growth and significant BMSCs migrated towards immobilized SDF-1α gradient. In vivo, complete skin regeneration with very little evidence of scarring was achieved after applying SDF-1α gradient microscale gel array patch. In addition, anisotropic distribution of the collagen fibers, enhanced vascularization and reduced inflammatory cells infiltration were also observed in gradient microscale gel. The acceleration of wound healing was mainly attributed to the increased recruitment of BMSCs by SDF-1α gradient.

Conclusion: In this study, we developed an innovative strategy for the treatment of skin injury by applying microscale gel arrays that encapsulated defined SDF-1α gradient. We also demonstrated the successful application of our strategy in the treatment of injury with full-thickness skin defects by recapitulating the

natural wound healing process. In vitro, the microscale gel provided a beneficial environment for BMSCs growth, and BMSCs exhibited robust migration towards SDF-1α gradient. In vivo, we demonstrated that complete skin regeneration with very little evidence of scarring was achieved after applying SDF-1α gradient microscale gel array patch at 12th day. Histological analysis also revealed that the regenerated tissues are almost the same as those of normal skin and this phenomenon was never observed in the control groups. Anisotropic distribution of the collagen fibers, significant neovascularization and reduced inflammatory cell infiltration were also found in the regenerated tissues. The mechanism that responsible for the acceleration wound healing was owing to the enhanced BMSCs recruitment at sites of injury. All these results very well demonstrated that the SDF-1α gradient microscale gel array patch can promote recovery from skin injury.

Key words: Wound healing; Molecular gradient; Microscale gel; SDF-1α; Tissue engineering

Application of Heart-on-a-chip with computer vision in drug toxicity detection

Xin Ma*[1,2]、Ji Zhao[1]

1. School of Computer Science and Technology, Tiangong University

2. School of Life Sciences, Tiangong University

Objective: The research and development of cardiac drugs often focus on drug efficacy and side effects. However, traditional drug detection model of two-dimensional cell culture in Petri dish can not meet the need of drug industry with lower cost and quick time. Heart-on-a-chip (HOC) as an alternative physiological model to simulate human heart microenvironment in vitro now is accelerating medicine Research and Development, and is developing towards the direction of multi-disciplinary integration. The technical fields involved include biology, chemistry, material, and especially AI. Computer vision as frequently used engineering methods in computer science and bioelectronics, can also be used in HOC at present, which undoubtedly improve the rich functions of HOC and the prediction ability of drug safety and efficiency in pharmacology research, and definitely provide big data for real-time data analysis.

Organ-on-a-chip (OOC) is a micro engineering bionic system which represents the key functional unit of human living organ. HOC as a kind of Organ-on-a-chip can be used to simultaneously monitor the excitation and contraction of cardiac myocytes for the basic functions of the heart at the cellular level in vitro. Mutsuhito Sakamiya and his groupmates designed a HOC using piezoelectric sensor system and image processing system to monitor the contractile behavior of three-dimensional cardiac tissue. Drug and pathological research based on HOC can reduce the difference between preclinical research and clinical trial results and the establishment of heart disease model can be used as an effective platform to explore the pathogenesis and medicine screening. Haitao Liu and his workmates designed a heart-on-a-chip consists of one microfluidic channel and a cell culture zone with integrated extracellular or intracellular bioelectronic devices. Microfluidic channel can simulate the situation of recanalization after coronary artery occlusion by regulating the oxidation time of media. HOC generate alternative heart tissue, which makes it possible to study human heart tissue in vitro, thus answering basic biological questions with high response rate in the experimental process, and can be used to test new treatment methods.

Methods: HOC is developing in the direction of multi-disciplinary integration, the technologies involved

include biology, chemistry, physics, electronics, mechanics, computer science, and so on. Generally, the working principle of the advanced HOC experimental system is to integrate multiple components.

Firstly, three-dimensional heart micro-tissue was constructed from biocompatible materials and fabricated on the chip. Secondly, culture medium of cardiomyocytes or cardiac fibroblasts was slowly injected into the heart micro-tissue on the chip by peristaltic pump. Meanwhile, machine vision based optical and digital microscope, and electrochemical biosensors were used to monitor the heart cell dynamics online, such as viability, migration and shrinkage. Thirdly, some biological information of medicine reaction is collected by sensor components and data acquisition subsystem, and a progressive pharmacological data analysis is carried out by computer to obtain the evaluation conclusion of the drugs to be tested.

Results With the development of AI, especially in Deep Learning Algorithm, it is a new form to combine it with the image processing system and HOC, which improves the data analysis ability of the visual system and makes it intelligent. Bahram Jalali and his workmates developed a deep learning intelligent microscope, which can screen millions of cells with high precision in a few seconds, and has complex image processing and data analysis functions, which can make HOC has the capability of high-throughput experimental image data acquisition and preliminary analysis.

Conclusion: HOC plays an important role in the family of organ chips. It can reconstruct part of the physiological function of the heart in tissue engineering. Due to the unique contractile characteristics of cardiomyocyte, HOCs show more behaviors than other organ on chips, such as action potential, calcium transient and mechanical beat. These signals can be recorded by specific biosensors, so the HOCs based biosensor provides a real-time, dynamic and noninvasive method for heart tissue monitoring. In addition, the application of machine vision technology has also improved the intelligence of cell monitoring, which is likely to be widely used in the future research of HOCs and human on chips.

Key words: heart-on-a-chip; pharmacology research; machine vision; deep learning

构建透明化肝癌模型评估多种化疗栓塞制剂

郭琼玉

南方科技大学

目的：肝癌在我国形势异常严峻，我国人口约占全球人口的五分之一，而肝癌患者却接近全球的二分之一。肝细胞癌（Hepatocellular carcinoma, HCC）作为最常见的原发性肝癌，具有特殊的血供系统，其肿瘤细胞90%以上血液由肝动脉供应，因此失去手术机会的中晚期患者首选采用经导管肝动脉化疗栓塞术（Transarterial chemoembolization, TACE）对肿瘤供血肝动脉选择性地进行栓塞化疗。然而，TACE 治疗缺乏有效的模型对栓塞药剂进行评估，目前没有标准化的方法可以实时表征栓塞剂在肝脏血管中的栓塞效果及药物释放情况，导致临床技术细节存在诸多争议，难以标准化。

方法：我们将去细胞肝脏作为一个新型的离体栓塞模型，去细胞肝脏具有透明性，同时仍保留了细胞外基质及完整的血管系统，实现了在体外有效评估栓塞过程，为栓塞治疗方法的改进提供依据，有助于为规范化诊疗提供辅助信息。通过核黄素和紫外光交联增强了去细胞肝脏微观结构，提高了生物力学机械性能，同时仍保持模型的半透明性。同时赋予去细胞肝脏荧光特性，通过显微镜观察到栓塞中的动态和栓塞细节。

结果：去细胞肝脏模型完整地保留了肝脏原始的血管系统，其构造、物化特性贴近体内真实的肝脏血管

环境。我们发现液态栓塞剂的栓塞终点强烈依赖于介入栓塞过程中的注射压力，而固体微球类栓塞剂的栓塞终点取决于微球的粒径大小及粒径分布。在加载了 HEPG2 细胞的再生去细胞肝脏模型中，我们可以清晰看到细胞在栓塞血管周边的凋亡不仅取决于栓塞微球的密度，同时也受周边可能存在的血供影响。

结论：采用去细胞技术开发 TACE 治疗离体肝脏模型具有巨大的应用前景，该模型具有独特的优势针对 TACE 治疗中血管的栓塞数量、栓塞深度、化疗药物的释放浓度、释放速度等关键性参数进行实时精确评估，有助于推动肝癌诊疗临床前研究评估平台的发展。

关键词：肝细胞癌；经导管肝动脉化疗栓塞术；去细胞技术；离体模型；肝脏血管系统

Electrohydrodynamic printing of 3D vascularized multidirectionally-aligned cardiac tissue constructs for enhanced cardiac infarction repair

Kang Han、Jiankang He*、Liyan Fu、Mao Mao、Dichen Li

西安交通大学

Objective: Cardiac tissue engineering has been demonstrated as a potential strategy for myocardial infarction (MI) repair. However, engineering cardiac tissue constructs with hierarchical microarchitectures and vascularized networks similar to native myocardium remains challenging. Here, cardiac tissue constructs with multi-directional cardiomyocyte (CM) bands and vascular networks were produced with electrohydrodynamically printed scaffolds, and *in vivo* MI repair with these tissue constructs was further evaluated.

Methods: Fibrous poly(ε-caprolactone) scaffolds were fabricated with a customized electrohydrodynamic printer. To align CMs into bands, cell/bovine fibrinogen resuspension was embedded into scaffolds and placed at 37 °C for 3 min during gelation. The morphological changes and expression of specific markers of CMs within the scaffold were observed by optical and fluorescent imaging. The aligned CM bands were further embedded with rat aortic endothelial cells (RAECs)/fibrinogen solution to form vascularized cardiac tissue constructs, which were implanted onto rat MI areas. The resultant repair effect was evaluated by echocardiographical and histological assays.

Results Hierarchically-distributed and highly-aligned CM bands were formed along with the printed layer-specific microfibers after 3 days of culture. RAECs added into the preformed CM bands were found to rapidly spread and align along with the bands. Over longer periods of culture, RAECs proliferated to cover the CM bands and eventually formed vascularized cardiac tissue constructs. The vascularized cardiac tissue constructs facilitated cardiomyocyte-specific protein expressions and exhibited more synchronized beating compared to cardiac tissue constructs without RAECs (140 vs. 120 beats/min). After implantation, MI group exhibited bare contraction of the left ventricular anterior wall, while the CMs+RAECs group showed obvious contractile activity. Histological staining showed that most of the left ventricular anterior wall was occupied by fibrous tissues, whereas more regenerated cardiac tissues were observed in CMs+RAECs group. The assessment of angiogenesis in the infarcted areas with arteriole maker proteins (α-SMA/CD31) revealed that the distribution of arterioles in CMs+RAECs group was denser, and the structures of arterioles were more complete and clearer compared with MI group.

Conclusion: The engineered vascularized cardiac constructs expressed substantial cardiomyocyte-specific proteins and exhibited enhanced synchronous beating behavior, which improved cardiac function, reduced infarct areas and increased arteriolar formation in MI models. Future studies could introduce conductive/piezoelectric materials into

the engineered cardiac constructs to further coordinate the beating of CMs in scaffolds and the host tissues.

Key words: 3D cellular alignment; Fibrinogen; Electrohydrodynamic printing; Cardiac tissue engineering

TGase-mediated matrix crosslinking is a marker of liver fibrosis and regulates cell behavior in hepatic microenvironment

Cheng Lv、Wenyu Kong、Yanan Du*
清华大学

Objective: Liver fibrosis lacks effective therapies due to poor understandings of fibrosis progression. The biomechanics of the hepatic extracellular matrix (ECM) plays an important role in liver fibrosis progression, which was largely affected by cross-linking effects. We propose two main cross-linking mechanisms during liver fibrosis—lysyl oxidase (LOX) and transglutaminase (TGase). These two cross-linking mechanisms will lead to different biomechanical properties of the extracellular matrix and regulate the cell phenotype. Due to the failure of clinical anti-LOX treatment for fibrosis, in this study, we focus on characterizing cross-linking characteristics of the extracellular matrix at different stages of fibrosis and studying the effects of the TGase cross-linking mechanisms including mechanical properties, physical properties.

Methods: The crosslinking degrees mediated by LOXs and TGase were evaluated by immunohistochemistry. We constructed a collagen-based pathological matrix model utilizing the TGase-mediated crosslinking effect in vitro. Hepatic cells, including hepatic stellate cells and macrophages, were seeded on matrixes with different crosslinking degrees. The cellular behaviors affected by crosslinked matrixes were explored.

Results TGase and the related crosslinks, γ-Glutamyl-ε-Lysine, were highly expressed in the liver with late-stage fibrosis. We constructed collagen-based pathological matrix models utilizing the TGase-mediated crosslinking effect in vitro. We found that TGase-mediated crosslinking resulted in increased stiffness of matrix and led to a dense fibrous structure. Hepatic stellate cells and macrophages growing on the TGase-crosslinking matrix showed pro-fibrotic phenotypes.

Conclusion: We found that TGase crosslinking was one of the significant markers of fibrosis, and the constructed TGase-crosslinking matrix in vitro can regulate the cellular response of hepatic stellate cells and macrophages, resulting in pro-fibrotic phenotypes. These outcomes indicated that TGase-crosslinking might be a potential factor in the regulation of liver fibrosis.

Key words: liver fibrosis; extracellular matrix (ECM); crosslinking reaction; transglutaminase (TG)

Engineering vascular model reveals mechanism of hepatic vascular microenvironment response to hydrostatic pressure in liver fibrosis progression

Yi Long、Yudi Niu、Yan Zhang、Zhaozhao Wu 、Liping Deng、Shuang Gao、Junyang Li、Yanan Du*
清华大学

Objective: Worldwide, the mortality rate of liver diseases such as acute hepatitis, liver cirrhosis, and liver cancer undergo progressive increases each year. Hepatic fibrosis is a pathological process characterized by excessive

formation of fibrotic connective tissue during the repairing process after chronic injury within the liver. Early diagnosis and reversal of liver cirrhosis are difficult in clinical practice.

In the process of liver fibrosis, the mechanical microenvironment changes significantly. On the one hand, the elasticity of the matrix increases. On the other hand, abnormal changes in hemodynamic forces are evident within the liver. Pathological mechanical parameters lead to vascular morphological changes, functional imbalance, an increase of portal vein pressure in a vicious cycle, and progression of liver fibrosis.

Liver fibrosis is a multi-staged disease. Early-stage hepatic fibrosis is accompanied by angiogenesis for compensation and portal pressure within 5 mmHg. At the advanced stage of hepatic fibrosis, insoluble scar tissue and portal pressure which surpasses 12 mmHg occur, eventually develop into pathological portal hypertension incapable of decompensation.

Liver sinusoidal endothelial cells (LSECs) play an important regulatory role during the development of chronic liver disease, and their response to the hemodynamic parameters within hepatic sinusoidal vessels is the key factor to maintain physiological homeostasis. At present, it remains unclear about the mechanism of fibrosis progression regulated by LSECs dysfunction and sinusoidal remodeling under portal hypertension. In this investigation, biomimetic hepatic vascular models in vitro were used to explore the relationship between abnormal portal pressure and sinusoidal endothelial dysfunction at different stages of liver fibrosis.

Methods: A hemodynamic monitor was applied to measure the changes of hepatic portal vascular pressure, flow velocity, and intrahepatic vascular resistance during the progression of hepatic fibrosis. We also incorporated an intravital imaging technique to observe the morphological changes in blood vessels at different stages of fibrosis. A Tow-dimensional pressure chamber with adjustable elasticity and a three-dimensional hepatic vascular model with resistance modules were further established to explore the effect of hydrostatic pressure on LSECs. Similarities of gene expression in LSECs between pathological conditions in vivo and within engineering vascular model in vitro are analyzed by RNA-sequencing.

Results 1. Hemodynamic examination revealed increased portal pressure and intrahepatic vascular resistance at the late stage of liver fibrosis.

2. In vivo imaging of the liver depicted a decrease in the number of intrahepatic vessels at the late stage of fibrosis.

3. LSECs cultured in a two-dimensional pressure chamber undergo apoptosis or necrosis after being subjected to high pressure.

4. Vascular permeability of three-dimensional blood vessels increased under high pressure.

5. In the biomimetic engineering vascular model in vitro, cellular response towards different gradients of hydrostatic pressure corresponded to the LSECs in different stages of hepatic fibrosis.

6. Gene differential analysis reflected similarities between LSECs cultured in vitro and in vivo Increased pressure led to endothelial apoptosis at the late stage of liver fibrosis.

7. Pressure sensor to transmit abnormal mechanical signals into cells and affect cellular behavior of LSECs was explored within engineering two-dimensional vascular model.

Conclusion: This work reveals that capillary rarefaction in the late stage of liver fibrosis is caused by pressure-driven endothelial dysfunction. High pressure at the late stage of fibrosis induces cellular apoptosis and necrosis. Membrane protein on LSECs may be a potential mechanical pressure sensor that participates in liver

fibrosis progression. This mechanotransduction mechanism may provide precision intervention therapeutic strategies for the treatment of liver fibrosis.

Key words: Engineering vascular model; hydrostatic pressure; endothelial cell; mechanotransduction

三维蛋白支架对细胞生长状态的影响及应用研究

邹晓敏、许改霞 *、马名泽、乔楠

深圳大学

目的：肿瘤的发生是一个复杂的过程，且仍有很大程度上是未知的，而肿瘤细胞体外培养在肿瘤复杂的病理机制研究中发挥着关键性的作用。细胞在体外的培养主要分为二维培养和三维培养。在二维培养体系中，细胞一般呈单层贴壁生长，缺乏真实体内微环境下细胞与细胞间、细胞与 ECM 间的动态相互作用。细胞的三维培养是利用三维支架构建体外模型，力求通过三维支架模拟体内真实的生长环境。相比采用传统的培养皿、培养瓶等二维培养方法培养肿瘤细胞，采用三维支架培养肿瘤细胞可以更真实地在体外模拟体内组织生理上的复杂性，提高临床前抗肿瘤药物疗效评估的准确性。

目前的三维支架模拟的微环境与体内的真实环境还有一定差距，还不能模拟肿瘤细胞的侵袭。设计一个可以模拟肿瘤细胞体外环境的培养支架就成为肿瘤细胞行为研究的重要手段。

方法：本项目通过计算机辅助设计，结合双光子激发光化学交联作用，使液态蛋白质交联固化成超精微可自由调控的 3D 蛋白微室。在控制精度达到纳米级别的基础之上，通过改变蛋白微室的机械性能、生物化学成分、以及拓扑形态等特征对肿瘤细胞培养建立全新的立体支架式三维培养体系，使肿瘤细胞可在不同基质类型、不同刚度的环境下进行迁移和繁殖。

结果：实验结果显示，癌细胞在该三维平台中展示出了扩张面积减少、增殖及迁移速度减缓的特性，可能出现了侵袭性减弱的特性，表明癌细胞生长的微环境对细胞行为有很大的影响。

结论：我们成功开发出了一种可用于研究肿瘤细胞生长微环境的体外培养平台，该平台不仅有助于揭示肿瘤转移和增殖的机制，并且为进一步实现药物敏感性测试平台、血管生成等应用提供有益的线索。

关键词：双光子激发光交联；3D 打印；肿瘤转移；肿瘤微环境

开发一种可折叠的两亲性的透明高分子薄膜植片用于治疗大泡性角膜病变

李俊阳、杜亚楠 *

清华大学医学院生物医学工程系

目的：角膜移植是治疗角膜大泡性水肿的最先进治疗方法，随着临床手术的进步，角膜移植的成功率和数量不断增加，然而随之到来的问题就是角膜的供源不足，使 1270 万患者存在因为无角膜移植导致的痛苦。大泡性水肿产生的原因则是因为角膜内皮营养不良、青光眼等导致的内皮细胞丢失或者死亡，房水大量聚集在角膜后弹力层，导致角膜炎、角膜浑浊甚至失明。由于基质水肿刺激角膜神经，导致的患者疼痛，影响患者正常生活。随着生物材料的发展，使用一种生物相容性良好，可折叠的高分子材料，通过改变薄膜两侧亲疏水的性质逆转角膜水肿，减少房水积累，使角膜恢复透明，减轻患者疼痛成为可能。然而寻常薄膜不能既保证阻挡房水又能良好的贴合角膜后弹力层，我们通过对薄膜进行亲疏水处理改变了贴合角膜后弹力层一侧亲水性，解决了这一问题。

方法：盖玻片作 OTS 疏水处理，根据不同厚度配制预成胶溶液制备 EGDMA/HEMA，浇筑成模，9 只新西兰白兔随机分为 3 组：飞秒激光辅助下植入兔大泡性角膜病变角膜基质（A 组）；一侧 pvp 溶液修饰植入前

房，气泡顶压贴合到基质（B 组）；C 组仅造模作为对照，利用前节 OCT 观察不同时间点角膜厚度及植片位置，裂隙灯照相进行角膜混浊程度评分，3 周后取材进行 HE 切片染色。

结果：得到不同厚度梯度光学透明植片，体外实验提示无细胞毒性；临床观察植片与基质贴合紧密，疏水效果良好，HE 染色显示植片上方角膜基质纤维排列紧密，下方较为疏松，角膜上皮厚度无明显降低；

结论：该植片可作为大泡性角膜病变治疗的有效方式，并可根据临床需求改变适应症。

关键词：大泡性角膜病变；角膜水肿；生物相容性材料

Dynamic and high throughput multi-spheroid organoid-chip for effective and accurate drug screening

Yuxuan Zhu[1,2]、Deming Jiang[1]、Yong Qiu[1]、Xin Liu[1]、Liubin Kong[1]、Ping Wang*[1,2]

1.（Biosensor National Special Laboratory, Key Laboratory of Biomedical Engineering of Ministry of Education, Department of Biomedical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang, 310027, China)

2.（State Key Laboratory of Transducer Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai, 200050, China)

Objective: Microfluidics feature high-throughput, low sample requirement, submillimeter scale, which accurately meet the needs of biomedical research especially in drug screening. Drug screening is a crucial step that provides adequate data of pharmacological activity and side effect for early stage drug development. Drug screening commonly utilizes mouse or cancer cells to establish drug screening model. Despite that traditional two-dimensional monolayer cellular *in vitro* model is economical and practical, the results are quite different from that of *in vivo* three-dimensional cells in microenvironment, which may cause severe efficacy deviation compared to real medication situation. Mouse *in vivo* drug screening model can better mimic the real *in vivo* microenvironment, however, complicated screening manipulation, long trials period, high cost and animal ethics hinder the applications of mouse *in vivo* drug screening model. Increasing numbers of studies have been reported that cells spheroids can better simulate the *in vivo* microenvironment, but traditional spheroid culturing **Methods:** need tedious manual operations.

Methods: In order to solve these problems, we fabricated a microvalve-integrated multi-chamber microfluidic platform for high throughput culturing of different kinds of spheroids on chip. The microfluidic platform has 306 microwells uniformly distributed in 16 square chambers. Every chamber has four microvalve-integrated microchannels in every sides to connect other chambers. Chambers are divided into four rows by closing longitudinally oriented microvalves for different kind of cell suspension injection. After spheroids formation, chambers are divided into four columns by closing transversely oriented microvalves for co-cultured spheroids to establish multi-spheroid *in vitro* drug screening model.

Results By using this organoid-chip, we co-cultured small intestine, liver, cardiac and lung cancer cells spheroids at 4 chambers on a column and established 4 multi-spheroid drug screening models at the same time. With these multi-spheroid drug screening models, we studied the pharmacological activity and side effects of cisplatin, paclitaxel, vinblastine and 5-FU with three drug concentrations 0.01μM, 0.1μM and 1μM. Every drug screening trial period takes about one week, dramatically more effective than mouse *in vivo* drug screening. In addition, compared to 2D monolayer cell culturing drug screening, this organoid-chip can better simulate the *in vivo* microenvironment.

Conclusion: The results validate that the multi-spheroid organoid-chip can provide a promising platform for

effective and accurate drug screening.

Key words: organoid-chip; multi-spheroid; high throughput; drug screening; microfluidics

丝光化细菌纳米纤维素 / 聚乙烯醇复合人工血管的研制与评价

胡高铨、李格丽、陈琳、洪枫 *

东华大学松江校区

目的：管状细菌纳米纤维素（Bacterial Nano-Cellulose，BNC）是一种在特殊生物反应器中由细菌合成的天然葡聚糖纳米纤维 [1-3]。尽管 BNC 管其作为小口径人工血管（<6 mm）具有很大的潜力，但其水凝胶态下的弹性弱、缝合强力低，不利于手术操作 [4-6]。因此，BNC 管力学性能的提高对改善其作为小口径人工血管的移植效果具有重要意义。聚乙烯醇（Polyvinyl alcohol，PVA）是一种具有一定弹性的高分子 [7]，其水溶液可在碱溶液中发生沉淀。本研究通过将 PVA 浸渍于管状 BNC 网络后，利用浓碱丝光化 [8] 及冷冻相分离处理，获得丝光化 BNC/PVA 复合人工血管，为 BNC 基小口径人工血管的应用奠定基础。

方法：利用实验室保藏菌种制备管状 BNC 材料，将不同浓度的 PVA（10%、12.5% 和 15%，w/v）浸渍于 BNC 管后，通过浓碱丝光化及冷冻相分离处理，获得丝光化 BNC/PVA 复合人工血管（Mercerized BNC/PVA composite，MBP）。通过力学性能、血液相容性、体外与体内生物相容性等的评价，评估了其作为人工血管的潜力。

结果：丝光化 BNC/PVA 复合人工血管的体积较纯 BNC 管发生明显收缩，力学性能明显提升，弹性增加，缝合性能增强；该复合管的蛋白吸附量较少，血液相容性较好，支持内皮细胞的增殖。使用 12.5% 浓度 PVA 制备的复合管的皮下包埋实验表明，该材料组织相容性好，炎症反应低；大鼠腹主动脉移植实验表明其 12 周内的血流通畅。

结论：丝光化和冷冻相分离技术可有效地将 PVA 复合于管状 BNC 中并改变尺寸，有效改善弹性并增强缝合强度。动物皮下包埋结果表明复合管的体内生物相容性好，体内替换实验结果表明其还具有较好的远期通畅率。该研究为 BNC 基复合管状材料在小口径人工血管领域的应用提供了理论依据和动物实验基础。此外，该管还有望在其他管状弹性组织修复领域（如神经、尿道等）加以运用。

关键词：小口径人工血管；聚乙烯醇；管状细菌纳米纤维素；机械性能

青年学者 - 青年优秀论文复赛

3D 打印兼具大孔和全连通微通道结构的水凝胶支架用于组织工程血管化的研究

罗永祥 * 张涛 林欣

（深圳大学医学部生物医学工程学院，广东深圳 518060）

目的：三维支架的大孔和连通的微通道是促进组织再生和成血管的重要的结构引导因素。3D 打印可以制备具有大孔或微通道的支架，但是兼具可控大孔和全连通微通道的支架依然是一个难题。本论文报道了一种制备兼具可控大孔和全连通微通道的水凝胶支架的方法，且探讨其在组织工程血管化的应用。

方法：首先制备了高浓度的海藻酸钠 / 明胶复合打印材料，3D 打印成三维支架。将该支架浸泡在 $CuCl_2$ 溶液中(0.1,0.5 或 1 mol/L)进行交联，时间控制在 60 秒内。使得支架的表面交联，而内部还是未交联的状态，然后支架浸泡在去离子水中，将未交联的部分去除，形成兼具大孔和全连通的微通道的结构。

结果：我们成功制备了兼具大孔和连通微通道的支架，且支架的尺寸可以通过 $CuCl_2$ 浓度和交联时间控制。支架具有良好的力学和结构稳定性。内皮细胞可以很好的黏附在管内壁进行增殖。体内实验表明该支架可以促进血管在支架内部的长入。

关键词：3D 打印；水凝胶支架；全连通微通道；组织工程；血管化

通过细胞表面锚定的三维凝胶网络制造 RhD 阴性红细胞

王本 *

（浙江大学医学院，杭州 310029）

RhD 是红细胞上最重要的免疫抗原之一。然而，RhD 阴性血液的供应在临床实践中经常面临严重短缺，从 RhD 阳性红细胞制作 RhD 阴性红细胞仍然是一个很大的挑战。我们开发了一种替代方法，使用细胞表面锚定的三维凝胶网络框架来遮盖 RhD 阳性红细胞上的抗原表位。细胞表面锚定的凝胶三维网络可以达到最佳的细胞表面抗原的屏蔽效果，对红细胞的物理化学影响最小。化学构建的细胞表面网络框架完全阻塞了细胞表面的 RhD 抗原，在小鼠模型中的异体输血和兔子模型中人类 RhD 阳性红细胞的异种输血的评估证实了工程红细胞的 RhD 抗原的隐身特性。该工作为细胞表面改善进行不分血型的应急输血提供了有效的方法，对合理设计的细胞表面工程用于输血和移植医学中展现了巨大的潜力。

关键词：输血；细胞表面工程；纳米凝胶；聚唾液酸；通用红细胞

研究生 - 青年优秀论文复赛

A novel electrospray system for cell encapsulation with high-throughput

(Department of Biomedical Engineering, School of Medicine, Tsinghua-Peking Center for Life Sciences, Tsinghua University, Beijing 100084, China.)
(Corresponding author, E-mail: duyanan@tsinghua.edu.cn)

Abstract: Growing research interests have been paid to cell therapy of high efficiency with precision. Gene editing of engineered cells leads to secretion of protein with therapeutic potential. Scarce amount of autologous cells has prompted the development of engineered systems for the production of allogenic cells *in vitro*. However, current platforms have limited throughput level. To address the inconsistency, we designed an electrospray device for cell encapsulation within microspheres of high efficiency. During the subsequent seven days of culture, pancreatic islet cells and lactic acid bacteria cells encapsulated within spheres which allowed mass exchange showed good viability. Compared to conventional methods, biological microspheres that can be produced at ten-thousand level within a few minutes. Considering the application potential in cell therapy, manufacturing convenience, reusability and high productivity, the engineered electrospray system for cell spheroid-like encapsulation possesses promising potential for translational medicine in the field of regeneration.

Key words: electrospray; cell encapsulation; biomanufacturing

基于 DLP-3D 打印的工艺研发及高精度微流控芯片的高通量制造与运用

罗志明 [1,2] 张杨 [1] 王华楠 [2*]
[1](深圳大学医学部生物医学工程学院，深圳 518000)
[2](大连理工大学生物工程学院、精细化工重点实验室，辽宁 大连 116024)

目前制造高精度复杂结构的微流控芯片面临着成本高、工艺繁琐、生产率低等诸多挑战。数字光处理 3D 打印技术 (DLP-3D) 为制造高精度、高效率、低成本的微流控芯片开辟了一条新的途径。早期研究由于缺乏有效的打印工艺，仅能通过调整墨水材料的成分以改善芯片质量。针对这一问题，本文报道了一种同层打印，分时曝光工艺，可在不改变墨水材料的基础上，通过结合光照强度、曝光时间、打印层厚三个参数，控制微流控芯片的通道尺寸、表面粗糙度、结构稳定性和保真度等。通过该方法成功实现了通道尺寸为 20 × 20 μm 微流控芯片的高通量打印，并将其应用于制备载细胞微凝胶。这项研究为微流控芯片在单细胞分析和包裹，皮下注射用药物载体，人工组织血管等领域的应用提供了一种新的 3D 打印策略。

关键词：3D 打印；数字光处理技术（DLP）；微流控；高通量；微凝胶

S10
康复工程

特邀报告

基于高密度肌电信息分析的神经肌肉功能康复研究

李光林
中国科学院深圳先进技术研究院
Email: gl.li@siat.ac.cn

神经肌肉疾病是一种来源于神经或肌肉病变的常见疾病，严重影响患者日常生活。为了提高其康复治疗效果，对其病因和病理的准确评估十分重要。目前对肌肉电生理信息的采集与分析，是对神经肌肉疾病的一个重要评估手段。传统肌电采集方法只采集单个肌肉肌腹的电生理信息，很难测量出肌肉表面的整体电生理信息及肌肉之间的协同活动信息，影响对神经肌肉疾病的全面准确评估。本研究通过在肌肉表面覆盖高密度肌电电极阵列，采集多通道肌电数据，并运用多通道肌电信号分析技术，获取可视化的肌肉活动信息，实现对吞咽障碍、面瘫、腰背痛、脊柱侧弯等神经肌肉疾病进行全面准确评估，最终为研发神经肌肉疾病的精准诊断工具及有效康复治疗方法提供理论和技术基础。

Next-Generation Prosthetic Hand: From Biomimetic to Biorealistic
生物真实假肢手的进展与挑战

Ning Lan
Shanghai Jiaotong University
Email: ninglan@sjtu.edu.cn

Integrating a prosthetic hand to amputees with seamless neural compatibility presents a grand challenge to neuroscientists and neural engineers for more than half century. Mimicking anatomical structure or appearance of human hand does not lead to improved neural connectivity to the sensorimotor system of amputees. The functions of modern prosthetic hands do not match the dexterity of human hand due primarily to lack of sensory awareness and compliant actuation. Lately progress in restoring sensory feedback has marked a significant step forward in improving neural continuity of sensory information from prosthetic hands to amputees. However, little effort has been made to replicate the compliant property of biological muscle when actuating prosthetic hands. Furthermore, a full-fledged biorealistic approach to designing prosthetic hands has not been contemplated in neuroprosthetic research. In this presentation, I will advance a novel view that a prosthetic hand can be integrated harmoniously with amputees only if neural compatibility to the sensorimotor system is achieved. Our on-going research supports that next-generation prosthetic hand must incorporate biologically realistic actuation, sensing and reflex functions in order to fully attain neural compatibility.

基于流体静压原理的舌功能能障碍的评估与训练

窦祖林、卫小梅、杨晨、张耀文
中山大学附属第三医院康复医学科
Email: douzul@163.conm

本讲座共分 3 个部分：1、比较详细的介绍了舌肌的流体静压特征；2、针对舌的正常功能及功能障碍，基于舌的流体静压，综述了国外几种常用的舌肌功能训练设备的研发及临床应用情况；3、重点介绍了我国更新迭代的舌肌训练设备的研发及临床应用情况。

专题口头报告

康复工程的新靶点

刘承宜 *、段锐

华南师范大学体育科学学院

目的：运动是好的康复方法，但效果受制于职业技能水平。康复工程的靶点通常是疾病，本文认为康复工程的新靶点是职业技能。

方法：1. 定量差异（QD）：P 值只能发现定性差异。引入以黄金分割常数为底的黄金对数，将一个功能两个取值比值的黄金对数绝对值定义为该功能的 QD，其阈值可以定量表征该功能的剂量关系曲线，后者的平台期的负反馈机制称为功能内稳态。2. 易流模型：N 个参数表征的复杂系统的 M 个时间点构成数据流。将 N 个参数的几何均值定义为结构时中，用每个参数除以结构时中实现结构标准化；将一个参数 M 个取值的几何均值定义为功能时中，用每个取值除以功能时中实现功能标准化。经过双标准化的数据流称为易流，相邻两个数据的 QD 的显著性阈值称为易模，引起相邻两个数据的 QD 超过易模的参数称为参数洞。没有参数洞的易流为数据流形。N 个易流参数的和称为结构和，易流参数除以结构和定义为参数概率，参数概率的负值乘以参数概率对数并对所有参数求和称为结构熵。3. 细胞功能内稳态：远离功能内稳态的细胞存在信号转导网络。细胞功能内稳态所维持的功能称为正则功能，维持正则功能的唯一信号转导通路称为正则通路。

结果：1. 结构时中可以定量整合复杂系统的所有参数。2. 自限性疾病患者的结构时中守恒，对应的对称性为共时性，阴阳现象是典型表现。3. 易流模型满足中医阴阳理论，参数洞引起阴阳失调，没有参数洞的参数对满足阴平阳秘。4. 天人合一构成的易流属于孤立系统，维持参数洞的自限性疾病病因打破孤立系统，结构熵不满足热力学第二定律；去除病因，结构熵满足热力学第二定律，疾病自愈。5. 职业技能通过靶组织的正则通路维持健康水平，职业技能低下是自限性疾病的共同病因。6. 职业技能的康复效果源远强于普通的康复方法。

结论：职业技能是康复工程的新靶点。

关键词：几何均值；熵；热力学第二定律；职业技能；信号转导通路

近红外脑功能成像在脑卒中康复中的临床应用

李增勇

国家康复辅具研究中心

目的：卒中是世界范围内最常见的神经系统疾病之一。大脑的神经可塑性是脑卒中后康复的理论基础。了解与康复干预相关的神经可塑性变化对于改善卒中后功能恢复至关重要。功能性近红外光谱（fNIRS）是一种新兴的基于血流动力学的功能性脑成像技术，可通过脑内的光吸收变化无创地测量脑氧合的变化，具有独特的优势。本文应用近红外脑功能成像技术评估肢体运动、外周电刺激等对促进脑功能重塑的变化。

方法：该项目通过研究不同卒中类型患者近红外脑功能动态特征，应用大脑激活模式和网络指标建立脑功能状态动态评估模型。在康复干预期间，通过 fNIRS 测量卒中患者双侧前额叶皮质（LPFC/RPFC）、运动皮质（LMC/RMC）和枕叶（LOL/ROL）的脑氧合信号，计算皮质激活和功能性脑连接，研究临床康复干预引起的皮质可塑性的变化。

结果：在肢体运动康复训练研究中，发现卒中患者在对侧运动区表现出比同侧运动区更大的激活 [1]；在上肢单双侧康复干预中，发现单侧训练促进大脑侧偏性改善；在正中神经电刺激（MNES）的研究中，发现 MNES 诱发同侧前额叶区域对双侧运动和枕叶区域调节功能的反应，调节大脑资源并诱导卒中患者皮质可塑性变化 [2]。

结论：近红外脑功能成像作为一种无创脑功能神经影像技术，具有操作简单、使用成本低、抗干扰性强、兼容性好等优势，可实现临床多种自然场景下患者脑功能的快速检查，在临床康复领域得到广泛应用。本文研究结果加深了我们对临床康复治疗神经机制的理解，为下一步开发卒中康复新技术奠定理论基础。

关键词：卒中；神经康复；功能近红外；可塑性

基于肌电地形图评估腰部外骨骼对腰背部肌肉协同活动的作用研究

姜乃夫 *[1,2]、王大帅 [1,2]、季心宇 [3]、吴新宇 [1,2]、李光林 [1,2]

1. 中国科学院人机智能协同系统重点实验室

2. 中国科学院深圳先进技术研究院

3. 中电海康集团有限公司

目的：腰部外骨骼通过辅助腰部运动，可降低腰背部肌肉损伤的风险。但由于评估工具的限制，很少有研究评估腰部外骨骼对腰背部肌肉协同活动的直接作用效果。本研究拟基于多通道表面肌电电极阵列，设计肌电地形图，评估腰部外骨骼在动态搬运任务和静态维持任务下，对腰背部肌肉协同活动的作用效果。

方法：十名被招募的受试者被要求完成两项任务：（1）重复 10 次搬起和放下一个 20 公斤重箱子的动作（动态搬运任务）；（2）维持搬起 20 公斤重箱子的姿势，直到腰背部肌肉的疲劳完全无法承受（静态维持任务）。此外，受试者参加的每项任务，将在三种不同佩戴模式的腰部外骨骼下进行：未佩戴外骨骼（NoExo）、有佩戴外骨骼但外骨骼处于断电模式（OffExo）、有配戴外骨骼且外骨骼处于通电模式（OnExo）。一个 3 行 7 列的表面肌电电极阵列被均匀放置在腰背部 L2-L4 脊柱节段两侧的皮肤表面，以记录任务进行中的肌电信号。然后通过计算肌电信号的均方根值和中频值，并采用三次样条插值方法，构建均方根值地形图与中频值地形图。最后从地形图中提取平均像素值、重心分布值和熵值三种参数，以评估腰背部肌肉协同活动。

结果：在动态搬运任务中，NoExo 模式下的均方根值地形图和中频值地形图的平均像素值均在统计学意义上显著小于 OffExo 模式下的平均像素值（$p<0.05$），但其与 OnExo 模式下的平均像素值之间无显著性差异（$p>0.05$）。地形图的重心分布值在 NoExo 和 OnExo 模式之间则显示有显著性差异（$p<0.05$）。在静态维持任务中，地形图的平均像素值和熵值在 NoExo 和 OnExo 模式之间都有显著性差异（$p<0.05$）。

结论：相对于动态搬运动作，腰部外骨骼在静态维持动作中可以帮助受试者更有效地协调腰背部肌肉间的协同运动。这些结果证明表面肌电地形图可以提供一种新的方法，来准确评估腰部外骨骼对腰背部肌肉协同活动的作用，从而有助于改进腰部外骨骼系统的设计。

关键词：外骨骼；表面肌电；肌肉协同；人机接口；肌电地形图

Trajectory Optimization with Musculoskeletal Integration Features for Fracture Reduction Orthopedic Robot

Jian Li *[1]、Rui Cui[3]、Hao Sun[2]
1. 国家康复辅具研究中心
2. Hebei University of Technology
3. Hebei University of Technology

Objective: Human body is an integrated system of bones and muscles. To date, there are insufficient studies on the effect of muscles and other tissues on the trajectory planning of orthopedic robot. In this paper, based on a Stewart-Gough platform (6-UPU) fracture reduction orthopedic robot, a musculoskeletal trajectory optimization method was constructed to solve the interference of soft tissue during the reduction process.

As follow, we introduced the design of the robot system, and analyzed the robot's workspace firstly. Then, combined with the Hill theory, the effect of muscle on the reduction trajectory was proposed and studied by the means of finite element analysis. Finally, the trajectory is planned by quintic polynomial in the robot workspace, and the musculoskeletal model is proposed. Moreover, considering the reset time, the length of the reset path and the soft tissue energy consumption, reset trajectory is optimized comprehensively based on the PSO with variable weight. Meanwhile, effectiveness of the strategy and the safety of the trajectory are analyzed and verified.

Methods: Firstly, pose description of the fracture reduction orthopedic robot was introduced and its working space was analyzed. Secondly, an improved hill muscle theory was used to construct the musculoskeletal system, and finite element analysis (FEA) was carried out to reveal the effect of bone and muscle on the trajectory planning. Thirdly, particle swarm algorithm (PSO) with variable weights was imported, and fracture reduction trajectory planning with bone was obtained in the workspace. Then mathematical model for trajectory optimization was presented, and targets of musculoskeletal optimization were extracted, which include muscle energy consumption, robot-assisted repositioning time and trajectory length. Moreover, musculoskeletal integration trajectory optimization method was put forward. Finally, comparative optimization simulation with skeleton only and bone and muscle together were tested, and safety experiment with musculoskeletal integration was conducted.

Results: A cone shape workspace was got, whose range can be defined as 635.14mm on the X axis, 720mm on the Y axis, and 240mm on the Z axis, respectively. Besides, different FEA displacements were observed on the bone model, muscle model and musculoskeletal model in spite of same load, and effect of muscle on the movement of the broken bone was revealed. Moreover, the optimal results with and without muscle had showed different movement time. Thus, the former consumed 25s, but the latter would spend 27s. Additionally, the speed and acceleration of the drive rods can be obtained from 0 to 0 during the reset, which ensures the smoothness and continuity of the robot motion.

Conclusion: With the development of medical robotic technology, scholars have made a series of achievements. However, lacking enough safety and accuracy had limited clinical applications of the robots, which directly lead to most of the robots survive in experimental stage. In this paper, a robot system for fracture reduction based on Stewart-Gough platform was introduced, and the workspace of the moving platform was built. According to the finite element analysis of the musculoskeletal model in ABAQUS, we found that the muscle traction rate was different from the broken bone. Moreover, the existence of soft tissue such as

muscle has important influence on the fracture reduction trajectory. To this end, we put forward a concept of musculoskeletal integration fracture reduction trajectory. In this sense, the muscle as the constraint was considered for trajectory planning. so uneven rate problem of the muscle and the broken bone was attempted to be solved. Moreover, the safety should be strengthened based on the method of trajectory planning. Meanwhile, this optimization method could get smooth and continuous robot trajectories and the reset time was prolonged for fracture reduction safety. This could be helpful for the future trajectory planning study.

Key words: orthopedic robot; parallel robot; trajectory optimization; hill muscle model; musculoskeletal integration

肌肉疲劳对轮椅使用者上肢肌肉协调模式的影响

齐莉萍 *[1]、关硕 [1]、李志鹏 [1]、田志浩 [1]、王国良 [1]、Martin Ferguson-Pell[2]

1. 大连理工大学

2. 加拿大阿尔伯塔大学康复医学学部

目的：在轮椅使用者中，多年的轮椅使用造成肌肉不平衡和过度使用，肩部疼痛和受伤的风险可能增加。肌肉疲劳也是造成伤害其中一个重要的原因，肌肉疲劳的发生可能会改变肌肉之间的协调模式，通过这些改变来补偿肌肉疲劳，这些变化包括各肌肉激活水平的重新分配、关节间的变化及肌肉间的协同变化。本研究采用小波联合主成分分析的方法量化分析了轮椅推进过程中在非疲劳、过渡阶段和疲劳状态下，疲劳对肩部肌肉协调模式的影响程度。

方法：本研究邀请了了 11 位轮椅使用者（8 位男性，3 位女性，T6-T12 截瘫患者）参与研究。受试者经过充分的热身后，在轮椅跑台上进行递增负荷测试，要求受试者在 8-12 分钟内到达最大摄氧量，每隔一分钟功率增加 5W。同时采集了右侧肩部三角肌前部、中部、后部、肱二头肌、肱三头肌、胸大肌、斜方肌上部、冈下肌等 8 块肌肉的表面肌电信号、摄氧量（氧气、二氧化碳含量）、SmartWheel 轮椅动力学信号，联合小波与主成分分析定量研究了肌肉疲劳如何影响轮椅使用者上肢肌肉的协调模式。本研究采用的疲劳阈值为通气域（VT），通气域预示了有氧运动到无氧运动的过渡，肌肉疲劳随之产生，也被认为是疲劳的临界点。通气域的判定采用 V-slope 法。本研究选择了测试起始 1 分钟的肌电数据，作为非疲劳期，VT 前后 1 分钟数据作为疲劳过渡期，最大摄氧量测试结束前 1 分钟作为疲劳期。采用协方差分析对主成分荷载分数进行统计分析，将递增负荷作为协变量。

结果：协方差分析表明，在排除了递增负荷的情况下，第三主成分反映了疲劳对于肌肉协调模的影响。在疲劳过渡期，为了增加肩关节的稳定主动肌与拮抗肌之间的共激活增加。而在疲劳期，主动肌的活动显著增加，而拮抗肌活动减弱，从而出现主动肌与拮抗肌之间的不平衡状态。

结论：对于轮椅使用者的康复训练而言，需更为关注肌肉之间的平衡，避免上肢肌肉过度疲劳，以防止肩关节的损伤，造成轮椅使用者的二次伤害。

关键词：主成分分析；小波分析；脊髓损伤；表面肌电；肌肉不平衡

基于功能近红外的脑瘫儿童脑激活模式及功能网络特征研究

张腾宇[1]、徐功铖[2]、霍聪聪[2]、李增勇*[1,2]

1. 国家康复辅具研究中心

2. 北京航空航天大学生物与医学工程学院

目的：脑瘫是由于天性脑发育缺陷导致的中枢性运动障碍，是导致小儿残疾的主要疾病之一，其运动功能的康复治疗需要以脑功能特征为依据。本文研究脑瘫儿童运动时的大脑激活模式和功能连接网络特征，为其康复治疗提供依据。

方法：选取 11 例脑瘫儿童（10.64±3.80 岁）和 10 例健康儿童（8.83±2.14 岁）开展近红外脑功能实验研究。采用丹阳慧创 NIRSmart 近红外光谱测量仪器采集被试静息态和上肢运动两种状态下的大脑皮层血氧数据，每种状态采集时间为 10 分钟，采样频率为 10Hz。其中，上肢运动器械采用 MOTOmed 主被动模式。通过复小波变换计算得到各通道信号的小波幅值（WA），选取 0.01-0.08Hz 频段的 WA 积分值作为通道的激活值。基于小波相位相干性计算脑区间的功能连接。利用各通道的激活值绘制大脑激活地形图，根据各通道的功能连接水平绘制大脑功能连接网络图。采用秩和检验对脑瘫儿童与健康儿童在静息态和运动态下各脑区的激活值和脑区间的功能连接进行统计学对比分析。

结果：健康儿童较脑瘫儿童的大脑激活程度高，左右半球存在激活不平衡现象。在上肢运动时，脑瘫儿童各脑区的激活值均高于健康儿童，且在患侧前额叶和运动区具有显著性差异。健康儿童比脑瘫儿童的脑功能连接网络更加密集，且健患侧前额叶和运动区之间的功能连接水平存在显著性差异。运动状态下，健康儿童除两侧运动区与健侧前额叶之间的功能连接增强外，其他脑区之间的功能连接水平均较静息态降低。而脑瘫儿童在运动态下多个脑区间的功能连接水平表现为升高。

结论：健康儿童比脑瘫儿童的脑功能连接网络更加密集，脑瘫儿童运动时的各脑区间的功能连接与健康儿童存在较大差异。为了达到同样的运动效果，脑瘫儿童需要大脑更多的主动参与。

关键词：脑瘫；近红外；脑区激活；功能连接

护膝对排球运动员单腿着陆的生物力学影响：一项实验研究

武辰晓、王宇彬、毕然、刘海斌*

大连理工大学体育与健康学院

目的： 作为隔网对抗性项目，排球运动备受欢迎。但练习时各种动作的组合对肌骨系统提出了较高要求，球场环境的微小改变便可导致运动形式的调整。且由于参与者运动过程中下肢极高的使用频次，特别是执行跳跃着陆动作时，身体自然要承受多倍于自重的冲击力。其中，单腿着陆无疑是最为危险的动作之一，较小的承重面积与不对称的重力与支持力使膝关节经历了高刚度与高剪切力，伴随着较弱的矢状面缓冲及较大的冠状面偏移。因此，缕清这种受限制的软着陆动作是否可通过外加护具（如护膝）来加以改善有益于提升对着陆生物力学的理解及排球相关的损伤预防。

研究一种护膝是否具备改善青年男子排球运动员不同着陆高度下的生物力学表现，并依据实验结果扩充排球项目的护具选择。

方法：招募十名青年男子排球选手，运动等级为国家二级运动员。通过在不同着陆高度（30cm 和 45cm）条件下进行配带与不佩戴护膝单腿着陆实验。利用红外运动捕捉系统、三维测力平台和肌电仪分别采集运动学、动力学和肌电数据。运行 OpenSim 生物力学仿真软件中自定义的全身模型计算动作中膝关节的角度与力矩。并将肌电数据通过 Matlab 以 20-200 Hz 带通滤波处理。采用双因素重复测量方差分析方法统计分析上述参数，

双因素分别为着陆高度与是否佩戴护膝。

结果：峰值膝关节屈曲角度和膝关节冠状面角度变化受着陆高度的影响，较高的着陆位置可产生较大的角度变化，但触地至膝关节最大屈曲的时间不受这些外部条件的影响；峰值垂直地反力也伴随单腿着陆高度的增加而增大，护膝未降低其幅值；关于肌电，下肢主要肌群达到预激活与强收缩状态的时间无显著性差异，但护膝可显著降低股直肌在单腿着陆过程中平均肌电幅值的相对值。

结论：考虑到股直肌在单腿着陆动作中的重要作用，我们认为佩戴护膝作为一种补偿下肢伸肌的外部条件，是一项可行策略，其具备改善青年男子排球运动员着陆生物力学的能力。

关键词：排球；单腿着陆；护膝；生物力学

面向复杂运动任务评估的帕金森步态时空参数模型研究

孟琳 *、杨一凡、黄夏禹、庞珺、徐瑞、明东

天津大学

目的：帕金森病 (Parkinson’s disease，PD) 是第二大常见的神经退行性疾病。 患者通常出现肌肉僵硬、震颤、姿势不稳步态困难等运动症状。严重影响其日常生活及早诊断和及时药物与康复治疗干预可延缓帕金森病的进程。 然而，目前临床诊断评估多以医生的主观观察与临床量表为主，对于运动症状较轻的早中期 PD 患者存在误诊与难诊问题。研究表明早期 PD 患者在转弯过程中较直行会表现更多步态障碍，因此本研究提出了一种基于惯性传感器的新式算法，可实现直行与转弯的复杂运动任务下的步态时空参数评估。

方法：研究采用五个惯性传感器，分别放置于两腿的小腿侧面、脚背上方和髂后上棘。算法包括两个部分：在对 IMU 输出的线性加速度和姿态方向角进行预处理后，首先通过阈值 - 峰值法实现脚跟离地、脚趾离地、脚跟触地和全掌落地的四个步态相位的准确检测以及基于步态周期的直行与转弯的两种步态任务识别；通过零速度更新与校正结合的双积分法计算获得步幅长度。在建立模型算法后，研究招募了 10 名健康受试者与 10 名早期 PD 患者参与算法验证实验，采用光学运动捕捉系统作为参考，受试者需同时穿戴标记点模型和 IMU 传感器，以自舒适速度进行 7 米“直行—转弯”往返步态任务，重复 20 次。

结果：本研究所提出的步态时空参数模型在两组受试者的 7 米“直行—转弯”任务中均可实现 100% 识别四种步态相位事件，并且直行和转弯两种步态任务的识别率达到 98% 以上，步幅长度估计值与参考值的均方根误差小于 2.82cm。模型在不同受试组间的复杂运动任务中表现出良好的泛用性。

结论：本研究提出了面向复杂运动任务的一种基于惯性传感器的的时空步态参数模型算法，实现了直行和转弯两种任务下的步态相位识别和步长估计。通过健康受试组和 PD 组的“直行 - 转弯”步行实验验证了该模型在不同受试组复杂运动任务下的精度和准确性。本模型有望进一步应用于 PD 临床客观量化评估。

关键词：帕金森病；惯性传感器；步长估计；步态相位识别；步态分析

3D 打印技术在康复辅助器具中的应用，挑战及思考

孟昭建 *、刘四文、邓小倩、王晓云

广东省工伤康复中心

目的：3D 打印 (Three dimensional printing) 又称增材制造，是用层叠堆积的方法实现模型的实体构建，已广泛应用于辅助外科手术，医学教学和基础科研。我院 3D 打印应用转化工程中心和临床基地自成立三年以来积极探索 3D 打印技术在辅助器具上的开发和临床应用，取得了一些进展并收获了宝贵经验。本文通过我中心应用 3D 打印技术在康复辅助器具中的初探，总结和讨论 3D 打印技术在康复辅助器具应用中所遇到的

问题，可能的解决方案和应用展望。

方法：通过石膏绷带取模方法获取患者残肢轮廓，灌型修整完石膏模型后用 SHINING 3D EinScan 扫描仪扫描阳模，或直接扫描患者肢体轮廓后利用 Geomagic Studio 软件将扫描好的肢体模型进行点云优化处理和辅助器具个性化设计。根据不同辅助器具的功能和设计要求选用合适的尼龙，聚乳酸 (PLA, Polylactic acid)，碳纤维材料或牙科 MED610 材料进行 3D 打印成品。

结果：个性化设计的 3D 打印踝足矫形器（AFO，Ankle foot orthosis），颈托，假肢外装饰壳及烧伤压力面具等辅助器具能够更加精准的适应患者的肢体轮廓从而达到更高的贴合度和更好的依从性。

结论：本研究实现了辅助器具的制作从 3D 扫描，3D 设计和 3D 打印过程的全面化，使 3D 打印技术替代传统石膏取模，修模，成型成为了可能。通过实际应用发现，昂贵的 3D 打印成本，较难获取肢体轮廓的三维扫描和不确定的 3D 打印材料长期使用性能是目前阻碍 3D 打印技术在辅助器具应用的主要障碍。作为科技发展新产物的 3D 打印技术制作而成的辅助器具产品是否优于传统手工方法制作的产品，和患者应用 3D 打印产品的有效性有待于进一步探讨和研究。因此，对个性化的 3D 打印辅助器具产品进行生物力学性能分析，和与传统方法制作的辅助器具产品进行对照研究从而为临床应用提供循证医学依据是目前亟须解决的问题。

关键词：3D 打印；辅助器具；假肢；矫形器；康复工程

Task-oriented rehabilitation techniques with robot-assisted information feedback

Mingming Zhang*

南方科技大学

Objective: Individuals with physical disabilities are often restricted to perform activities of daily life (ADLs). While efficacy of bilateral training has been demonstrated in improving physical coordination of human limbs, few robots have been developed in simulating people's ADLs integrated with task-specific force field control.

Methods: This study sought to develop a bilateral robot for better task rendering of general ADLs (gADLs), where gADL-consistent workspace is achieved by setting linear motors in series, and haptic rendering of multiple basic bimanual tasks (coupled, uncoupled and semi-coupled) is enabled by regulating force fields between robotic handles. Based on force fields of basic bimanual tasks, complex task can be programed by effective combination and switch of three basic task models.

Results: Experiments were conducted with human users, and our results present a viable method of a single robotic system in simulating multiple physically bimanual tasks. Task difficulty can be adjusted through control coefficients, and performance of users with different difficulty levels is significantly different. Besides, experiments also indicated the feasibility of presenting complex human ADLs.

Conclusion: The proposed robotic system is expected to be serving as a coordination training device, and its clinical efficacy will be also investigated. In this talk, other relevant robot-assisted rehabilitation techniques will also be briefly introduced.

Key words: Task-oriented rehabilitation; bilateral robot; coordination training

基于递归网络的脑卒中患者静止站立过程中多肌肉协调性研究

李金萍[2]、侯莹[2]、李可*[1]

1. 山东大学

2. 苏州市立医院（北区）

目的：脑卒中后异常的肌肉协调模式常导致运动功能障碍，其中对脑卒中患者站立过程中多肌肉整体激活模式的研究尚不多见。本研究拟通过递归网络探究脑卒中患者静止站立时多肌肉协调性特点。

方法:本研究招募了 12 名脑卒中患者和 12 名健康人。受试者按要求保持睁眼静止站立以及闭眼静止站立，无线表面肌电采集系统同步采集受试者左右两侧腰腹部、臀部、腿部，共计 16 块肌肉的表面肌电信号。使用递归网络算法处理表面肌电信号，建立起受试者患侧、非患侧以及全身的多层递归网络以及加权网络。使用平均层间互信息（*I*）及平均边缘覆盖率（*w*）量化多层递归网络特征，平均最短路径长度（*L*）和聚类系数（*C*）量化加权网络特征，并提取加权网络的度中心性指标衡量肌肉在整体肌肉协调性里的重要性。

结果：脑卒中会显著影响非患侧肌肉网络特征，但对全身及患侧肌肉网络特征无显著影响。脑卒中患者非患侧肌肉网络的 *I* 值和 *w* 值要显著高于其患侧及健康人的相应值，*L* 值要显著低于其患侧及健康人的相应值。相较于患侧，脑卒中患者非患侧小腿肌肉（胫骨前肌和腓肠肌）的度中心性显著增高。视觉信息的缺失会导致患者单腿肌肉网络的 *I* 值、*w* 值显著升高，*L* 值显著降低，患者及健康人全身肌肉网络的 *I* 值、*w* 值显著升高，*L* 值显著降低。

结论：脑卒中会显著改变站立过程中多肌肉协调性，使得患者非患侧肌肉激活的同步性增高，肌肉间信息传递效率提高，且在控制过程中对小腿依赖性增强。无视觉反馈时，肌肉会以更确定、更相似的模式激活。本研究为探究脑卒中患者多肌肉协调性开辟了新思路，也可为后续精准改善脑卒中运动功能障碍提供肌肉协调性方面的理论依据。

关键词：脑卒中；静止站立；递归网络；多肌肉协调性

基于 fNIRS 和虚拟现实技术的多模态柔性康复训练方法

王丽珍[1]、郝明阳[1]、高阳[2]、翟英男[2]、樊瑜波*[1]

1. 生物力学与力生物学教育部重点实验室，北京市生物医学工程高精尖创新中心，北京航空航天大学生物与医学工程学院，北京，100083

2. 北京航空航天大学虚拟现实技术与系统国家重点实验室

目的：随着社会老龄化程度不断加速，我国脑卒中疾病出现爆发式增长 。脑卒中的高致残率导致患者手功能障碍严重。结合软体康复机器人技术与 VR 技术，开发手部康复系统，基于近红外脑功能成像系统（fNIRS）和虚拟现实技术探究其对大脑皮层激活影响。

方法：本研究开发了基于线驱的软体康复手套采用仿生学原理的柔性手套，可通过手机 APP 控制单指、多指八种不同运动，通过语音控制人机交互。基于运动想象和镜像治疗理论，开发了手部康复虚拟训练系统，实现逼真视觉刺激及镜像场景，界面分为医生治疗方案、患者信息存储、康复场景三个功能区。康复场景包括：示教、镜像与游戏三种。实验对象为 9 名男性健康受试者（25.8±3.2 years，右利手，矫正视力正常），每位受试者均进行 3 次实验，每次间隔一周。采集指浅屈肌与指总伸肌肌电信号保证被动运动的有效性。使用近红外脑功能成像设备检测大脑皮层激活情况：1）单纯主被动运动；2）结合 VR 场景的被动运动；3）结合 VR 场景的主动运动。

结果：柔性手套具有更强的舒适性和适应性，利用 VR 技术开发的康复训练场景，提高了患者训练的主动性及趣味性。软体康复手部与 VR 康复场景相结合，构成了一种多模态的手部康复系统，可实现物理与神经双重刺激，更有利于患者康复。主动运动时大脑皮层激活程度明显高于静息态，被动运动时与静息态无明

显差别，而基于 VR 场景的主被动训练都能出现明显激活现象。

结论：任务态的主动运动比被动运动更能促进大脑皮层的激活。多模态的康复训练比单纯主被动训练更有利于大脑皮层的激活。被动训练可能防止肌肉痉挛，对手功能恢复有促进作用，但对促进大脑神经重塑的效果并不明显。主动运动更有利于促进大脑神经重塑，临床上应当鼓励患者主动参与。结合 VR 的多模态刺激对于全脑区神经恢复有利。

关键词：近红外脑功能成像；虚拟现实；多模态；柔性康复；大脑激活

气动压力疗法在糖尿病足溃疡防护中的应用研究

任韦燕[1]、段艺杰[2]、蒲放*[2]、李增勇[1]

1. 国家康复辅具研究中心

2. 北京航空航天大学

目的：血液循环障碍是造成糖尿病溃疡发生、恶化的重要病理因素。气动压力疗法（IPC）被报道可应用于改善人体下肢循环的供血水平，但针对不同的临床应用所产生的作用机制及适用处方有所差异。长期高血糖致使糖尿病患者下肢足部发生血管病变、神经病变、组织硬化等问题，IPC 对其足部的作用机制及适用参数还需进一步研究。因此，本研究旨在探究气动压力疗法对糖尿病足部循环的作用机制及其在足溃疡防护中的应用。

方法：本研究招募了符合入选标准的糖尿病足高危患者参与多个实验。实验对糖尿病受试者的腿部或足部施加不同压缩压力、压缩频率的 IPC 干预。实验对受试者在 IPC 干预前、干预过程中、干预后足部微循环和动脉血流信号进行测量。同时，实验还记录和测量了受试者的年龄、体重指数、足部软组织特性、血糖、血压、心率、动脉血管病变指数等生理和病理参数。研究分析了 IPC 对糖尿病足部循环响应特征的影响，并讨论了循环响应特征与糖尿病患者生理和病理参数的关系。

结果:IPC 加压及保持过程中可能会诱发血流流速瞬时升高，但同时会造成血管阻力增大、血流反流增加；IPC 释压及保持过程血管的响应特征受到患者本身血管血流搏动特征、加压及保持过程中血管响应特征的影响。同时，分析结果发现，IPC 的压缩压力、压缩频率和压缩部位显著影响糖尿病足背动脉和足部皮肤血流量的响应特征。除此之外，糖尿病患者足部循环的响应水平还与患者本身的年龄、动脉压、足组织弹性模量等生理参数，以及动脉血管病变指数等病理参数影响。

结论：IPC 对糖尿病足部循环的作用效果受到 IPC 干预参数、糖尿病患者的生理病理参数等因素的影响，应针对不同的糖尿病患者制定个性化的 IPC 治疗方案。本研究的发现可为临床 IPC 处方的优化提供理论和数据支撑。

关键词：气动压力疗法；糖尿病足；血液循环；动脉血流；皮肤血流

肌电信号中任务相关组分与个体相关组分的研究

戴晨赟

复旦大学

目的：基于肌电的智能康复系统将电子设备与人体的神经肌肉系统相结合，解码用户意图，使得用户可以利用自身的肌电信号实现人体与机器的自然交互。如今，该领域涌现了一批极具应用价值的方向，主要包括医疗康复机器人、神经假肢、外骨骼等。然而，该类系统使用前需要针对用户进行长时间的系统校准与个

性化的模型训练，这制约了其应用的便捷性与普适性。因此，建立无需特别定制的高精度智能人机系统通用模型是领域内迫切需要解决的瓶颈。本文旨在探究造成现存瓶颈的根本性原因并尝试利用机器学习算法解决此问题。

方法：本文的研究以人机康复工程中最常见的手势识别任务为应用目标，提出了以肌肉神经生理为基点、结合机器学习算法的新方法。研究发现从人群的整体情况看，每个人的神经肌肉解剖结构较为相似，做同一动作任务时可产生较为相似的肌电信号，这些类似的信号成分可以认为是肌电信号中依赖于任务的相关组分，但同时由于个体的神经肌肉结构差异，存在着依赖于个体的相关组分。本研究采集了 20 多位被试 10 个常用手势动作下多天的前臂高密度肌电信号，利用机器学习分类的方法区别个体的信息差异，并使用迁移学习算法提高了模型泛化能力，减少了模型使用前的适配训练时间，从而提高了实际应用的价值。

结果：通过尝试传统分类器以及深度学习算法，在相同手势下，本研究实现对 20 个被试个体信息的精准识别，不同范式情况下个体识别准确度可达 85-100%。此外，利用应用基于边缘分布自适应算法、最小化边缘分布差异和条件分布差异的平衡分布自适应算法以及减小边缘分布差异和条件分布差异算法等方法，提高了人机康复系统通用识别模型（无监督）10-15% 的分类准确度。

结论：不同用户进行相同的手部活动时，其前臂肌电信号中存在大量个体相关组分，可利用迁移学习方法降低这类组分对康复系统通用识别模型准确度的影响。

关键词：人机交互；肌电；机器学习；迁移学习

青年学者 - 青年优秀论文复赛

经颅磁刺激对尾吊小鼠行为认知和神经兴奋性的影响

侯文涛[1] 丁冲[1] 朱海军[1]

[1]（河北工业大学电气工程学院，天津，300000）

在太空环境中，失重会对宇航员的认知功能和生理健康产生一定的影响，而已有研究表明重复经颅磁刺激 (rTMS) 能够有效改善认知功能障碍。本研究的目的是探究 rTMS 对尾吊 (HU)C57 小鼠认知功能和神经元兴奋性的影响。将 C57 小鼠分成对照组，HU 组，HU+rTMS 组。通过对 HU 组和 HU+rTMS 组小鼠进行 14 天的尾吊处理，建立模拟失重模型。HU+rTMS 组小鼠同时进行 14 天的 rTMS 处理。通过新物体识别实验和水迷宫实验来研究小鼠行为和认知能力的变化。此外还进行了离体脑片膜片钳实验，通过检测动作电位 (AP) 相关指标来分析神经元的兴奋性及其作用机制。结果表明，HU 显著降低了小鼠的学习认知能力和海马齿状回颗粒细胞的神经兴奋性，而高频 rTMS 能显著改善 HU 小鼠的认知功能障碍和促进神经元的兴奋性。结论：rTMS 增加了神经元的兴奋性，有效改善了 HU 小鼠的认知行为能力和空间记忆能力。

关键词：重复经颅磁刺激；新物体识别；水迷宫；动作电位

汉语声调版林氏六音的声调评估

王星[1*] 左玉凤[1] 刘书[2] 汪钰欣[3] 闫虹旭[1] 刘琳[4]

[1]（重庆大学 生物工程学院，重庆 400044）

[2]（重庆市听力语言康复中心，重庆 400060）

[3]（天津大学 灾难医学研究院，天津 300100）

[4]（重庆大学外国语学院，重庆 400044）

林氏六音是人工耳蜗（CI）学龄儿童的听力评估工具。声调是汉语的重要特征，具有同声韵母同样重要的地位。现有的声调测试方法测试时间长且过程繁琐，需要改进。而作为方言，重庆普通话（CM）与标准普通话的 Ling 音频率间存在差异，通过识别 CM 语音特征来分析该差异也很重要。

为进行声调评估设计出四种声调版 Ling 音，得到 24 个原始音，对原始音进行 HSSE 编码得到 24 个编码音。将两组语音随机播放给 20 位 CI 儿童用户，统计其声调识别率来检验声调版林氏六音测试的有效性和编码对其影响。其次，为测量 CM 版林氏六音频率范围，本文收集了 20 名重庆官话参与者的 Ling 音，提取特征频率，对其发音特点进行分析。

声调实验中，原始音林氏六音识别率达 97%，声调识别率达 81%；编码音林氏六音识别率达 68.9%，声调识别率为 52.9%。CM 版与普通话版相比频率范围较窄，高频音频率较低，450 ～ 600Hz 频率范围缺失。研究可得，声调版林氏六音可用于测评 CI 用户的听力频率范围和声调识别能力。

关键词：人工耳蜗；林氏六音；重庆普通话；声调识别率

伸够运动中的上肢多自由度关节协同特征分析

张琳[1] 张鑫[1] 陈琳[1,2] 王星[1,2] 吴小鹰[1,2,3] 侯文生[1,2,3]

[1]（生物流变科学与技术教育部重点实验室，重庆大学，重庆 400044）

[2]（重庆市医疗电子工程技术研究中心，重庆 400044）

[3]（人工智能与服务机器人控制技术重庆市重点实验室，重庆 400044）

时空运动协同是人体关节在运动过程中多自由度的耦合过程，其贯穿于人类日常生活活动中。通过分析时变运动协同效应有助于理解中枢神经系统对骨骼肌肉系统的控制过程。本研究旨在从人体上肢多关节协同的角速度剖面中发现更多的与运动学相关的生理特性，利用主成分分析算法提取伸够运动过程中基于五个关节自由度的协同模式。实验结果显示：在明确目标后，肩部前屈／后伸和肘部的屈曲／伸展在一段时间内对中枢神经系统执行的控制程序有明显的贡献。进一步表明了伸够运动需要中枢神经系统相对肯定地调度肩部水平外展／内收、肩部内旋／外旋和腕部地尺偏／桡偏，而肩部的前屈／后伸与肘部的屈曲／伸展的调度则取决于不同的目标位置。本文的研究结果为运动康复领域辅助装置的近自然控制策略提供了新的基于中枢神经系统的动态控制依据。

关键词：运动协同；主成分分析；中枢神经系统；肌肉骨骼系统；控制策略

神经肌肉电刺激诱发中指运动及其感觉运动皮层神经响应

许陈莉[1] 赵云[1] 赵威[1] 王星[1,2] 吴小鹰[1,2,3] 侯文生[1,2,3]

[1]（生物流变科学与技术教育部重点实验室，重庆大学，重庆 400044）

[2]（重庆市医疗电子工程技术研究中心，重庆 400044）

[3]（人工智能与服务机器人控制技术重庆市重点实验室，重庆 400044）

目的：基于神经肌肉电刺激（Neuromuscular Electrical Stimulation，NMES）对于外周肌肉与中枢神经的调控基础，探究高频电刺激脉冲持续刺激引起的关节运动学特征的动态变化过程，以及诱发的中枢神经响应，从而为 NMES 应用于精细运动功能恢复的刺激参数设计提供参考。

方法：在固定其他刺激参数（调制频率 1kHz，脉宽 600μs，脉冲数量 6 个，载波频率 40Hz，脉宽 1000μs）前提下，三种时长（1s、0.6s 和 0.4s）的持续刺激脉冲伪随机施加于被试者右前臂指伸肌以诱发出不同运动程度的中指伸展动作，记录了三种刺激时长 NMES 诱发的中指动作的运动范围、运动速度以及感觉运动区的脑电信号，对比分析了 NMES 的持续时长对诱发的手指运动表现及其中枢神经响应变化的影响。

结果：随着刺激时间的持续，手指角度也随着增大，但增加的幅度却逐渐减小；在持续刺激诱发的手指运动过程中，需要经历一个速度快速增大、手指运动范围快速增加的时段，以及一个速度逐渐下降、但运动范围还持续增大的时段；在速度快速增长期后的持续电刺激主要作用是维持手指的持续运动；刺激时长增加，感觉运动皮层诱发的神经活动水平增强。此外，被试者难以正确把握运动量的幅值从而进行精确的复现，但被试者可清晰的感知出由于刺激差异造成的运动差异，而且主动运动与电刺激诱发运动激活的 EEG 频段具有相似性，皆集中于在 beta 频段，而且存在较为相似的脑电能量变化。

关键词：神经肌肉电刺激；精细运动；电刺激持续时长；神经响应

研究生 - 青年优秀论文复赛

基于 fNIRS 的任务导向性上肢训练对卒中患者脑功能的影响分析

霍聪聪[1] 尹佳慧[2] 李慧媛[1] 徐功铖[1] 李文昊[1] 谢晖[1] 李增勇[3*]

[1]（北京航空航天大学生物医学工程学院，北京 100083）

[2]（北京体育大学，北京 100084）

[3]（国家康复辅具研究中心，北京 100176）

近年来，神经影像学的发展使得探究卒中后偏瘫上肢训练相关的神经可塑性变化成为可能。本研究旨在通过近红外脑功能成像（fNIRS）技术研究亚急性期脑卒中患者在任务导向性偏瘫上肢康复训练（HUL）过程中的脑功能重组情况。本实验共招募 25 例首次卒中的右侧偏瘫患者。利用 fNIRS 测量卒中患者在静息态（10 分钟）和偏瘫上肢康复训练状态（10 分钟）时双侧前额皮质、运动皮质和枕叶皮质（PFC、MC、OC）的血流动力学信号。通过计算频段 0.01-0.08 Hz 内的小波振幅（WA）和主信息流（MIF）指数来评估卒中患者皮质兴奋性和有向连接网络重组情况。研究结果发现与静息状态相比，脑卒中患者在 HUL 任务状态下双侧 PFC、MC 和 OC 的 WA 显著增加（$p < 0.004$）。此外，在任务状态下，位于 MC 的通道对的侧偏性指数显著降低。在对任务的响应中，观察到从双侧 MC 到双侧 PFC 的 MIF 显著增加，并且脑区之间有更多的双向耦合连接。这些结果表明，任务导向的 HUL 可以广泛激活双侧前额叶、运动区和枕叶区，尤其是健侧 MC 区。双向连接的增加可能反映了任务态下脑区之间信号传递平衡增加，以协调各个脑区功能满足目标导向的执行任务需求。这些结果支持了 fNIRS 在脑卒中患者特定康复任务中评估皮质功能重组模式的可行性。

关键词：任务导向性训练；近红外脑功能；神经响应；皮层重组模式；脑卒中

基于神经重塑特征的个性化脑机交互康复训练临床实验研究

贾天宇（研究生）[1] 李翀[1*] 季林红[1]

[1]（清华大学机械工程系，摩擦学国家重点实验室智能与生物机械分室，北京 100084）

脑机交互（Brain-machine interaction, BMI）技术将人体运动意图信息转化为机器人控制指令，辅助卒中患者患肢完成主动运动，促进运动感觉神经环路的建立及功能康复。卒中患者的损伤类型、程度及部位极具个体差异性，进而呈现出不同程度的神经重塑。本研究提出一种基于神经重塑特征的个性化 BMI 康复训练方法，标定卒中患者在进行患肢运动尝试时的激活脑区，并以此作为 BMI 系统解码信号的采集区域。本研究共纳入 13 名卒中患者，采用个性化 BMI 康复训练方法完成两周的康复训练，所有入组患者分别在实验前、后进行上肢 Fugl-Meyer(FMU) 量表评分、主动运动下机器人量化评分、脑电信号评估。结果显示，受试者 FMU 评分提升（5.9 ± 4.3），主动运动下机器人量化评分中伸展范围、运动轨迹偏差显著改善（$p<0.05$），人机交互力有一定程度提升 ($p<0.1$)。由于患者损伤的个体差异性，闭环通路的建立应是个性化的，这样可以达到更好的康复效果。

关键词：脑机交互；神经重塑；卒中运动康复；个性化闭环训练

降低的腘绳肌柔韧性可能会增加 Osgood–Schlatter Disease 的患病风险

张雪英[1]（研究生） 蒲放[1,2*1]

[1]（北京航空航天大学，生物与医学工程学院，生物医学工程高精尖创新中心，生物力学与力生物学教育部重点实验室，北京，100191）

[2]（北京航空航天大学，虚拟现实技术与系统国家重点实验室，北京，100191）

本研究的目的是通过研究腘绳肌最优长度的改变对股四头肌肌肉力的影响，探究腘绳肌柔韧性与 OSD 之间的关系。研究选用 4m/s 跑步时的相关数据，以腘绳肌正常长度为基准，在逆向动力学软件 OpenSim 中仿真计算腘绳肌最优长度改变 -30%,-25%，-20%, -15%,，-10%, -5% +5%，+10%, +15%，+20%, +25%，+30% 时胫骨结节处受力变化情况。股四头肌峰值肌肉力和步态周期内的冲量用来表征胫骨结节处受力的变化，SPM 配对 t 检验分析用来表示最优长度变化在步态周期内对胫骨结节受力的影响。腘绳肌最优长度减少时冲量增加，最大改变量为 21.97%，最优长度的增加对冲量变化影响较小。股四头肌肌肉力峰值受腘绳肌最优长度变化的影响较小。SPM{t} 分析结果显示，当最优长度减少量超过 20% 时，胫骨结节处受力在站立相初期或摆动相末期显著增加，其他情况下，胫骨结节处受力无显著改变。 腘绳肌最优长度减少到一定程度会使胫骨结节处受力显著增加，从而增加 OSD 的患病风险，增加的腘绳肌最优长度对胫骨结节受力没有显著影响。

关键词：胫骨结节；最优长度；青少年；腘绳肌拉伸

sEMG signals characterization and identification of hand-movements by machine learning considering sex-differences

Zhang Ruixuan(Graduate students), Zhang Xushu*, He Dongdong, Wang Ruixue, Guo yuan

(College of Biomedical Engineering, Taiyuan University of Technology, China)

Abstract: Developing robust machine-learning algorithm to detect hand-motion is one of the most challenging aspects of prosthetic-hands and exoskeleton design. A method through machine-learning was proposed in this paper to identify and characterize six hand-movements in healthy individuals using multichannel surface electromyography (sEMG) signals, considering sex-difference in muscles. A database of sEMG signals was built with 10 males and 10 females. Time-domain feature values were extracted as inputs of three machine-learning algorithms, k-Nearest Neighbor(k-NN) , Support Vector Machines(SVM), and Artificial Neural Networks(ANN), to identify six hand-movements. Meanwhile, the thumb and index finger motion trajectories were captured by the Vicon Motion Capture System to build a multi-rigid body model and the joint-angles were calculated. Specifically, classification performance of different dataset was compared including three equal samples with 10 males, 10 females, 5 males and 5 females, and two equal samples with and without sex-labeling of 20 subjects. Results demonstrated considering sex-differences can enhance the classification performance of the three machine-learning algorithms. Furthermore, adding sex-labeling to overall dataset can significantly improve the classification effect (k-NN: 92.8% to 94.2% SVM: 94.0% to 94.7% ANN: 97.9% to 98.0%). Future hand-gesture recognition algorithms considering sex-differences could be applied to control systems for prosthetic-hands or exoskeletons.

Key words: hand-gesture; sex-differences; prosthetic hands; exoskeletons; surface electromyography (sEMG)

面向循环系统主动健康与康复工程的微流控芯片系统

那景童[1] 薛春东[2] 李泳江[2] 陈柯洁[2] 王宇[2] 覃开蓉[21*]

[1]（大连理工大学电信学部生物医学工程学院，大连 116024）

[2]（大连理工大学光电工程与仪器科学学院，大连 116024）

目的：设计和构建一种新型微流控芯片系统，实现在体动脉内皮血流动力学微环境的精准模拟。

方法：设计的芯片由细胞培养室及片上后负荷元件组成，利用输入阻抗原理模拟整体血流动力学行为；将微流控芯片结合可编程脉动泵、传感器、CCD 荧光显微镜构建微流控芯片系统；利用系统辨识原理及反馈控制机制提高系统的稳定性及准确性。

结果：所提出的芯片系统可在微流控芯片细胞培养腔内精确加载不同形式的主动健康或康复条件下的机械力信号，实现基于微流控芯片系统的细胞外血流动力学微环境的精确模拟；数值仿真、实验结果以及细胞力生物学测试验证了所构建的微流控芯片系统的有效性。

结论：该系统的成功构建为主动健康与康复工程提供了微型、仿生及智能的研究平台。

关键词：循环系统；主动健康与康复工程；微流控芯片系统；内皮细胞；血流动力学精准模拟

上肢伸够运动中的肌肉协同收缩动态调节研究

呼林涛[1, 2, 3] 吴小鹰[1, 2, 3] 陈欣[3, 4] 侯文生[1,2,3*]

[1]（生物流变科学与技术教育部重点实验室，重庆大学，重庆 400044）

[2]（重庆市医疗电子工程技术研究中心，重庆 400044）

[3]（人工智能与服务机器人控制技术重庆市重点实验室，重庆 400044）

[4]（重庆大学大数据与软件学院，重庆 400044）

肌肉协同是中枢神经系统以较少的自由度调节肌肉群实现关节运动的模式，但目前利用完整周期数据提取的肌肉协同仅能揭示完整运动过程中肌肉协同的平均效应，不能体现肌肉协同在运动过程中的动态变化。本文将单周期运动的肌电信号均匀分为十个不重叠的分段并分别利用非负矩阵分解方法提取了肌肉协同，通过计算各时序分段信号与完整周期信号协同矩阵之间相似度的变化，发现肌肉协同在伸够运动中呈现出“建立—稳定—减弱”的变化，这种变化在低阶协同尤为明显且稳定段提取的肌肉协同与从完整周期提取的肌肉协同高度相似。这一发现不但揭示了肌肉协同在运动中的变化规律，还为仅利用部分稳定段数据提取肌肉协同改善协同提取实时性提供了依据。

关键词：余弦相似度；肌肉协同；非负矩阵分解；肌电信号

基于人 - 机 - 环智能越野马拉松救援系统

叶琳（研究生）[1,2,3] 王珏[1,2,3] 刘天[1,2,3*]

[1]（生物医学信息工程教育部重点实验室，西安交通大学生命科学与技术学院健康与康复科学研究所，陕西西安市 710049）

[2]（国家医疗保健器具工程技术研究中心，广东广州市 510500）

[3]（神经功能信息学与康复工程民政部重点实验室，陕西西安市 710049）

摘要：随着全民越野马拉松热潮，参赛人员的安全问题以及如何及时采取救援措施是大家所关注的重点。本文针对越野马拉松参赛人员出现的安全隐患建立了基于人－机－环智能越野马拉松救援系统，通过实时检

测参赛人员生理信息、融合多源传感器信息、快速生成环境和生理事件、传送给人工智能辅助决策系统并结合语音问答判别做出生理诊断，并在无人机的辅助救援上实现精准定位，以此实现第一时间救援。该系统被验证检测到生理异常时能正常触发语音问答、能正常检测到人员运动状态、能正确识别无人机返回的人员图像状态，并展示各种数据输入封装算法后的返回结果。本系统提高了救援指挥、判断、决策的效率和准确性。

关键词：越野马拉松；智能救援系统；人工智能辅助决策；环境和生理信息

Evaluation of Perceptual Behaviors of Different Sensations for Coding Multiple Sensory Feedback in Hand Prosthesis

Jie Zhang[1], Manzhao Hao[1,2], Fei Yang[1], Wenyuan Liang[3], Aiping Sun[3], Chi-Hong Chou[1,2]
Ning Lan[1,2*]

[1] (Laboratory of NeuroRehabilitation Engineering, School of Biomedical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China)

[2]（Institute of Medical Robotics, School of Biomedical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China)

[3]（National Research Center for Rehabilitation and Technical Aids, Beijing, China）

Abstract: Providing sensory feedback to amputees restores their ability to perceive task execution of a hand prosthesis. Evoked tactile sensation (ETS) elicited by transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) is promising to convey digit-specific sensory information to amputees naturally and non-invasively. Fitting ETS-based sensory feedback to amputees may entail customizing the coding of multiple sensory information for each stimulation site. This study was to elucidate the consistency of perceptual behaviors by TENS at multiple stimulation sites in amputees retaining evoked tactile sensation.

Materials and methods: Five transradial amputees with ETS and fourteen able-bodied subjects participated in this study. Surface electrodes with small size (10 mm in diameter) were adopted to fit the limited areas of projected finger map (PFM) on the forearm stump of amputees. Effects of stimulus frequency on sensory types were assessed, and the topographic map of perceptual threshold for sensations was characterized. Rapid assessment of modulation ranges of pulse width at fixed amplitude and frequency were also determined for sensory coding. Sensitivity of vibration and buzz sensations was measured using the distinguishable difference in stimulus pulse width. Buzz sensation was demonstrated for encoding contact force at five fingers of each amputee.

Results: Vibration and buzz sensations were consistently evoked at 20 Hz and 50 Hz as dominant sensation modes in all amputees and able-bodied subjects. Perceptual thresholds of different sensations followed a similar inverse relation between stimulus amplitude and pulse width. The averaged distinguishable difference in pulse width was 12.84 ± 7.23 μs for vibration and 15.21 ± 6.47 μs for buzz in able-bodied subjects, and 14.91 ± 10.54 μs for vibration and 11.30 ± 3.42 μs for buzz in amputees. With buzz coding of tactile feedback, five amputees were able to report perception of individual fingers with an overall accuracy of 77.85%. **Conclusion**: Comprehensive evaluation indicated that perceptual behaviors of dominant sensations by TENS were consistent for coding multi-mode sensory feedback in all amputees preserving evoked tactile sensation. Results also led to a fast protocol for individual assessment and sensory coding strategy. Personalized sensory coding facilitates fitting ETS-based multi-site and multi-sensory feedback to amputees.

Key words：sensory feedback; evoked tactile sensation; hand prosthesis; modulation of sensory perception; transcutaneous electrical nerve stimulation

卧式下肢康复机器人的研究进展

潘飞羽（研究生）[1] 杨孟辉 [1] 王人成 [1*] 郝智秀 [1]

[1]（清华大学摩擦学国家重点实验室智能与生物机械分室，北京 100084）

随着我国人口老龄化的发展，失能、半失能老人数量不断增多，他们大多因活动障碍而长期卧床。传统肢体功能障碍的康复治疗主要依赖于治疗师一对一的徒手训练，而我国康复护理专业人员缺乏，无法满足需求。为解决这一问题，康复机器人技术发展迅速。卧式下肢康复机器人适用于卧床患者的早期康复，分为床旁与床式两大类。本文调研了国内外卧式下肢康复机器人的相关产品，对其结构特点进行分析，总结其发展过程，并对其未来发展提出展望。

关键词：康复训练；卧床；下肢康复机器人；人口老龄化

Characterization of Bimanual Cyclical Tasks from Single-trial EEG-fNIRS Measurements

Jiang Yichuan[1] (Graduate Student) Ma Rui[1] Qi Shichen[1] Sheng Ge[2] Sun Ziqi[1] Li Yishu[1]

Song Jongbin[1] Zhang Mingming [1*]

[1] (*Department of Biomedical Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China.*)

[2]（*School of Biological Science and Medical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China.*）

Abstract: Objective. Robot-assisted bimanual training is promising to improve motor function and cortical reorganization for hemiparetic stroke patients. Closing the rehabilitation training loop with neurofeedback can help refine training protocols in time for better engagements and outcomes. However, due to the low signal-to-noise ratio (SNR) and non-stationary properties of neural signals, reliable characterization of bimanual training-induced neural activity from single-trial measurement is challenging. Materials. In this study, eight human participants were recruited conducting robot-assisted bimanual cyclical tasks (in-phase, 90° out-of-phase, and anti-phase) when concurrent electroencephalography (EEG) and functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) were recorded. Methods. A unified EEG-fNIRS bimodal signal processing framework was proposed to characterize neural activity induced by different types of bimanual cyclical task, in which novel artifact removal methods were used to improve the SNR and the task-related component analysis (TRCA) was introduced to increase the reproducibility of EEG-fNIRS bimodal features. The multi-channel features were then transformed into low dimensional indicators for quantitatively characterizing bimanual training-induced neural activation. Results. The LDA classification results of three bimanual cyclical tasks revealed a good discrimination ability of EEG-fNIRS bimodal indicators (88.1%), which was higher than that using EEG (76.5%) or fNIRS (81.0%) alone. Conclusion. The results support the proposed method as a feasible technique to characterize neural activity during robot-assisted bimanual training.

Key words：bimanual cyclical tasks; electroencephalography (EEG); functional near-infrared spectroscopy (fNIRS); task-related component analysis (TRCA); single-trial analysis

抑制上肢补偿运动的虚拟现实康复系统的设计

肖博文[1] 侯文生[1,2,3] 陈琳 吴小鹰[*]

[1]（生物流变科学与技术教育部重点实验室，重庆大学，重庆 400044）

[2]（重庆市医疗电子工程技术研究中心，重庆 400044）

[3]（人工智能与服务机器人控制技术重庆市重点实验室，重庆 400044）

摘要：本文针对于 Brunnstrom III 期以上具有一定运动能力的康复人群利用视觉捕捉传感器 Kinect 开发了虚拟现实康复系统。医师用户可通过系统的管理平台了解病人信息，制定和调整训练计划。患者用户可通过 Kinect 传感器实现对虚拟场景中角色的体感控制，并根据场景引导在完成游戏任务的过程中完成训练动作。系统实时采集用户的运动数据并监测用户是否存在补偿运动，系统会自适应地进行演化以引导患者自我纠正补偿状态，并在训练完成后根据任务完成情况和运动轨迹对患者的康复训练进行评估。本文同时还开展了两项实验以验证运动范围参数的准确性和虚拟引导的有效性，证明本文研究的虚拟现实上肢运动康复训练系统具有可靠性，系统运行稳定并能引导用户进行合理的虚拟康复训练，帮助患者改善康复效果。

关键词：Kinect；虚拟现实；补偿监测；目标引导

基于 fNIRS 的长时程运动技能学习诱发的神经可塑性响应

冯帅[1, 2, 3] 侯文生[1, 2, 3] 吴小鹰[1, 2, 3] 陈琳[1, 2, 3*]

1（生物流变科学与技术教育部重点实验室，重庆大学，重庆 400044）

2（重庆市医疗电子工程技术研究中心，重庆大学，重庆 400044）

3（人工智能与服务机器人控制技术重庆市重点实验室，重庆大学，重庆 400044）

长时程运动技能学习因其能够更好的诱发神经可塑性而被广泛研究，但截至目前仍然缺乏对该过程的详细探讨。为此，本研究使用 fNIRS 技术对 8 天的视觉－运动跟踪任务进行连续扫描，探究长时程运动技能学习过程中与血氧相关的神经可塑性的动态响应。结果发现，随着跟踪技能学习从陌生（学习分数低）到熟练（学习分数高且稳定保持），各 ROI（PFC、PMC、SMA、preSMA 和 SMC）皮质血氧激活呈现出先增加后减少至稳定的趋势；多个区域在峰值激活日的血氧激活显著高于第 8 天。并且对第一天、峰值激活日和第 8 天以 LSMC 为种子点进行的 FC 统计发现，LSMC 与其它区域间的相互作用发生了功能性重组，并且与同侧 PMC、SMA 及其自身内部之间的功能作用表现出增强趋势。

关键词：运功学习；皮质激活；功能连通；神经可塑性；fNIRS

面向糖尿病足溃疡早期预警的两侧足底血流调节差异性研究

段艺杰（研究生）[1] 任韦燕[2] 蒲放[1*]

1（北京航空航天大学生物与医学工程学院，北京 100000）

2（国家康复辅具研究中心，北京 100000）

目的：本研究基于皮肤血流振荡的小波分析，旨在探讨一种糖尿病足溃疡早期症状的识别和诊断的有效方法。方法：利用激光多普勒血流仪同时记录了 12 名糖尿病患者和 18 名健康人左右两足第一跖骨区域在基线阶段和行走后恢复阶段的皮肤血流量，并对其进行 Morlet 小波转换。分别计算了五个特征频率区间（代谢源性、神经源性、肌源性、呼吸源性和心源性）的相对小波幅值，以比较糖尿病患者左足和右足对应部位微

血管的多源性血流调节活动的差异。结果：糖尿病患者在行走之后，其左右两足在代谢源性特征频率区间的相对小波幅值之差显著高于健康人（P<0.05）。结论：血流振荡的小波分析可发现糖尿病患者早期局部组织的多源性血流调节差异，研究结果有助于开发一种无创监测和识别糖尿病足溃疡早期症状的有效方法。

关键词：糖尿病足溃疡；皮肤血流量；小波分析；多普勒

外部约束对单侧大腿截肢坐姿滑雪运动员伤病预防的影响

刘凯奇（研究生）路益嘉 常婧 李银波 季林红 *

（清华大学 机械工程系，摩擦学国家重点实验室智能与生物机械分室，北京 100084）

目的：主要研究单侧大腿截肢坐姿滑雪运动员躯干肌肉激活的不对称系数，并且研究增加残肢额外约束对躯干肌肉激活的影响。

方法：10 名单侧大腿截肢坐姿滑雪运动员和 10 名健全人参与此项研究。在前倾后仰、坐姿旋转和模拟滑雪三项运动中，测量腹直肌和腹外斜肌的表面肌电（sEMG）并计算分析不对称系数 SI。对大腿截肢的运动员，在残肢腿增加额外约束后，重复上述实验过程。

结果：截肢运动员两侧腹直肌和腹外斜肌肌电激活度在三项运动中均有明显差异（p<0.05），而健全人两侧肌肉激活则无明显差异。残肢增加额外约束后，截肢运动员两侧躯干肌肉激活不对称系数降低（p<0.05）。

结论：单侧大腿截肢运动员躯干左右侧肌肉有显著不对称性，容易增加运动损伤的风险。残肢的额外约束能够在一定程度上降低躯干肌肉激活不对称系数，对提升运动表现和降低运动损伤有重要意义。

关键词：肌电；不对称；约束；高山滑雪；单侧大腿截肢

踝足矫形器人机耦合仿真刚度对步态生物力学影响的评价方法

陈亚茹 [1,2] 王家兴 [1] 梁洪宇 [1] 刘蓉 [1*] 刘海斌 [2*] 张中来 [1]

[1]（大连理工大学生物医学工程学院 辽宁省集成电路与生物医学电子系统重点实验室，大连 116024）

[2]（大连理工大学体育与健康学院，大连 116024）

为了更好地评价踝足矫形器（AFO）的人机工效，本文提出了一种基于 AFO 人机耦合仿真刚度对步态生物力学影响的评价方法。首先，评测 AFO 的力学特性，量化 AFO 刚度；其次，采集 30 名受试者在正常与穿戴两种不同刚度 AFO（AFO1，AFO2）行走的运动学及动力学数据；最后仿真计算定量地对比分析 AFO 刚度对行走中下肢关节角度、关节力矩与肌肉力的变化。实验结果表明，AFO1，AFO2 均会显著地增加支撑相踝关节背屈峰值角度、膝关节屈曲峰值角度、髋关节伸展峰值角度、比目鱼肌与腓肠肌峰值肌肉力，显著地降低踝关节跖屈峰值角度、髋关节屈曲峰值角度与髋关节屈曲峰值力矩。本文所提出的 AFO 人机耦合仿真方法可以实现不同刚度对步态生物力学的影响的定量评估，也适用于评估和优化其他辅助器具的人机工效。同时，该研究具有一定的临床意义，为 AFO 的选配、适配、优化设计提供了方法指导。

关键词：人机耦合；踝足矫形器；刚度；生物力学；OpenSim

S11
智慧医院与健康医疗大数据

特邀报告

医学装备智能化发展与挑战

王才有
中国医院杂志社社长，中国医院管理协会信息管理专业委员会主任委员
Email: wcy8192@163.com

当前随着新兴信息技术快速发展，数字和人工智能技术融入生产和社会经济生活各个领域。医疗设备数字化和智能化发展成为一种必然趋势。这种设备数字部件与实体部件的融合使其形态发生了变化。新形态的数字医疗设备（或医疗软件 (SaMD，软件形态的医疗设备) 利用物联网、大数据、AI 和云计算等新兴信息技术，使成本得以降低，诊断治疗更加精准和可靠。但于此同时也对医学装备企业的研发生产，政府部门的监管审批，及医疗机构的使用和管理带来新的挑战。为此，医学工程学与医学信息学领域须进一步深度融合，创新发展，以适应装备智能化提出的新挑战。讲者从发展趋势，面临问题挑战和应对思路三个方面对相关问题进行论述。

医学人工智能“乐高”计划——医学图像密集分割技术算法 Visionome 和通用型眼前段疾病智能诊断系统的研发及转化应用

林浩添
中山大学中山眼科中心
Email: haot.lin@hotmail.com

图像标注是所有人工智能算法感知世界的基础，但既往单一图片级二分类标注方法会损失大量有效解剖学信息，因此需要大量医学图像样本进行训练，限制了许多疾病学科医学人工智能算法的发展和应用。我们基于解剖结构分割和病理特征，利用“乐高”积木拼插组合的原理对医学图像进行分割。我们建立了 Visionome 密集标注标准流程，组织 25 人专家标注团队将 1,772 张包含角膜病、胬肉、白内障、结膜炎等感染、环境、年龄相关性疾病的眼前段图像，按照 14 种解剖结构进行区域分割，对于 6 种病变部位按照 54 种病理性特征进行密集标注，最终得到了 13,404 个解剖结构标签和 8,329 个病理特征标签，并基于此训练出可识别多种眼前段疾病的智能诊断系统。与传统图像级分类标签训练的算法相比，Visionome 算法显示出更好的诊断性能，在外部验证与前瞻性收集的临床数据集中均表现出了良好的诊断性能。

学科交叉范式下的医学数据应用新实践

梁会营
广东省人民医院
Email: lianghuiying@hotmail.com

学科交叉是科学发展的新议题，是纠正学科过分分割的必然趋势。报告将从学科交叉范式的角度，深入探讨以数据为关键要素的医学数据应用新实践，通过分享医学数据与人工智能等技术算法相互融合推动医学数据价值释放的真实案例，阐释医学、数据、算法在交叉中的各自作用。

医疗文本处理前沿进展

汤步洲
哈尔滨工业大学（深圳）
Email: tangbuzhou@hit.edu.cn

医疗 NLP 是解锁临床医疗文本中关键医疗信息和知识的钥匙，是 AI 落地医疗领域的必要技术。近年来，随着医疗 AI 的发展，医疗 NLP 受到越来越多的关注，真实的医疗应用场景需求一方面为 NLP 技术提供了验证场所，另一方面也引申出一些具有特色的 NLP 问题。本文将从真实的医疗应用场景需求出发，对 NLP 问题和技术进行简要介绍，对医疗 NLP 当前遇到的问题和面临的挑战进行总结，并展望未来医疗 NLP 的发展方向。

老龄化科技应对的智慧医养模式与关键技术

黄伟红
中南大学湘雅医院
Email: whuangcn@qq.com

随着我国人口老龄化问题日益凸显，老年人特别是农村老年人对医疗和养老的需求日益增加。为消除老年人就医“数字鸿沟”，把实事办到“一老一小”的心坎上，中南大学湘雅医院、国家老年疾病临床研究中心（湘雅）利用 5G 物联网、可穿戴设备、云平台等新一代信息技术，在湖南省卫健委、民政厅、工信厅、老龄办的支持下，联手长沙县打造了一个上下级联动、线上下单线下服务、覆盖“宣教 - 保健 - 诊疗 - 康复 - 照护”全流程的“智慧健康养老”服务新模式，为老年人主动提供上门的医疗护理康复服务，解决了医养“最后一公里”难题，科技赋能“老有所养”，其落地实施经验已获得民众和专家认可，在长沙县内所有乡镇街道全面推广。

互联网 + 全病程管理与数字疗法

应莉
微脉技术有限公司
Email: 228902384@qq.com

微脉互联网 + 全病程管理是指以院级随访为服务基础，通过互联网、大数据、AI 等新技术，分层次服务等新模式、全病程管理等新手段，与医疗服务深度结合，实现对患者全生命周期的连续性管理服务，创造更多医疗价值的同时，更好地满足患者个性化需求，持续提升医院的精细化管理能力。从数字疗法联盟（DTA）发布的数字疗法产品十条基本原则来看，互联网 + 全病程管理本质上可以理解一种为患者提供双向互动动态医嘱的管理方式，微脉正通过开展真实世界电子病历研究，论证互联网 + 全病程管理是一种为患者提供循证治疗干预的疗法，即数字疗法。

专题口头报告

A deep learning method for atrial fibrillation detection from paper-based ECG

Dongming Yin[1]、Guodong Wei[1]、Deyun Zhang[1]、Shijia Geng[1]、Jie Yu[1]、Zhaoji Fu[2]、Shenda Hong*[3]

1. 安徽心之声医疗科技有限公司

2. 中国科学技术大学管理学院

3. 北京大学健康医疗大数据国家研究院

Objective: Atrial Fibrillation (AF) is one of the most life-threatening cardiovascular system diseases. With a high incidence, AF can lead to coronary heart disease, heart failure, and other lethal disorders. Detecting AF in time can provide appropriate intervention treatments that save people's lives. Recently, detecting AF from Electrocardiogram (ECG) signals with deep learning algorithms has become a popular research topic. However, in the real world, people usually only have access to paper-based ECG images instead of the raw ECG signals. As a result, although many studies have shown outstanding performances of deep learning models on ECG signals for different tasks, it is difficult to turn the research results into practical applications to help the doctors and patients directly. In this study, we aim to develop a deep learning method for AF detection from pictures of paper-based ECG recordings, and implement an application that is capable of both ECG image acquisition (using a mobile phone camera) and the AF detection deep learning model inference (with a cloud service).

Methods: This work consists of three steps: pre-processing ECG image data, developing the deep learning algorithm for AF detection, and implementing the application.

At first, we preprocess the pictures of paper-based ECG recordings which have been taken with mobile phone cameras. In order to remove the red mesh grids in the image background, we apply the OTSU algorithm to adaptively binarize the red channel of the RGB image. After that, we remove the noise with the 8-connected component labelling algorithm, and perform the image opening operation using OpenCV to further sharpen the ECG waveforms in the image.

For the second step, we construct a deep neural network model. Since it takes time and effort to collect enough paper-based ECG training samples in the real world, we adopt a "pre-training and fine-tuning" strategy. Firstly, we build a 152-layer deep residual neural network named ResNet-152, which has shown a higher accuracy compared with other popular deep neural networks such as Inception-v3 and VGG under the same number of training iterations. We initiate the parameters of the entire model except for the last fully connected layer with parameters from an ImageNet model that has been pre-trained on more than 14 million images. Finally, we fine-tune the model based on real-world paper-based ECG data. The fine-tuning dataset is based on standard 12-lead ECG signals collected from 11 tertiary hospitals in China, that are publicly available and provided by the 2018 China Physiological Signal Challenge (CPSC-2018). We plot the middle 10-seconds of each ECG signal and print them as paper-based ECG records. We used 80% of the samples for fine-tuning and 20% for testing.

Finally, we develop a mobile application. We provide users with an APP in the form of a WeChat applet. A user can take a picture of the paper-based ECG report using the mobile phone camera, and then the APP

sends the image to the cloud server. The aforementioned deep learning algorithm deployed in the cloud server detects AF and returns the results to help doctors and patients for decision making.

Results: Our AF detection deep learning model for ECG images gives F1 score of 0.8774, accuracy of 0.8908, and recall of 0.8942 on the testing set. The performances are comparable with related works of AF detection from ECG signals.

Conclusion: This work focuses on an overlooked problem - deep learning methods for AF detection from paper-based ECG. We deploy our deep learning algorithm for AF detection as a cloud service, and develop a WeChat applet to take pictures of paper-based ECG records and call the service. The results show the effectiveness of our method, and indicate the prospects of our real-world application.

Key words: Paper-based ECG; Deep neural network; Atrial Fibrillation detection

基于 U-Net 的超声乳腺肿瘤分割网络

陈曦、刘奇 *

四川大学

目的：乳腺超声图像具有肿瘤大小形态多变、阴影较多、边界模糊等特点。经典 U-Net 的乳腺肿瘤分割结果与标注图像出入较大。对此，本文提出其改进网络 Mix U-Net。为了提升网络的分割结果，本文致力于基于 U-Net 网络的改进。

方法：该网络在 U-Net 结构中引入 Mix block 以及 Res path。Mix block 通过空洞卷积通路提高网络区分目标以及背景的能力，并通过级联该通路中各卷积层输出，融合普通卷积通路的输出来提取多尺度特征信息。Res path 的改进部署使网络中收缩路径与扩张路径之间对应特征信息的传递更加有效。

结果：该改进网络在公开的超声乳腺肿瘤分割数据集上进行了测试，实验表明，Mix U-Net 分割结果优于其它网络且参数量较少。相较于 U-Net，本文所提网络分割结果在所有评价指标上均有提升。其中 IoU、DSC 分别提升 0.1541、0.1273。在实际的分割结果中，本文所提网络也更能找准目标，且分割的结果更逼近标签图。

结论：鉴于上述网络存在的优缺点，本文针对超声乳腺肿瘤分割任务特点提出一种改进 U-Net 结构的网络。其主要优势有：

（1）Mix block 特征提取模块同时兼具更强的多尺度特征提取能力以及更强的区分目标和背景能力。

（2）改进部署后的 Res path 使收缩路径与扩张路径之间对应特征信息的传递更加有效。

（3）对乳腺肿瘤的分割精度优于经典分割网络，且参数量较少。

经试验验证，本文所提基础模块确实有效，改进网络结果确实有提升。

关键词：乳腺肿瘤分割；U-Net；深度学习

基于多通道循环神经单元的生物信号无损压缩技术

陈乾豪[1]、吴文琪[1]、罗威[2]、余锋[1]、马振国*[1]

1. 浙江大学

2. 香港中文大学

目的：随着近年来生物传感技术的高速发展与医疗信息化的逐渐普及，大量生物医学信号被实时快速采集并分析以反映生命体的健康信息。为了更好地处理、传输及存储生物医学信号，一个高效的无损压缩技术至关重要。生物医学信号经模数转换器（ADC）后被量化为同等于 ADC 分辨率位数的二进制数字编码信号。然而，通用无损压缩技术（如 Gzip 等）无法根据使用的 ADC 分辨率进行适应性设置，从而破坏单点数据完整性并进一步降低压缩效率。而且，通用无损压缩器一般只对信号流点间分布进行建模，忽略了点内各位的分布。因此，解决上述这两个问题可以有效提升生物医学信号压缩性能。

方法：本文提出了一个专用于生物医学信号建模的多通道循环神经单元（MCRU），并将其结合算数编码器，实现了一个基于上下文的无损压缩器。该压缩器每次取与 ADC 分辨率相同位数的数据进行压缩，从而保证单点数据完整性，规避了数据错位问题。在预测下一个数据点的概率分布时，MCRU 将数据点对应二进制位分成对应于特定精度范围的若干组，再由低位向高位依次进行预测。基于此，本文提出的 MCRU 同时兼顾了数据流的点间分布及点内分布。此外，MCRU 无需预训练，只需保证数据压缩和解压过程中采用相同的模型初始化。

结果：将本文提出的基于 MCRU 的上下文无损压缩器应用在不同的生物医学信号公开数据集，并选取部分信号与其他主流无损压缩器比较压缩比。采用不同初始化参数进行多次实验之后，与 Gzip 和 PAQ 压缩器相比，在 MIT-BIH 心律失常数据集上，压缩后的文件大小分别减小了 62.7% 和 14.4%；在睡眠多导图数据集 sleepEDFx 上，文件大小分别减小了 32.1% 和 5.0%。

结论：本文提出的基于 MCRU 的上下文无损压缩器，支持单步压缩位数用户自定义设置，利用信号流点间与点内分布信息建模，在多种生物医学信号的压缩任务上优于其他主流的无损压缩器，有效地提升了生物医学信号的压缩性能。

关键词：生物医学信号；无损压缩；循环神经网络

护理大数据在临床实践中的应用进展与启示

李靖、胡建中、岳丽青、黄伟红*

中南大学湘雅医院

目的：护理是一门以多学科理论为基础，研究维护、促进、恢复人类身心健康的护理理论、知识、技术及其发展规律的实践性科学，作为一门独立学科在医学领域中发挥着举足轻重的作用。随着大数据信息时代的到来，人们越来越关注如何把信息技术运用到工作、生活中，海量大数据在临床实践中也有比较广泛的应用，尤其在洞察数据价值、预防疾病蔓延、杜绝医疗浪费、避免高昂医疗费用产生等方面发挥着巨大作用，成为使医疗护理更加高效的工具。

方法：2016 年 11 月 18 日，我国卫生计生委提出的《全国护理事业发展规划（2016 年 -2020 年）》明确表示，信息化技术的迅速发展为推动护理学领域创设了有力条件 [2]。为进一步展望未来我国护理大数据在临床实践中的研究领域与发展方向，本文综合目前国内外护理大数据及其在临床实践中的应用现状并加以分析。

结果：“护理需要大数据，大数据需要护理”[1]。2014 年 6 月，在国际护士理事会大数据与转化医学研讨会上，明确提出未来护理工作的重点是在大数据背景下转变护理实践、科研和教育，培养获取和整合数据和信息的能力。

结论：护理学大数据是时代发展的必然趋势。护理人员应该不断学习，并坚定信念，通过数据为护理工作的创新保驾护航，促进护理学大数据的发展，实现护理工作的发展进步。但是，大数据本身具有复杂性，只有数据实现可视化，才能完美呈现护理学大数据，希望今后可视化护理学大数据能够得到实现与发展。护理学大数据时代对护理学发展具有助力作用，有助于解决现阶段护理工作中存在的问题，提升护理科研、精准护理以及循证护理质量，为病患生命安全提供保障，对患者身体健康具有促进作用 [49]。护理学大数据在保障患者安全与提升护理水平等领域极具重要作用。

关键词：护理大数据；临床；应用

青年学者 - 青年优秀论文复赛

Dual-Task Motor Performance of the Upper Extremity Using Video Processing: Toward Tele-Assessment of Cognitive Function

Changhong Wang[1] Mohsen Zahiri[2] Ashkan Vaziri[2] Bijan Najafi[2*]

[1] (*School of Biomedical Engineering, Sun Yat-Sen University, Shenzhen 518000, China*)

[2]（*Michael E. DeBakey Department of Surgery, Baylor College of Medicine, Houston 77001, USA*）

Abstract: Traditional cognitive assessment tools, such as neuroimaging and neuropsychological testing, have limitations of cost, access, and time-consuming for the use in telehealth applications. Dual-task motor performance (e.g. gait) can detect cognitive impairment and assess cognitive decline risk. However, space restriction and safety factor limit its applications in remote assessment without supervisions of professionals. Therefore, a quick, objective, and reliable cognitive assessment tool which can be used in telehealth applications to triage high risk individuals is beneficial to facilitate early detection and long-term tracking of cognitive decline. Our previous studies indicated that dual-task upper-extremity motor performance quantified by a single wrist-worn sensor was correlated with both motor and cognitive function, and hence they had a potential to be used as a tool to measure subtle cognitive decline and to identify older adults who are at risk of incident dementia. To improve its convenience in telehealth applications, in this paper we proposed a video processing-based approach to quantify cognitive performance and cognitive decline risk using a 20-second repetitive elbow flection-extension test, called video-based motoric-cognitive meter (MCM). The results showed a good agreement ($r \geq 0.530$ and $ICC_{2,1} \geq 0.681$) between the derived dual-task upper-extremity motor performance from the proposed video-based MCM and our previously clinically validated sensor-based MCM. We also observed moderate or strong correlations with statistical significance ($p < 0.05$) between measures of video-based MCM and clinical cognitive scale (MMSE), i.e. the older participant with a better cognitive function had a better dual-task upper-extremity motor performance. This study shows a promising future to track cognitive decline and to identify older adults with high risk to dementia via telehealth.

Key words：dementia; cognitive decline; telehealth; mobile health; video processing

伏立康唑肝毒性预测模型——基于真实世界的研究

王昱[1] 马静[1] 田雨[2] 周天舒[1] 李劲松[1,2*]

[1]（健康医疗大数据研究中心，之江实验室，杭州 311121）

[2]（生物医学工程与仪器科学学院，电子病历与智能专家系统教育部工程研究中心，生物医学工程教育部重点实验室，浙江大学，杭州 310012）

目的：基于真实世界数据探寻伏立康唑肝毒性的发生与血药浓度的关系，建立伏立康唑肝毒性发生预测模型。

方法：基于之江实验室多中心智能医学信息平台，收集某三甲医院 2019 年 4 月至 2020 年 6 月期间接受

伏立康唑血药浓度监测的患者资料，分析肝毒性的发生与用药剂量、用药时长、血药浓度之间的关系；识别与伏立康唑肝毒性相关的临床因素，基于梯度提升决策树算法构建肝毒性发生预测模型。

结果：共收集 132 名患者临床数据，血药浓度检测数据 357 条。肝毒性组与对照区之间伏立康唑累计用药剂量、用药时长具有显著差异（$p<0.0001$），肝毒性的发生与日均用药剂量和血药浓度监测结果无关。12 个临床因素被认为与伏立康唑肝毒性发生具有重要关系，肝毒性发生预测模型在独立验证数据集上达到 AUC0.95 的水平。

结论：研究结果充分证明了方法的有效性，为伏立康唑临床科研用药安全相关的临床决策提供了启示。

关键词：伏立康唑；肝毒性；真实世界研究；预测模型；药物不良反应

基于 PU Learning 的表型挖掘技术识别肺癌复发患者

池胜强 [1,2] 李雪瑶 [1] 田雨 [2] 周天舒 [1] 李劲松 [1,2*]

[1]（健康医疗大数据研究中心，之江实验室，杭州 311121）

[2]（生物医学工程与仪器科学学院，电子病历与智能专家系统教育部工程研究中心，生物医学工程教育部重点实验室，浙江大学，杭州 310012）

目的：临床队列研究需要检索和筛选入组患者。传统方法是通过收集特定疾病患者的临床数据进行的。然而，随着医疗数据的快速增长，我们需要大规模地识别具有某种疾病或表型的患者群体，这是具有挑战性的，因为疾病或表型的诊断，会由于医疗机构的不同有着不同的表达或缺失。

方法：本文提出一种基于表型挖掘的方法，以肺癌复发患者识别为例，利用 PU Learning 方法构建肺癌复发患者识别模型，仅使用部分有标签的肺癌复发患者，高效筛选电子病历中的肺癌复发患者。

结果：在给定的复发率下，模型识别已知正样本的准确率达 95% 以上。在模型识别的头部高风险患者中，识别准确率达 71%，可以有效减少病历查找工作量达 18%-49%。

结论：研究结果充分证明了方法的有效性，为临床科研智能辅助工具的开发提供了参考。

关键词：表型挖掘；PU Learning；肺癌复发；电子病历；临床科研

基于医学社交媒体数据的多模态知识图谱构建

王华琼 钱归平 秦爱红 闫燕勤

（浙江传媒学院媒体工程学院，杭州 310018）

医学社交媒体数据日益积累，包含了结构化数据、文本、图片、视频等大量不同模态的信息。本论文提出了一种基于医学社交媒体数据的多模态知识图谱构建方法。现有医学本体采用网络本体语言 OWL 和语义网规则语言 SWRL 进行语义化表达，在此基础上，对医学社交媒体数据中的多模态知识进行分析和提取，提炼出领域知识、文本知识和视觉知识三大类模态信息，建立现有本体与这三大模态知识之间的语义关联，提高知识图谱的完整性和智能性。结果以湿疹为例展开分析，领域知识采用正则表达式进行解析并通过 Jena 语义框架写入语义数据模型；文本知识分析包括关键词词频统计和情感极性分析，计算治疗湿疹的激素类药物的推荐程度并存储到知识图谱中；视觉知识基于细粒度视觉实体抽取，建立视觉知识与实体之间的关联。多模态知识融合，有效提高医学专家系统的智能性。

关键词：知识图谱；多模态；湿疹；本体构建；医学数据分析

基于电子病历数据的伏立康唑肝毒性表型挖掘

王宇清[1] 池胜强[1] 周天舒[1] 田雨[2] 李劲松[1,2*]

[1]（健康医疗大数据研究中心，之江实验室，杭州，311121）

[2](生物医学工程与仪器科学学院，电子病历与智能专家系统教育部工程研究中心，生物医学工程教育部重点实验室，浙江大学，杭州，310012)

本文介绍了一种面向伏立康唑肝毒性患者识别的表型挖掘流程。在提取全量电子病历数据后，经过特征筛选得到 52 个特征用于模型训练。同时本研究列举了不同的肝毒性标准，结合伏立康唑肝毒性在中国人群中的发病率来选择伏立康唑肝毒性的金标准，为模型训练提供标签。该模型能够从电子病历中识别出肝功能检测缺失但有较高概率发生伏立康唑肝毒性的患者，阳性预测值为 0.684。文章最后列举出模型的重要风险因素和保护因素。

关键词： 伏立康唑肝毒性；表型挖掘；电子病历；金标准

基层卫生器材小修及维护保养系统的设计研究

袁田，胡红波*

（桂林联勤保障中心药品仪器监督检验站，广州，510080）

目的：为协助基层卫生单位加强卫生器材全寿命周期管理，完善卫生器材维修及维护保养管理机制，设计研发一套卫生器材小修及维护保养系统。

方法：研究分析当前基层卫生器材维保工作落实不佳、管理手段落后的主要原因，讨论卫生器材管理人员的遇到的能力困难与主要诉求，针对性地利用成熟的技术手段设计开发卫生器材信息系统。

结果：通过综合研究分析，设计了一套基于 B/S 结构的卫生器材小修及维护保养系统，该系统通过扫码枪扫描二维码实现信息在数据库与卫生器材之间的流动，集成个性化维保提醒与技术文档指导功能，有效提高维保业务信息化水平。

结论：系统以信息化手段弥补了基层卫生单位卫生器材管理人员能力不足，减少管理难度，系统建立后卫生器材维护信息化水平、数据分析能力、工作效率将有较大提高。

关键词：卫生器材；维护保养；信息系统

研究生 - 青年优秀论文复赛

Multimodal neuroimaging reveals aberrant trajectory of brain age occurring at youth in schizophrenic patients

Huang Jiayuan[1], Wu Kai[1-8*]

[1] (Department of Biomedical Engineering, School of Material Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

[2] (The Affiliated Brain Hospital of Guangzhou Medical University, Guangzhou Huiai Hospital, Guangzhou 510370, China)

[3] (Guangdong Engineering Technology Research Center for Translational Medicine of Mental Disorders, Guangzhou 510370, China)

[4] (Guangdong Engineering Technology Research Center for Diagnosis and Rehabilitation of Dementia, Guangzhou 510500, China)

[5] (National Engineering Research Center for Tissue Restoration and Reconstruction, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

[6] (Key Laboratory of Biomedical Engineering of Guangdong Province, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

[7] (Institute for Healthcare Artificial Intelligence Application, Guangdong Second Provincial General Hospital, Guangzhou, Guangdong 510317, China.)

[8] (Department of Nuclear Medicine and Radiology, Institute of Development, Aging and Cancer, Tohoku University, Sendai, Japan 980-8575)

Abstract: Accelerated brain aging in schizophrenia (SZ) have been widely reported. However, the trajectory of brain age (BA) in SZ patients have not been well-documented using multimodal neuroimage data. In this study, we recruited 137 SZ patients and 202 normal controls (NC) aged from 20 to 60 and acquired their structural magnetic resonance imaging (sMRI), diffusion tensor imaging (DTI), and rest state-functional magnetic resonance imaging (rs-fMRI). For each participant, BA was estimated from multimodal neuroimage data by using a linear multiple regression. We found that the correlation between the brain age gap (BAG) and chronological age (CA) was fitted by a quadratic curve. The CA of the peak of the quadratic curve was used to divide all subjects into a youth group and a middle age group. We found that the BA matched well with the CA in both the youth and middle age groups in NC, but not in SZ. Moreover, SZ patients exhibited accelerated brain aging in the youth group, but not in the middle age group. Our results indicated an aberrant trajectory of BA in young SZ patients and provided new insights into the pathophysiological mechanisms of SZ.

Key words: schizophrenia; accelerated brain aging; brain age gap; multimodal neuroimage

基于云 - 边 - 端架构的多中心医疗设备物联网云平台的构建及应用

王瑞青[1,5]（研究生）曹德森[2] 张政波[3] 梁洪[3] 王璨[4] 何昆仑[1*]

1（解放军总医院医学大数据研究中心，北京，100000）

2（解放军总医院医学工程科，北京，100000）

3（解放军总医院医学人工智能研究中心，北京，100000）

4（解放军总医院生物工程研究中心，北京，100000）

5（解放军陆军第 82 集团军医院医学工程科，保定，071000）

目的：建立医疗设备物联网云平台，采集、整合多中心的医疗设备数据，实现对设备数据的实时监测、分析和评价。

方法：基于云 - 边 - 端构架搭建适用于多中心的医疗设备物联网云平台，依托解放军总医院的八个医学中心进行部署，并对 ICU 类设备和大型影像类设备的底层数据进行采集与分析。

结果：医疗设备物联网云平台不仅规范了医疗设备数据的采集、转换、传输、存储和管理流程，而且实时显示医疗设备的运行状况和临床应用评价。

结论:基于云 - 边 - 端构架的多中心的医疗设备物联网云平台实现了多中心医疗设备运行数据的实时监测、运营与绩效分析和临床应用评价，为物联网数据的二次分析利用提供了平台和数据支撑。

关键词：物联网；多中心；医疗设备；数据采集

便携式无线心电采集系统开发

林高藏[1] 叶继伦[1,2,3*] 刘晨沁[1] 乐航宇[1]

[1]（深圳大学生物医学工程学院，深圳 508060）

[2]（深圳市生物医学工程重点实验室，深圳 508060）

[3]（深圳大学氧与健康工程研究院，深圳 508000）

随着我国移动网络技术、遥测技术以及 IOT 技术的不断发展，为了充分发挥上级医院医疗技术及医疗设备的优势，实现对人体健康的远程监测与数据管理，该文介绍了一种便携式无线心电采集系统。系统采用低功耗心电采集芯片以及基于蓝牙 4.0 的微型蓝牙单片机实现一路心电信号的采集以及无线数据传输等功能，采集的信号通过蓝牙发送至移动终端进行波形显示。经测试，该系统大小仅 9.0cm*2.8cm，功耗约 10mW，能实现对人体心电的无线测量。后期对系统进行优化，能对系统的体积及功耗进一步的缩小，这对于人体的远程健康监测具有重要的意义。

关键词：遥测技术；远程监测；无线心电；低功耗

可穿戴无线体温实时采集系统

刘梓晨[1] 叶继伦[1,2,3*] 乐航宇[1] 朱子孚[1]

[1]（深圳大学生物医学工程学院，深圳 508060）

[2]（深圳市生物医学工程重点实验室，深圳 508060）

[3]（深圳大学氧与健康工程研究院，深圳 508000）

随着无线电及 IOT 技术的不断发展，可穿戴医疗、远程医疗等在线监护式医疗设备得以面世，不同于传统的离线监护式医疗设备，远程医疗设备具有在线数据存储，实时数据管理，在线诊断及可穿戴等优点，将

医疗与无线、数字化等技术相结合以节约人力资源，简化数据管理。进一步推动了医疗事业的发展。该文介绍了一种可穿戴无线体温监护系统，该系统实时采集体温数据并通过蓝牙上发至手机 APP 端，

并将体温数据同步保存至单片机内存及 APP 云端，实时监护被测者的体温数据。

关键词：无线电；远程医疗；可穿戴；无线体温

肺介电性质模型研究

傅再扬 蒋升 李佩伦 宁钢民 *

（浙江大学生物医学工程与仪器科学学院，杭州 310027）

研究人体肺组织的介电性质，建立相应的肺介电性质模型，并在此基础上进行仿真实验，可以为基础医学以及临床诊断提供理论依据以及数据参考。本文在总结现有研究的基础上，首先对肺泡壁的介电性质进行建模，分析其在不同测量频率下的相对介电常数以及电导率。基于肺泡壁的介电性质，利用改进后的两项介质椭圆模型对肺组织进行建模，构建了肺组织介电性质与肺组织空气分数之间的数学关系。该模型仿真结果进一步显示，体内肺组织在呼吸过程中，肺组织的空气分数与肺组织的介电性质存在近似的线性关系。该模型可为人体肺组织介电性质研究和 EIT 等测量技术提供先验信息。同时，我们通过肺组织气体分数推算肺泡通气量，将肺介电性质这一物理参数与肺泡通气量这一生理参数联系起来，为肺介电模型与肺生理模型之间的耦合提供了理论基础。

关键词：介电性质；肺组织；仿真研究

便携式远程多参数监护仪的研制

黄惠 [1] 叶继伦 [1,2,3*] 马胜才 [1] 袁思念 [1]

[1]（深圳大学生物医学工程学院，深圳 508060）

[2]（深圳市生物医学工程重点实验室，深圳 508060）

[3]（深圳大学氧与健康工程研究院，深圳 508000）

随着科学技术的不断发展与人类健康意识的不断提高，远程医疗得到了飞速的发展，相关医疗产品的需求也不断提高。多参数监护仪作为测量人体基本生理信号的医疗仪器，其具有不可替代的临床地位。当前市面上的多参数监护仪体积较为庞大，不具备远程数据传输能力，大多仅限制于医疗场所使用，使用灵活性较差，给相关疾病的及时及早期诊断与监测带来了很大困难。本文介绍了自主研制的便携式远程多参数监护仪其性能满足相关国家医疗器械标准，其大小仅为 170mm*170mm*97mm，除了具备常见心电、呼吸、脉搏氧饱和度、无创血压、体温生理参数测量外，还可扩展脑电测量功能，测量数据可选择保存到本地或利用 WIFI 通过路由器连接到互联网将其传至指定云端实现数据保存与多点共享，弥补了传统多参数监护仪的缺点，具有良好的临床应用价值。

关键词：WIFI 传输；便携式；多参数监护；脑电监测

基于深度学习的多通道脑电癫痫发作实时检测研究

冯毓琅[1] 周天舒[2] 田雨[1] 王健达[3] 冯建华[3] 李劲松[1,2*]

[1]（浙江大学生物医学工程与仪器科学学院，杭州 310013）

[2]（之江实验室健康医疗大数据研究中心，杭州 311100）

[3]（浙江大学医学院附属第二医院儿科部门，杭州 310009）

癫痫是最常见的神经疾病之一，视频脑电图是癫痫检查最常用的检查方式。视频脑电图检查持续时间长，陪护人员负担重，并且产生大量的视频脑电数据需要医生目视检查。癫痫发作的实时检测，可以降低陪护人员的精神压力，也可以为医生目视检查脑电图提供标记，提高医生效率。本研究利用短时傅里叶变换和深度神经网络，基于不同信号表示下的癫痫发作实时检测性能比较，提出一种多通道脑电信号的癫痫实时检测方法。实验中使用 CHB-MIT 公开数据集中 9 名患者的脑电数据，针对每个个体训练基于患者特异性的神经网络，最终用于癫痫发作事件实时检测，得到召回率 97%，误报率 0.219 次 / 小时和时间延迟 3.4s 的结果。结果表明该方法能够实现癫痫发作实时检测，对后续结合实际场景的系统设计有重要的意义。

关键词：癫痫发作；短时傅里叶变换；信号表示；深度神经网络；实时检测

一种无标签胰腺影像的迁移学习分割方法

朱琰[1] 胡佩君[2] 田雨[1] 李劲松[1,2*]

[1]（浙江大学生物医学工程与仪器科学学院，杭州 310058）

[2]（之江实验室健康医疗大数据研究中心，杭州 311100）

在医学 CT 影像的自动分割中，胰腺由于其体积小、形态不规则、边缘不清晰等特征，标注工作需要专业医师进行，导致胰腺标注数据量较少。且由于扫描仪器、成像参数等条件引起的图像异质性，导致胰腺自动分割模型在不同来源数据上直接使用效果不佳。针对这个问题，我们提出了一种基于多尺度对抗训练的迁移学习模型，通过将目标数据特征空间和有标注数据特征空间拉近，降低域之间分割误差。并且考虑到胰腺体积多变，设计了多尺度结构从多个视野感知目标区域胰腺影像特征，提升模型的精度。实验表明，迁移学习后的模型在无标签胰腺影像的分割性能大大优于未迁移前的网络，平均 DSC 指数从 0.588 提升至 0.727，对于胰腺的边缘部分也表现出较好的分割效果。

关键词：胰腺分割；迁移学习；无标签数据；CT 影像

基于任务分解策略的发热待查辅助鉴别诊断研究

王执晓[1] 刘剑[2] 田雨[1] 裘云庆[2] 李劲松[1,3*]

[1]（浙江大学生物医学工程与仪器科学学院，杭州 310013）

[2]（浙江大学医学院附属第一医院，杭州 310003）

[3]（之江实验室健康医疗大数据研究中心，杭州 311100）

目的：发热待查由于其潜在病因复杂、临床表现多样且缺乏特异性检查方法，其鉴别诊断极大程度上依赖于医生的临床经验，导致其存在诊断主观性强、易误诊漏诊等缺陷，因此基于患者早期临床表现对发热待查患者进行辅助鉴别诊断，对于优化患者诊疗流程、节约医疗资源、减少抗生素使用等具有重要价值。方法：本研究基于任务分解策略与机器学习方法，通过模拟临床医生实际诊疗过程中的递进式推理逻辑，提出一种

针对发热待查进行层次化分类的辅助鉴别诊断方法。结果：通过对基于 29966 例发热待查患者临床就诊数据构建的模型进行 10 折交叉验证与测试，各基分类器在交叉验证阶段均表现出较好的分类效果，在测试阶段也具有优于传统多分类的分类能力。结论：实验结果表明，该方法能够基于患者早期临床表现数据有效实现对发热待查的层次化分类，给出多阶段的临床辅助鉴别诊断意见，并为发热待查辅助鉴别诊断研究提供一种新的问题解决思路。

关键词：发热待查；层次化分类；鉴别诊断；机器学习

基于独立循环神经网络改进残差架构的癫痫脑电分类研究

马梦楠[1] 承垠林[1] 王瑶[1] 韦晓燕[1] 陈子怡[2] 周毅[1*]

[1]（中山大学中山医学院医学信息教研室，广州市，510080）

[2]（中山大学附属第一医院神经内科，广州市，510080）

背景：癫痫是神经系统的疾病之一，在全球范围内人口基数众多。传统的确诊手段绝大部分依赖于专职神经科医生对脑电图的阅读，耗时、效率低下且具有主观性。近年来，使用深度学习来实现癫痫患者的脑电的自动诊断吸引了越来越多的关注，但是深度神经网络在癫痫发作检测方面的潜力尚未得到充分的开发。

方法：这篇文章中，我们在传统的残差网络的架构中，使用一维卷积神经网络来进行替换，并组合独立循环神经网络形成新的循环残差网络，实现癫痫脑电的自动诊断。首先，使用一维卷积神经网络的残差网络架构学习脑电的重要特征，然后使用循环神经网络学习序列间的关系，最后输出分类结果。

结果：我们的方法在伯恩大学的小样本数据集与真实世界的私人数据集上都取得不错的效果，得到 100% 的准确率。在私有数据集的上特异性为 91.42% 和准确度为 90.74%，结果表现也都优于基线方法。

结论：我们提出的模型在理想条件与真实世界中都能快速准确的识别出脑电的种类，能够为临床癫痫脑电的检测提供自动检测能力，希望能够癫痫脑电的发作预测提供积极的意义。

关键词：癫痫检测；残差网络；卷积神经网络；循环神经网络

新疆四地州乙肝发病率时间趋势：年龄 - 时期 - 队列分析

姬卫东 李琳 刘迷迷 周毅[*]

[1]（中山大学中山医学院医学信息教研室，广州 510080）

目的：本研究旨在分析中国新疆南疆四个地区乙肝发病率的长期趋势，并估计年龄，时期和队列的独立影响。方法：年龄 - 时期 - 队列模型用于估计年龄，时期和队列因素对乙肝发病率的影响，并且可针对男性和女性两个群体的特定年龄组乙肝发病率进行预测。结果：男性乙肝发病率在年龄效应影响下出现两个峰值（即 20 -35 岁，60 -80 岁），女性在整个年龄范围内受到的影响相对男性较低；四个地区的男性和阿克苏的女性在近几年受时期效应影响剧烈，并使发病率呈上升趋势；从 2018 年到 2022 年，阿克苏和喀什地区的男女及和田的男性在 35 岁以上这一分组的乙肝发病率预测趋势均有所增加，克州的男性女性，和田的女性在 35 岁以上组的乙肝发病率也有所增加。结论：虽然部分地区乙肝发病率呈下降趋势，但其它地区的乙肝发病率仍然呈上升趋势。因此希望能引起这些地区公共卫生部门的重点关注，以更好地控制乙肝疫情。

关键词：乙肝；年龄效应；周期效应；队列效应；预测

肝硬化专病数据库建设与应用研究

刘迷迷[1] 杜国霞[2] 周毅[1] 吴斌[3] 吴晓瑛[3#*]

[1]（中山大学中山医学院，广东省广州市，510080）

[2]（广东药科大学公共卫生学院，广东省广州市，510006）

[3]（中山大学附属第三医院，消化内科，广东省广州市，510630）

目的：高质量的专病数据库是专科大数据分析与利用的重要基础支撑，我国在专病数据库建设方面刚刚起步，本文旨在开展肝硬化专病数据库建设与应用研究。

过程：以中山大学附属第三医院肝硬化专病数据库建设实践经验为切入，分析消化内科对肝硬化专病数据库的临床研究及应用需求。在医院专科和临床数据中心等的支持下，结合医疗业务系统和随访系统，建立了肝硬化专病库。

结果：该数据库汇聚了超过 2 万例肝硬化患者的医疗数据，包含常规电子病历、病理、影像、生物样本等数据，涉及诊断、专科体格检查、实验室检验、检查、用药、手术及护理等多维度信息，共 729 个指标。基于该数据库正开展一系列回顾性前瞻性队列、基于多模态数据的预后研究等临床应用项目。

结论：该肝硬化专病数据库的建设为国内临床专病数据库的构建和应用提供经验和参考，为肝硬化专病的科学研究、临床决策和改善医疗服务质量提供了有力的数据支撑，对进一步辅助提高临床肝脏相关疾病医疗诊治规范和水平具有重要意义。

关键词：专病数据库；肝硬化；疾病数据库；专病大数据

基于 ANN+SVM 的癫痫脑电检测分类研究

石雨菲[1]，王瑶[1]，陈子怡[2]，周毅[1*]

1 中山大学中山医学院医学信息教研室，广东省广州市越秀区中山二路 74 号，510080

2 中山大学附属第一医院神经内科，广东省广州市越秀区中山二路 74 号，510080

传统癫痫发作诊断需要依靠人工检测，效率低下而且会耗费大量的人力、物力。研发出有效的自动分类检测模型，能够帮助医生加快检测与诊断。在以往的研究者所做的分类实验中，训练数据和测试数据常常来源于同一病例的 EEG 信号，跨患者的癫痫脑电检测研究成果有限，模型算法泛化性不足；目前针对于公共癫痫脑电数据集的研究成果可观，但针对于临床真实数据的研究还不够，现有算法的鲁棒性不足。本着解决现有检测模型的泛化性和鲁棒性不足问题的出发点，我们综合了人工神经网络（ANN）与支持向量机（SVM）的优点，提出了基于 ANN+SVM 的癫痫脑电检测分类研究。该模型在 13 个实际临床数据集上多次测试，获得了平均 94.01% 的总识别率，94.51% 的敏感性和 93.52% 的特异性，均优于同样本下的人工神经网络模型分类结果与支持向量机分类结果。

关键词：癫痫脑电信号；机器学习；EEG 检测；人工神经网络； 支持向量机

基于推理子图的医学知识图谱实体预测方法研究

刘强华[1]田雨[1]周天舒[2]、李劲松[1,2*]

[1]（浙江大学生物医学工程与仪器科学学院 杭州 310012）

[2]（之江实验室健康医疗大数据研究中心，杭州 311100）

医生在临床诊疗过程中往往依靠自己的专业知识储备和临床经验，因此知识图谱作为一个可以涵盖巨大

知识源的工具，将在医学领域发挥越来越重要的价值，而知识图谱本身的完整性和准确性也将至关重要。参考认知科学双系统理论，以知识图谱为基础的认知推理方法能够解决现有深度学习推理过程中无法解释的“黑箱”问题，因此本研究采用基于推理子图的认知推理方法实现医学知识图谱实体预测任务，并纠正错误知识，模型在测试集上的 HITS@10 和 MRR 分别达到 0.616 和 0.534，模型将推理过程进行可视化展示，具备较好的可解释性。该方法未来在临床领域可为医生提供可解释度高的诊断和治疗新模式。

关键词：知识图谱；认知推理；推理子图；实体预测

面向 OMOP CDM 的医疗数据规整与质量控制系统

李想[1] 田雨[1] 王执晓[1] 李劲松[1,2*]

[1]（浙江大学生物医学工程与仪器科学学院，杭州 310013）

[2]（之江实验室健康医疗大数据研究中心，杭州 311100）

OMOP CDM可以更好地促进医疗数据的二次利用，但将海量原始医疗数据规整为OMOP CDM存在着复杂度高、数据质量低、普适性差、效率低等问题。为了解决这些问题，本文提出了一套多阶段的医疗数据规整与质量控制系统。通过将数据规整过程拆分成基础清洗、整合清洗、关联清洗、数据派生和标准术语映射五个阶段，规范并简化了数据规整流程，并对每个阶段的结果都进行了完整性、一致性、合理性三方面的质量评估，保证了数据规整的质量，提高了数据规整的可控性。同时定义了摄取数据模型来提高系统在不同医疗机构数据采集时的普适性。另外系统采用了基于内存的分布式计算引擎 Spark 和新型的 Lakehouse 数据管理框架，加快了数据规整的效率。该系统可以辅助技术人员简化将原始医疗数据转化为 OMOP CDM 的流程，降低数据规整的实施难度，提高实施效率，保证数据质量。

关键词：OMOP CDM；医疗数据规整；质量控制；Lakehouse

面向肝癌微坏死评估的弱监督深度学习交互工具

叶前呈[1] 柴振新[1] 田雨[1] 李劲松[1,2*]

[1]（浙江大学生物医学工程与仪器科学学院，杭州 310013）

[2]（之江实验室健康医疗大数据研究中心，杭州 311100）

目的：肿瘤坏死与肿瘤进展、患者预后具有相关性，但人工量化此类病理学特征的成本过大。本研究旨在以最小标注成本构建坏死识别模型，在苏木精和伊红染色的病理组织切片上识别坏死及计算比例，并以模型为基础开发交互评估工具辅助医生临床实践。

方法：利用模糊比例标签学习和集成学习，分别在内部数据集和公开数据集上进行模型的训练和验证。交互评估工具利用 Pyside2 图形化界面开发工具包，实现工具界面和功能设计。

结果：坏死识别集成模型在内部测试集中的切片坏死评分一致性指数为 0.9331，公开测试集达 0.8479，根据量化坏死率划分的三组之间生存差异显著（p=0.0078）。交互评估工具能够完成图像与识别结果展示、人工复核和数据储存等功能。

结论：基于模糊比例标签学习的模型可以准确计算坏死比例，交互评估工具可以辅助医生进行坏死评估。

关键词：肝癌微坏死；模糊比例标签学习；交互评估工具

S12
生物力学与人类健康

特邀报告

生物力学与医疗技术与器械创新

樊瑜波
北京市生物医学工程高精尖创新中心
生物力学与力生物学教育部重点实验室
高端植介入医疗器械优化设计与评测技术北京市重点实验室
北京航空航天大学医工交叉创新研究院，医学科学与工程学院，生物与医学工程学院
Email: yubofan@buaa.edu.cn

随着我国经济社会发展进入新时代，“健康中国”成为新的国家战略。医疗技术与器械的原始创新和高端化发展是提升我国整体医疗水平、打破进口依赖、支撑国家需求的关键。以智能诊疗技术、手术 / 康复机器人、可降解 / 个性化植介入医疗器械等为代表的高端医疗技术及器械仍面临不少瓶颈问题，如手术机器人组织 - 器械交互力模拟反馈不准确，可降解植介入医疗器械在体内复杂力学环境下降解不均 / 过快、结构失稳乃至过早崩塌失效等问题，严重制约其临床应用。以上问题的突破有赖于系统深入认识人体组织多尺度生物力学原理和机制、应力调控降解规律、医疗器械与宿主组织相互作用机理等科学问题。

本文针对以上问题，在国家自然科学基金群体项目、“十二五”国家科技支撑计划项目、“十三五”国家重点研发计划项目、国家自然科学基金委区域创新发展联合基金、北京市科委课题等项目支持下，以“生物力学理论支撑医疗技术与器械创新”为核心，围绕生物新材料、智能诊疗技术、植介入医疗器械和医用机器人等领域的前沿基础和转化应用开展研究，在理论技术突破、器械装备创制方面取得多项成果。包括：1）多层次生物力学的原理和机制研究；2）基于力学生物学的细胞组织修复再生机理及生物新材料研究；3）医疗器械与宿主组织相互作用的生物力学机理研究；4）可降解材料的应力调控降解规律及可降解 / 个性化植介入医疗器械设计、优化、制造及评测技术 / 设备研究；5）基于生物力学与力学生物学的精准诊断与检测技术研究；6）智能治疗与医疗机器人中的生物力学关键技术研究；7）仿生原理、构建及其在医疗中的应用研究。

生物医用材料表面工程及其与细胞相互作用

蔡开勇
重庆大学 生物工程学院
Email: kaiyong_cai@cqu.edu.cn

众所周知，植入器械、介入器械、药物载体、填充材料等与宿主生理环境的相互作用首先发生在材料表界面。对骨修复植入体，细胞粘附、增殖、分化及组织形成过程都发生在材料表界面；对药物载体而言，载

药系统的血液循环、肿瘤部位富集、渗透、胞吞等也都与其表界面密切相关，极大地影响相关材料在人体应用的安全性、有效性和功能性。基于细胞外微环境的生理信号（生物物理、细胞外基质、水溶性生长因子等）设计或表面改性生物材料正成为相关领域的研究前沿。我们以细胞或组织微环境为切入点，指导材料表界面设计，激励或响应微环境。研究内容包括植入体仿生高分子涂层，焦点为构筑仿生表界面，主动修复骨组织；进而，病理条件下，研究植入体药械结合表界面，核心为局部抑制骨质疏松 / 细菌感染，同时促进骨修复；对药物递送载体表界面，重点关注药物高效输运、胞内释药。最终，促使相关生物材料与宿主有效“互动”，实现材料表面与细胞更好的相互作用，从而调控细胞生理功能，促进相关组织修复与再生。

肿瘤细胞硬度调控致瘤及转移能力

Youhua Tan*[1,2]、Xi Chen[1,2]、Junfan Wang[1]、Zhiwei Sun[2]

1. Hong Kong Polytechnic University

2. Hong Kong Polytechnic University Shenzhen Research Institute

大量非临床及临床数据显示肿瘤细胞硬度比正常细胞低，且与其恶性及转移能力反相关。本研究探索肿瘤细胞硬度对自我更新、致瘤及转移能力的影响及分子机理。采用基因及药物手段改变细胞硬度，利用原子力显微镜测量细胞硬度，通过 3D fibrin、soft agar 、Transwell 等检测肿瘤细胞的自我更新、迁移及侵袭，利用皮下及原位注射小鼠模型检测成瘤能力。降低 / 升高细胞硬度提高 / 抑制肝癌细胞在 Soft fibrin 中肿瘤克隆的大小、Soft agar 中克隆数目及迁移和侵袭能力，上 / 下调与干性及转移相关基因的表达，表明软 / 硬化细胞提高 / 抑制自我更新及转移能力。皮下及肝内原位注射结果显示软 / 硬化细胞显著促进 / 抑制肿瘤生长及转移。此外，细胞硬度也可以调控其他多种肿瘤恶性。软 / 硬化细胞降低 / 升高骨架蛋白 APC 的表达，增强 APC 与 b-catenin 的解离 / 绑定，促进 b-catenin 进入细胞核 / 降解，而 b-catenin 入核后与 Oct4 的启动子结合并促进基因转录，进而上 / 下调肿瘤细胞自我更新及致瘤能力。软化非肿瘤干细胞促进其向肿瘤干细胞的转化，而硬化肿瘤干细胞则诱导细胞分化，且该过程依赖 WNT/b-catenin 通路。软 / 硬化肝癌细胞抑制 / 激活 JNK 磷酸化，且细胞硬度通过 JNK 磷酸化调节肝癌细胞转移，硬化肿瘤干细胞通过激活 JNK 磷酸化来减弱其转移能力。临床分析显示细胞硬度相关基因、APC、Oct4 及 JNK 通路的表达与肝癌病人的预后相关。细胞硬度通过 APC/b-catenin/Oct4 及 JNK 通路调控肿瘤细胞致瘤及转移能力。

α - 突触核蛋白聚集及其与磷脂膜相互作用的分子调控机理研究

李德昌

浙江大学

α - 突触核蛋白是在中枢神经系统富表达的可溶性蛋白质，其存在形式与其功能紧密相关。在正常的生理条件下，α - 突触核蛋白为可溶性的结构无序蛋白。越来越多的实验研究显示，α - 突触核蛋白功能异常与帕金森病等神经退行性疾病密切相关。病理情况下的 α - 突触核蛋白在神经细胞内发生聚集形成不可溶的淀粉样纤维，进一步聚集形成路易小体。神经细胞内出现路易小体被认为是帕金森病形成及发展的标志物。α - 突触核蛋白的聚集与蛋白间和该蛋白与磷脂膜间的相互作用密切相关。因此，理解 α - 突触核蛋白间相互作用及其与磷脂膜相互作用机理至关重要。采用分子动力学模拟结合相关实验研究了 α - 突触核蛋白 N 端乙酰化和糖基化等不同翻译后修饰对 α - 突触核蛋白的聚集的影响，以及 α - 突触核蛋白对磷脂膜曲率敏感性的分子机理。分析了不同状态下 α - 突触核蛋白间的相互作用及其与磷脂膜的相互作用，以及相互作用的动力学

过程。α - 突触核蛋白 N 端乙酰化可有效抑制蛋白间氢键网络形成，而糖基化则通过空间位阻效应抑制蛋白间相互作用，从而抑制 α - 突触核蛋白寡聚体形成。磷脂膜曲率导致膜表面局部暴露疏水区域形成“缺陷”，α - 突触核蛋白的氨基酸侧链更容易插入这些疏水区域，从而表现出优先于高曲率膜结合。发现 α - 突触核蛋白特定位点乙酰化和糖基化有效抑制蛋白间相互作用，从而抑制 α - 突触核蛋白聚集。磷脂双分子层通过曲率诱导膜表面产生“缺陷”，是 α - 突触核蛋白优先与高曲率膜结合的分子机理。

不同健康状态下骨小梁高分辨率动态力学性能的研究

刘盼，张作启 *

武汉大学土木建筑工程学院工程力学系

Email: zhang_zuoqi@whu.edu.cn

骨小梁由层状骨层板构成，具有复杂有序的微纳结构，呈现出非均质和各向异性的力学特征。针对当前松质骨骨组织材料在微纳米尺度下力学性能测试的缺乏，以及骨质疏松症是否影响骨组织材料力学性能存在较大争议的情况，本研究采用纳米压痕为主要实验测试手段，首次测试给出了健康和 I 型、糖尿病型、老年型骨质疏松症等不同健康状态的松质骨单根骨小梁的存储模量、损耗模量等动态力学性能指标的高分辨率分布云图。实验结果显示骨小梁的存储模量与载荷频率无显著相关性；骨小梁的损耗模量与载荷频率显著相关，且在日常载荷的频率范围内损耗模量较大；I 型骨质疏松症骨小梁的动态力学性能并未发现显著变化，糖尿病型骨质疏松症使骨小梁材料性能发生一定程度劣化，而骨小梁材料性能在老年性骨质疏松症情况下可能更强。

肝血窦内血流及白细胞迁移动力学的数值模拟与分析

陈深宝 [1]、吕守芹 *[1]、龚晓波 [2]、龙勉 [1]

1. 中国科学院力学研究所

2. 上海交通大学

作为肝脏中特殊的毛细血管网络，肝血窦是肝脏微循环血流灌注和免疫应答的主要发生部位。肝血窦具有独特结构，一是含有血窦内腔和窦间隙两层流道；二是肝血窦内皮细胞上分布穿透性筛孔结构，在血窦内腔与窦间隙之间存在渗流；三是肝血窦内皮细胞层无基底膜，窦间隙内含有肝卫星细胞使得肝血窦内皮细胞层有很好的弹性；四是肝血窦内腔仅 7-15 μm 的直径，而且肝血窦内皮细胞上还点缀有枯否氏细胞，使得血窦内腔凹凸不平，白细胞常需发生挤压变形才能通过。在肝纤维化或肝硬化等病理条件下，肝血窦内皮细胞上筛孔消失、窦间隙中胶原纤维沉积等现象导致肝血窦结构、物理 / 力学微环境发生显著变化，进而调控其生物学功能。肝血窦内白细胞募集是实现肝脏免疫功能的重要途径，其主要表现是白细胞在肝血窦内的募集没有初期的捕获、滚动过程，而是直接的粘附滞留，而该独特的募集现象的机制尚不清楚。因此考察受体 - 配体相互作用介导细胞粘附的生化因素、以及肝血窦物理 / 力学微环境对肝血窦内独特白细胞募集过程的各自贡献是阐释其机制的重要内容。采用浸入式边界数值模拟方法，建立了肝血窦内白细胞迁移的力学 - 化学耦合数值模型，考察了肝血窦几何特征、力学微环境以及细胞 - 内皮间粘附对肝血窦内流场及白细胞迁移的调控作用。在不同的空间受限条件下，受体 - 配体相互作用介导的细胞粘附是白细胞在肝血窦内滞留的基础，而肝血窦物理 / 力学微环境是白细胞滞留的重要调控因素。在有渗透条件下，高细胞刚度或狄氏间隙刚度均可有效促进白细胞的粘附与滞留，而低刚度细胞在低狄氏间隙刚度条件下对渗透率不敏感。本文工作为阐明肝血窦内白细胞的募集机制，理清生化与物理条件各自的贡献提供基础，并为未来肝脏炎症相关疾病的治疗提供新思路。

软骨的生物力学与力学生物学相关研究

张春秋
天津理工大学

关节软骨是关节两端关节面具有弹性的负重组织,。由于软骨组织没有血液供应，营养来源于周围的关节滑液，损伤后很难修复，这种损伤修复治疗一直是骨科领域的一个难题。软骨组织工程是一种理想的治疗软骨缺损的方法。有些软骨组织工程修复虽然能在一定程度上消除关节的临床病症，但也可能会出现移植物退化、变性，接合处开裂或硬化，甚至引起宿主软骨退变的现象。软骨组织工程要成为临床上的常规手术方法，解决修复效果的不确定性还需要对软骨粘弹特性、软骨发育成熟力学生物学规律、缺损处力学状态分布等更深入地研究。目前对软骨宏观力学性能有广泛研究，但缺乏软骨不同层区有不同的力学特性探索。关节软结构按其胶原纤维走向可以分为浅表层、中间层和深层。滚动、滑动和压缩载荷下我们采用数字图像相关技术研究了软骨的不同层区的粘弹特性；建立了软骨本构模型，预测了软骨粘弹性特征；同时，循环载荷下对软骨不同层区的棘轮应变、棘轮应变率及杨氏模量做了研究。组织工程软骨构建的力学性能需要此方面探索。缺损修复处力学状态分布是软骨缺损修复效果不确定性的重要原因之一。关节软骨具有复杂的层结构，其结构与功能是适应力学环境的结果，关节软骨对力学环境较为敏感，偏离正常生理载荷组织都要发生退变，软骨生长、发育和维持正常生理功能都需要合适载荷的作用。采用有限元方法研究了不同力学环境、不同软骨软骨弹性模量、不同缺损修复形状软骨缺损修复处力学状态的分布规律，合适的弹性模量和泊松比的人工软骨植入才能达到较好的修复效果；通过实验也表明缺损修复处应变状态的不均匀性。对于人工软骨修复界面开裂的影响、传质的改变也需要研究，这样确使修复区的力学状态分布合理。尽管软骨组织工程软骨修复缺损已经在临床上应用，但软骨缺损修复大量的生物力学与力学生物学基础研究还需进行探索。

液体流动参与下的关节软骨损伤机制

武晓刚[1,2]、孙玉琴[1]、汪航[2]、董浩[1]、余向阳[2]、秦迎泽[2]、李鹏翠[2]、陈维毅*[1]、卫小春[2]
1. 太原理工大学
2. 山西医科大学第二医院骨科实验室

关节软骨属于两相组织材料，主要由固体相（胶原纤维基质）和液体相（组织液）构成，两者一起承受外界载荷。关节软骨受损后其局部液体的压力及流场将发生改变，从而影响其力传导或力 - 电传导（如：流体剪应力与流动电位）行为。本文建立了正常与缺损后的关节软骨的两相多孔弹性力学模型，研究其内部液体的压力分布及流动行为，并通过实验的方法研究了猪的分层关节软骨的力学性能、液体渗透和电学性能。首先利用多空弹性力学理论，建立了正常与缺损后的理想关节软骨试件的两相多孔弹性力学数学模型，同时根据理论模型和使用 MRI 图像建立了真实人的关节软骨有限元模型，研究其缺损程度下的液体的压力分布及流动行为，并设计了相关实验方法研究了猪的分层关节软骨的力学性能、液体渗透性能，采用电化学工作站和压电测试装置测量了其电学性能。理论数学模型结果显示缺损软骨模型孔隙压力在缺损处最小，流速逐渐减小。利用建立的有限元模型，对比正常软骨与缺损软骨在脉动载荷下孔隙压力与流速发现：随着缺损半径和深度的增大，缺损周围孔隙压力减小，在缺损没有全透的情况下流速增大，当缺损深度达到全透时流速突然减小；随着关节软骨退化弹性模量的减小，软骨孔隙压力集中部位压力和流速逐渐减小；随着退化渗透率的增大，孔隙压力基本不受影响，流速逐渐增大，营养物质丢失严重。猪关节软骨实验研究表明从上表层到中层再到下层弹性模量依次增大，泊松比和渗透率依次减小。下层的孔隙液体压力最大，而中层流速最大。本文建立的缺损关节软骨的多孔弹性力学模型，可以用来描述缺损关节软骨内的液体流动行为。通过有限元和实验分析，关节软骨内液体流速随着缺损半径的增大而减小，从而减少了局部的营养供应进一步加剧了软骨损伤。关节软骨的软化和渗透性能的退化，均导致了液体流动行为的改变，直接影响营养物质的输送和丢失。

视乳头生物力学：睫状肌收缩与视乳头变形

王晓飞
北京航空航天大学

确定调节过程中睫状肌的收缩能否引发的视乳头变形，研究年龄增长导致的眼部材料属性的变化对其变形的影响，以探索老花眼与青光眼之间可能的内在联系。此研究首先采用有限元仿真的方法，建立了包含眼睛前节和视乳头详细结构的全眼有限元模型，模拟了眼调节过程中睫状肌收缩导致的位移，研究调节过程中睫状肌收缩对是否会导致视乳头的变形；之后采用海德堡光学相干断层扫描（OCT）设备采集了 20 名健康志愿者在 0D 和 6D 调节下的视乳头三维图像，进行了图像自适应补偿处理以降低其噪点，并对不同组织进行分割，采用三维数字体积相关技术来测量视乳头组织内各点的应变，对仿真结果进行验证；最后采用 Design of Experiment 试验设计，变化眼部各重要组织的材料属性，探索眼睛材料属性的变化对视乳头变形的影响，以全面了解单个参数及多个参数交互作用对视乳头变形的影响。有限元分析结果表明，调节中睫状肌前移 1mm 导致的视乳头筛板平均有效应变为 0.0125，与眼压升高至 50 mmHg 所产生的平均有效应变（0.016）近似。基于临床 OCT 图像的研究结果表明，相较于 0D 调节，6D 调节下视乳头筛板有较大变形，验证了模型的结果。材料属性的参数研究表明，巩膜、筛板和视神经刚度是影响筛板变形的最主要因素，巩膜与筛板的交互作用最为明显。此研究表明调节中睫状肌的收缩可以导致视乳头的大变形，睫状肌收缩的异常可能会导致视乳头的异常变形；作为初步探索，此研究有助于了解老视中晶状体和其他组织刚度改变导致的睫状肌收缩力的重新分布是否为青光眼的危险因素。

皮肤类器官自组装过程中的形态相变

雷明星 *、杨力
重庆大学

作为人体面积最大的器官，皮肤是抵御外界机械或化学损伤，防止病毒和细菌等攻击的第一道屏障。当皮肤遭受烧伤、烫伤或机械损伤等因素，出现皮肤大面积受损时，创面必须进行植皮才能愈合。如何诱导和促进干细胞分化形成完整功能性组织和器官，是皮肤再生生物学领域尚未解决的重要课题。本研究团队先前对皮肤干细胞进行体外三维培养，成功建立皮肤类器官模型 [1-5]，但干细胞通过自组装形成皮肤类器官的机制尚不清楚。通过激光共聚焦原位摄影、免疫荧光染色等技术，观察单个皮肤干细胞体外自组装过程。利用生物信息学技术，了解皮肤类器官自组装过程中的分子表达。通过小分子化合物、重组蛋白干扰、转基因小鼠等功能性实验，阐明皮肤类器官自组装过程中的分子机制。干细胞经过离散期、聚集期、极化期、联合期、平面期、发育期形成带有毛胚芽的平面皮肤。生物信息学分析表明 PDGF、Notch、MMP、Laminin、Wnt 在离散期、聚集期、极化期、联合期、平面期到毛囊发育期的时相转换过程中起着重要作用。功能性实验证实 YAP1 作为力学信号感受因子，感受真皮细胞的细胞外基质硬度，在表皮基底层细胞中激活并诱导 Wnt-MMP 的表达，促进皮肤类器官的相变过程以及平面皮肤的形成。形成的平面皮肤在移植裸鼠后可再生出大量毛囊。本研究阐明了皮肤类器官自组装的分子机制，为进一步促进皮肤及其附属器官再生奠定了理论和实验基础，同时为其他器官再生提供借鉴意义。

基于生物力学原理的血管无创检测和仿生构建

刘肖
北京市生物医学工程高精尖创新中心，生物力学与力生物学教育部重点实验室，北京航空航天大学生物与医学工程学院
Email：liuxiao@buaa.edu.cn

人体血管系统具有多层大动脉到单层毛细血管的多级结构，其功能受到血流、血压、渗流和血管壁弹性等多种力学因素调控，然而如何构建以上血管结构并进行力学功能评价仍是挑战。根据血流刺激内皮细胞产生一氧化氮（NO）影响血管生理和病理生理功能的原理，通过模型定量描述了 NO 在动脉变形与动脉粥样硬化斑块中的传输过程，提出了基于血流、NO 和血管壁形变的无创检测内皮细胞功能和动脉粥样硬化斑块风险的方法。利用微流控三维生物打印技术，构建了多级和多层血管组织，实现了流动剪切应力，应变，渗流等力学微环境的体外构建，开发了微流动血管新生芯片及微流动控制系统，并设计制造了血流动力学特征可调的动脉芯片和动脉粥样硬化芯片。

Controlled mechanical loading ameliorates negative side effects of long-term medications in bone

Chao Liu
Southern University of Science and Technology
Email: liuc33@sustech.edu.cn

Due to the development of effective medications, conditions and diseases such as asthma, HBV and HIV that once significantly reduced life-span have become chronic conditions, enabling nearly normal life span in patients. However, new challenges emerge from long-term administration of related drugs. The asthma drug terbutaline (a β2-adrenergic receptor agonist) could lead to higher chances of bone fractures. Chronic use of nucleotide analogue reverse-transcriptase inhibitor Tenofovir Disoproxil Fumarate (TDF) for the treatment of Hepatitis B virus (HBV) and human immunodeficiency virus (HIV) infection has been linked to reduced bone mineral density and increased fracture risk. Without further complicating the biochemical environment, mechanical loading given at appropriate timeframe could promote bone formation. We hypothesized that controlled mechanical loading could rescue negative side effects caused by long-term terbutaline or TDF treatment during bone repair. Our in vitro results showed that both terbutaline and TDF could directly inhibit osteogenesis by impairing osteogenic differentiation and mineralization. In vivo, we utilized a stabilized tibial defect model in C57BL/6J mice, which allowed for the application of controlled mechanical loading. To simulate chronic treatment in vivo, the drugs were administrated for 4 weeks before mechanical loading and bone defect surgery. In homeostasis, both drugs weakened the bone structure and biomechanical properties. During defect repair, both drugs reduced bone volume, blood vessel volume, and the number of osteogenic cells. Interestingly, controlled mechanical loading could partially ameliorate these negative effects on bone repair from both types of drugs. These studies highlighted the potential of using controlled mechanical stimulation to alleviate negative effects of long-term treatment with two common types of medication. Mechanical stimulation has the additional advantages of being non-invasive and without the need for additional biochemical agents, thus demonstrating an safe and effective direction in treating biochemically complex conditions.

鼻腔结构的变化对 NO 浓度分布的影响的生物力学研究

于申[1]，王吉喆[2]，郭燕[2]，金稳[2]
1（大连理工大学 工业分析结构装备国家重点实验室 大连 116023）
2（大连医科大学附属第二医院 耳鼻咽喉科 大连 116024）
Email: yushen@dlut.edu.cn

鼻腔内一氧化氮（NO）在维持鼻腔鼻窦正常生理功能方面有着重要的作用，鼻腔鼻窦内 NO 浓度分布与鼻腔鼻窦疾病的发生发展有着密切的关系。但 NO 在人鼻腔鼻窦的浓度分布并不十分清楚，目前主要通过检测鼻呼出 NO 浓度来了解正常和炎症状态下鼻腔 NO 浓度分布的差异，但是这个检测值国内外的研究结果存在较大差异。同时鼻腔鼻窦结构复杂，鼻呼出气 NO 浓度并不能真正体现鼻腔鼻窦各处的 NO 浓度分布规律，所以本文建立鼻腔鼻窦 NO 浓度分布生物力学模型，研究人正常呼吸状态下，NO 在鼻腔鼻窦内的分布规律，以及鼻腔鼻窦结构对 NO 浓度分布的影响，为鼻呼出气检测结果的统一化和标准化给出数值依据，同时为鼻腔功能手术中重构鼻腔结构提供数值平台。

动态力学微环境调控纤维化进展的体外模型构建与机制研究

徐峰
西安交通大学

纤维化是机体损伤过度修复的表现，纤维化进展可导致器官功能减退乃至衰竭，是当今世界死亡率最高的疾病之一。纤维化发展涉及成纤维细胞的激活与细胞外基质的沉积与重构，是一个长期、动态的过程。纤维化动态力学微环境主要由几个方面构成：动态应变（组织舒张 / 收缩产生）；动态材料（细胞外基质粘弹性）；动态重构（随时间变化的基质沉积），其时间尺度也相应增加。明确与时间尺度相匹配的动态力学微环境对纤维化的影响，对于理解疾病机理与寻找潜在的治疗靶点至关重要。我们遵循“临床现象 - 体外模型 - 机理研究 - 临床应用”的研究思路，与临床医生展开深入合作。从病理样本获取不同组织来源、不同发展阶段的纤维化组织的生物化学指标与力学表征参数。通过微纳制造技术结合先进生物材料制备，构建体外动态机械加载装置、动态粘弹性水凝胶体系、刺激响应水凝胶体系等，实现在多时间尺度、多动态参数下力学微环境的调控。通过生化分析结合数理模型，研究动态力学微环境调控纤维化的生物物理机制，明确相关靶点。在此基础上，开发了一系列的纤维化指标即时检测体系、纤维化药物递送体系、动态组织损伤修复补片等检测与治疗方案。成纤维细胞的激活与细胞动态力学微环境密切相关，细胞膜表面受体 AT1R、PIEZO 和整合素介导的力学转导通路参与了相关过程。基于上转换纳米粒子、刺激响应性 PROTACs 的药物载体与匹配器官动态应变的粘弹性水凝胶补片均表现出良好的损伤治疗与纤维化预防效果。我们的研究从临床问题出发，明确了动态力学微环境对纤维化发展的影响与机制，并为纤维化临床检测与治疗提供了有效的途径。

短跑直道途中跑技术的生物力学原理

范毅方
福建师范大学

本文比较分析美国生物力学家拉尔夫 • 曼恩和彼得 • 韦安德指导职业运动员提高运动成绩的方法，对短跑直道途中对世界级短跑运动员进行高速影像及测力台分析，发现：短跑时，里米 • 瓦里纳的优势侧与劣势

侧以及贾里德·华莱士健侧与假肢之间地面反作用力与支撑时间之间的关系相矛盾。针对这一矛盾，无论是用曼恩的“冠军模型”还是韦安德的“绷紧脚踝，增大对地面的作用力”学说都不能解答。本研究拟建立动力学方程解答短跑技术中的“为什么和怎样做”的问题。用视频渲染、图像处理方法处理现有研究视频数据进行数据采集和数据检验。受奥运冠军安娜·基森霍费尔研究的“辛流形”的启发：标准化地面反作用力与跨步时间，基于步态最小作用量原理，建立短跑动力学方程，假设短跑处于保守系统中，采用仿真分析手段，用拉格朗日函数描述短跑支撑相、摆动相期间人体的动力状态。分析结果表明使用拉格朗日函数能够解答瓦里纳与华莱士短跑时地面反作用力与支撑时间之间的关系，同时能准确甄别下肢的工效。验证了建立动力学方程能解答短跑技术中的“为什么和怎样做”问题。用体重归一化地面反作用力和重力，对跨步周期进行百分化，采用虚拟仿真手段，基于步态最小作用量原理，建立短跑直道途中跑的动力学方程，用拉格朗日函数分析途中跑时优势侧与劣势侧、健侧与假肢的工效，改善我国运动员短跑技术，结合个性化的钉鞋设计，为我国鞋企的跑鞋设计提供思路，让更多的人跑出中国速度，为国争光。

整合素循环黏附通过骨架重组动力学过程介导干细胞分化的力学生物学机制

林敏[1,2]*

1 西安交通大学生命科学与技术学院，生物信息工程教育部重点实验室

2 西安交通大学仿生工程与生物力学研究所

Email：minlin@xjtu.edu.cn

细胞骨架通过整合素与细胞外基质相连，并通过主动收缩感知基质的力学性能。实验发现整合素与基质间的循环黏附会重排并增强细胞骨架，从而影响干细胞分化命运。本研究旨在探索整合素循环黏附过程中，细胞骨架重组以及下游的细胞力化信号转导的力学生物学机制。方法：本文构建可实现细胞循环粘附的细胞培养平台，通过建立整合素粘附及细胞骨架重组动力学模型描述整合素的循环黏附对肌动蛋白丝聚合、解聚、排列、收缩、以及细胞核形变、YAP 核质比的影响。本模型将细胞视为多根肌动蛋白丝组成的整体，由三个模块构成：（1）单根肌动蛋白丝收缩、运动模型；（2）单根肌动蛋白丝的生长、降解模型；（3）多根肌动蛋白丝排列和力平衡模型。结果：（1）在多次循环黏附过程中，残余肌动蛋白丝不断累积，从而导致细胞中肌动蛋白丝的长度增加、有序度上升，最终导致细胞牵张力增加，YAP 核质比上升；（2）黏附时间增加或者脱附时间缩短会让循环黏附的增强效果更加显著；（3）基质刚度的增加并不影响循环黏附的增强效果，但是会增加细胞对基底施加的牵张力；（4）抑制细胞骨架的聚合或者收缩将抵消循环黏附增强的效应。结论：整合素介导的周期性黏附 - 脱附以积累残余肌动蛋白丝的方式，改变肌动蛋白丝的排列、长度、收缩力，并最终改变了转录因子 YAP 的核质比，从而决定了干细胞的分化命运。

视乳头生物力学：睫状肌收缩与视乳头变形

王晓飞

北京航空航天大学

目的：确定调节过程中睫状肌的收缩能否引发的视乳头变形，研究年龄增长导致的眼部材料属性的变化对其变形的影响，以探索老花眼与青光眼之间可能的内在联系。

方法：此研究首先采用有限元仿真的方法，建立了包含眼睛前节和视乳头详细结构的全眼有限元模型，模拟了眼调节过程中睫状肌收缩导致的位移，研究调节过程中睫状肌收缩对是否会导致视乳头的变形；之后采用海德堡光学相干断层扫描（OCT）设备采集了 20 名健康志愿者在 0D 和 6D 调节下的视乳头三维图像，进行了图像自适应补偿处理以降低其噪点，并对不同组织进行分割，采用三维数字体积相关技术来测量视乳头组织内各点的应变，对仿真结果进行验证；最后采用 Design of Experiment 试验设计，变化眼部各重要组织的材料属性，探索眼睛材料属性的变化对视乳头变形的影响，以全面了解单个参数及多个参数交互作用对视乳头变形的影响。

结果：有限元分析结果表明，调节中睫状肌前移 1mm 导致的视乳头筛板平均有效应变为 0.0125，与眼压升高至 50 mmHg 所产生的平均有效应变（0.016）近似。基于临床 OCT 图像的研究结果表明，相较于 0D 调节，6D 调节下视乳头筛板有较大变形，验证了模型的结果。材料属性的参数研究表明，巩膜、筛板和视神经刚度是影响筛板变形的最主要因素，巩膜与筛板的交互作用最为明显。

结论：此研究表明调节中睫状肌的收缩可以导致视乳头的大变形，睫状肌收缩的异常可能会导致视乳头的异常变形；作为初步探索，此研究有助于了解老视中晶状体和其他组织刚度改变导致的睫状肌收缩力的重新分布是否为青光眼的危险因素。

关键词：视乳头；青光眼；生物力学；应变；在体测量

专题口头报告

矿化胶原纤维束的结构与断裂力学性质的关系

安兵兵 *、张东升
上海大学

目的：骨折是严重的、威胁人类健康的疾病。预防和治疗骨折需要理解骨骼的断裂力学性质。与常规的工程材料不同，骨骼具有复杂的多级分层结构，从而导致了奇特的断裂力学性质。矿化胶原纤维束是骨骼亚微观尺度上重要的结构特征，因此探索矿化胶原纤维束的断裂力学行为对理解骨骼断裂有重要意义。本研究将探索矿化胶原纤维束中纤维、纤维外基底以及界面对骨骼亚微观尺度结构增韧的影响，揭示纤维束的断裂力学性质。

方法：建立描述矿化胶原纤维中由矿物质晶体滑移引起的纤维塑性变形、纤维外基底的依赖于应变率的塑性变形以及纤维与基底间界面脱粘行为的多尺度计算力学模型，开展矿化胶原纤维束在拉伸载荷作用下断裂的数值模拟。

结果：我们揭示了矿化胶原纤维的高刚度有利于提高纤维外基底的能量耗散，降低纤维与纤维外基底间界面脱粘。纤维外基底的高刚度可以激发纤维的塑性变形，从而促进了能量耗散，提高了纤维束的韧度。纤维束的断裂力学行为也受纤维外基底的后屈服塑性变形影响；具有高应变强化行为的纤维外起着传播变形的作用，产生了弥散型的界面脱粘模式，从而提高了纤维束的断裂阻力。另外，我们还揭示了纤维外基底的应变率敏感特征和界面断裂力学性质的协同作用对纤维束断裂的影响。对于强界面，高应变率敏感的纤维外基底降低了纤维束的韧度。与纤维和纤维外基底的塑性变形贡献相比，界面脱粘对纤维束的增韧提供了更小的贡献；在这种情况下矿化胶原纤维的能量耗散是主要的增韧贡献。对于韧性界面，纤维束的韧度随着纤维外基底应变率敏感程度的增加而增大。高应变率敏感的纤维外基底能够传播变形，激发界面脱粘机理。对于弱界面，界面脱粘是纤维束增韧的主要来源。

结论：矿化胶原纤维中由矿物质滑移引起的塑性变形、纤维外基底的能量耗散以及纤维与纤维外基底间界面脱粘是纤维束增韧的主要机理。纤维束的结构以及界面的性质控制着三种增韧机理的发生，决定了整体的断裂阻力。

关键词：纤维束；界面脱粘；增韧机理

微多孔结构对个性化口腔种植体影响的生物力学研究

郑玲玲[1]、王超*[2,3,4]、刘婷[4]、樊瑜波[5,6]
1. 北京航空航天大学
2. 北京航空航天大学 生物力学与力生物学教育部重点实验室
3. 北京航空航天大学 北京市生物医学工程高精尖创新中心
4. 重庆医科大学附属口腔医院
5. 北京航空航天大学 医工交叉创新研究院
6. 北京航空航天大学 医学科学与工程学院

目的：全瓷材料或金属材料制作的个性化根形种植体（Root Analogue Implants, RAIs）是通过复制天然

牙齿的几何形状而制成的。然而，它可能导致周围骨的应力屏蔽，且 RAI 不易获得初期稳定性。因此，为了提高初期稳定性和减少应力屏蔽，提出了微多孔结构。目的：本研究的目的是评估微多孔结构对个性化 RAI 的生物力学性能的影响。

方法：本实验分为三部分进行，第一部分为力学性能测试：设计两组试样，分别为多孔柱状试样、实心柱状试样和多孔 RAI、常规植入物，使用选择性激光熔融（SLM）技术制造。通过万能试验机测试多孔柱状试样的弹性模量和抗压强度。第二部分为动物体内实验：将上诉样品植入兔股骨（多孔、实心柱状试样）和比格犬下颌骨（RAI 和常规植入物）。通过兔股骨体内植入试验，评估多孔柱状试样、实心柱状试样植入物的生物稳定性，通过比格犬下颌骨植入试验，研究微多孔结构对个性化 RAI 的骨整合和骨形成。第三部分为有限元仿真分析：重建患者上颌骨三维模型，基于提取的标准模板库（STL）数据，构建了五种不同的 RAI 模型：（a）光滑表面，（b）凹坑表面，（c）球形表面，（d）螺纹表面和（e）多孔表面，同时还构建了常规植入模型，在多矢量方向上向牙冠施加 100N 的静态载荷。

结果：体内实验结果证实，微多孔结构降低了 Ti6Al4V 的弹性模量，与传统植入物相比，多孔 RAI 的植入导致新骨向内生长增加和骨吸收减少。此外，三维有限元分析表明，多孔 RAIs 周围骨的应力分布更均匀，周围骨的应变值更有利于骨形成。

结论：基于以上实验得出，具有多孔表面的 RAI 可促进骨形成，并可能降低应力屏蔽效应。

关键词：根形种植体；多孔结构；应力屏蔽；弹性模量；骨长入

螺孔非对称的解剖型万向锁定加压骨板的失效分析

张宁泽[1]、张敏[2]、郑诚功*[2,3]

1. 北京航空航天大学 - 生物与医学工程学院
2. 北京航空航天大学 - 北京市生物医学工程高精尖创新中心
3. 上海交通大学 - 生物医学工程学院

目的：分析螺孔非对称的解剖型万向锁定加压骨板的失效机制，为骨板设计及手术规划提供参考。

方法：本研究主要对失效骨板进行材料分析和生物力学分析，并探究骨折区域内置钉及骨板工作区域内股骨近端的第一枚螺钉（骨板断裂处）倾斜角度对骨板失效的影响。在材料分析中，对断裂骨板的化学成分、硬度、晶粒度以及断口形貌进行检测，以判断失效过程中的材料因素。在生物力学分析中，首先建立股骨有限元模型并验证，随后构建骨折固定的手术模型，分析骨板及锁钉环的受力状态及骨板断裂机制。将股骨近端螺钉整体上移一个钉位，探究骨折区域内置钉对骨板受力的影响。将骨板断裂处的螺钉角度分别倾斜 ±5°、±10° 和 ±15°，探究螺钉倾斜角度对骨板受力的影响。

结果：失效骨板为 Ti6Al4V 材料，化学成分、硬度和晶粒度均满足标准要求。骨板断口有明显的疲劳条纹和二次裂纹，疲劳源位于骨板螺孔的内侧，但是由于螺孔的轴向非对称分布，骨板螺孔处宽侧和窄侧的断裂机制不完全相同。宽侧韧窝为圆形且均匀分布，窄侧韧窝较为分散且边缘存在大量的撕裂棱和疲劳条带，窄侧的微裂纹数量明显高于宽侧。原手术固定的骨板应力峰值出现在断裂处的窄侧且为 247MPa，锁钉环的应力峰值为 301.3MPa。当螺钉移位后，骨板和锁钉环的峰值应力分别降至 191.9MPa 和 201.6MPa。不同螺钉角度下，骨板均在螺孔处的窄侧存在应力集中，骨板在负向旋转状态下的应力峰值高于正向旋转。旋转 -10° 时锁钉环的应力最小，相对应的骨板应力也较小。

结论：失效骨板为疲劳断裂，在不同的固定方式下，骨板窄侧均会出现应力集中，且窄侧断裂相比于宽侧较快从而增加骨板的断裂的风险。对于螺孔非对称的万向锁定加压骨板的手术规划，旋转 -10° 是临床可行的潜在选择而骨折区域内置钉则应该避免。

关键词：螺孔非对称；万向锁定；骨板；失效分析

力敏感离子通道 Piezo1 分布与活性的力学调控及其与细胞转化态的关系

姚明曦 *[1,2]、Ajay Tijore[2]、Charles D Cox[3]、Anushya Hariharan[2]、Guy Tran Van Nhieu[4]、Boris Martinac[3]、Michael P Sheetz[2,5]

1. 南方科技大学，生物医学工程系，深圳，518055

2. Mechanobiology Institute, National University of Singapore 117411

3. Victor Chang Cardiac Research Institute，Sydney，NSW 2010

4. Collège de France, Paris 75231

5. Molecular MechanoMedicine Program, Dept. of Biochemistry and Molecular Biology, University of Texas Medical Branch TX 77555-0645

目的：力敏感离子通道 (Mechanosensitive ion channels) 是一类重要的力感应蛋白质。在真核生物中，一系列分数不同家族的力敏感离子通道在触觉 / 听觉感受，细胞渗透压，血压控制等生理过程中起到关键的感知作用。传统上大部分关于力敏感离子通道的研究集中在神经系统中，而最新的研究发现力敏感离子通道更广泛的生理过程如免疫激活，干细胞分化，细胞复制与凋亡中具有重要的功能。近十年来新发现广泛表达于多种组织细胞中的力敏感钙离子通道 Piezo1 是这些过程中最重要的力感应蛋白之一。经典模型认为 Piezo1 在细胞膜上扩散分布并在细胞膜局部表面张力起伏的作用下被激活，但其在细胞复杂生理过程中的调控还有很多未知问题尚待回答。考虑到离子通道是当前众多已批准药物的靶标，对力敏感离子通道的机制研究具有丰富的应用前景。

方法：在本研究中我们通过一系列显微成像方法研究了 Piezo1 的时空分布与活性在不同种类细胞中的力学调控，并使用新型钙离子探针研究了不同细胞中粘着斑中的钙信号差异。

结果：与此前报道不同，我们发现 Piezo1 在成纤维细胞等体细胞中会在细胞骨架张力的作用下富集在细胞粘着斑附近并被激活，从而调控体细胞的形态及生长速度。同时，在发生转化的细胞如多种癌细胞中这样的机制被扰乱，导致正常细胞与转化细胞的钙信号传导模式产生显著的差异。

结论：这些结果有望加深我们对 Piezo1 在其参与的不同生理过程中的力学调控机制的理解，并为癌细胞逃脱失巢凋亡等力学感受过程的分子机制提供新思路。

关键词：力学生物学；力敏感离子通道；细胞粘附

基于病人特异性模型的经导管主动脉瓣置换术的生物力学研究—球扩式介入瓣膜与自膨式介入瓣膜的对比

黎健明 [1]、颜文涛 [1]、王文硕 [2]、魏来 [2]、王盛章 *[1]

1. 复旦大学

2. 复旦大学附属中山医院

目的：主动脉瓣狭窄或者返流是老年人常见的疾病，严重的狭窄或者返流都会导致心衰从而威胁生命。经导管主动脉瓣置换术（TAVR）由于创伤小、恢复快等优点越来越多地被用于治疗主动脉狭窄。球囊扩张式介入瓣和自膨式介入瓣是两种常见的介入式融心脏瓣膜，复杂的 TAVR 术后并发症与植入的瓣膜类型表现出相关性，其内在作用机制对临床术前规划有指导作用。本研究目的是建立 TAVR 的数值研究方法，对比球扩式瓣膜和自膨式瓣膜的植入差异，对，从而帮助医生进行手术规划。

方法：基于 CT 扫描的病人影像数据建立起完整的主动脉模型，包括主动脉根、主动脉瓣和钙化组织，利用有限元仿真分别将两种两种瓣膜（球扩式瓣膜和自膨式瓣膜）进行主动脉瓣狭窄的模型中，并通过流固耦合的方法研究术后瓣膜的血流动力学功能以及对血管壁的作用，重点分析了血流速度、压力、瓣架对主动脉壁的应力、瓣架的几何形态和瓣叶上的应力等参数。

结果：研究结果显示，两种类型瓣膜植入后均能满足其功能要求。相比于自膨式瓣膜，球扩式瓣膜植入

后可以维持较好的圆形截面，且与主动脉壁间的缝隙面积更小，可以有效降低术后瓣周漏的风险和程度。两种瓣膜在主动脉壁处产生的应力分布不同，球扩式瓣膜主要在窦部连接处产生高应力，而自膨式瓣膜会在左心室流出道处产生较高的应力，应力分布可能与术后房室传导阻滞相关。

结论：两种类型瓣膜植入后在形态、贴壁性和主动脉应力分布等结果上存在明显的差异。数值仿真流程可用于基于病人生理特征的瓣膜选择，辅助 TAVR 的术前规划、术后预测以及手术方案的优化。

关键词：经导管主动脉瓣置换术；球扩式瓣膜；自膨式瓣膜；有限元仿真；流固耦合

单髁膝关节假体各种安装角度下的有限元分析

赵鸣昕、郭媛 *

太原理工大学

目的：得到活动平台单髁假体在不同安装位置下胫骨、假体、衬垫、半月板上的应力峰值和应力分布。得到股骨假体、胫骨假体、衬垫、外侧半月板上的接触压力值。

方法:（1）获取正常人影像学资料，转换为 DICOM 格式导入 Mimics 软件，使用阈值分割、区域增长、填补、擦除等命令建立初步的膝关节三维模型，将其导入 3-matic，建立韧带以及软组织模型。

（2）利用 UG 建立单髁假体模型，单髁假体包括股骨假体、衬垫、胫骨假体。

（3）利用 UG 建立活动单髁假体模型，建立胫骨假体立柱不同长度模型，所有部件均通过 Hypermesh 划分网格，骨头模型均为 2mm 四面体网格，其余部件均为 1mm 四面体网格。Mimics 赋材料属性，骨头的材料属性是通过经验公式赋值，最终导入 Abaqus 装配成最终的有限元模型，利用 Abaqus 分析最终结果。

（4）建立中立位、内外翻 3°、内外翻 6°，后倾 3°、5°、7°、9°、11°，共 10 种工况。

（5）利用有限元软件 abaqus 进行计算。

结果：（1）中立位和外翻 6° 时的应力峰值位于胫骨远端约束处，内翻 3° 时胫骨上的应力峰值最小，随着内翻角度增加，胫骨内侧骨皮质应力降低，但是胫骨外侧平台应力在增加。随着外翻角度增加，胫骨内侧骨皮质应力增加。

（2）衬垫与股骨假体接触，随着内外翻角度增加，衬垫上的接触压力降低，但是在外翻 6° 时，接触压力出现在衬垫外侧，可能会引起衬垫脱位。

（3）外侧半月板与股骨接触，其压力峰值位置没有明显变化，内翻 6° 时外侧半月板上的接触压力最小。外翻 6° 时外侧半月板的接触压力最大。

（4）后倾 7° 到 9° 时，胫骨上的应力最小。

结论：针对胫骨内侧平台较宽的患者，在单髁置换时建议内翻 3° -6° 之间，后倾 7° 到 9° 之间。针对胫骨内侧平台较窄的患者，单髁置换时建议中立位或者内翻 3°，后倾 7° 到 9° 之间。

关键词：单髁假体；安装角度；有限元分析；应力

循环黏附介导干细胞分化的力学生物学机制：整合素黏附及骨架重组动力学模型

朱鸿源、张政、林敏 *

西安交通大学生命学院

目的：细胞骨架通过整合素与细胞外基质相连，并通过主动收缩感知基质的力学性能。实验发现整合素与基质间的循环黏附会重排并增强细胞骨架，从而影响干细胞分化命运。本研究旨在探索整合素循环黏附过程中，细胞骨架重组以及下游的细胞力化信号转导的力学生物学机制。

方法：本文构建可实现细胞循环粘附的细胞培养平台，观察细胞对循环黏附的力学生物学响应（肌动蛋白丝角度和长度，肌球蛋白磷酸化水平、细胞牵张力，细胞核形变、YAP 核质比）。并通过建立整合素粘附及细胞骨架重组动力学模型描述整合素的循环黏附对肌动蛋白丝聚合、解聚、排列、收缩、以及细胞核形变、YAP 核质比的影响。本模型将细胞视为多根肌动蛋白丝组成的整体，由三个子模块构成：（1）单根肌动蛋白丝收缩、运动模型；（2）单根肌动蛋白丝的生长、降解模型；（3）多根肌动蛋白丝排列和力平衡模型。

结果：（1）在多次循环黏附过程中，残余肌动蛋白丝不断累积，从而导致细胞中肌动蛋白丝的长度增加、有序度上升，最终导致细胞牵张力增加，YAP 核质比上升；（2）黏附时间增加或者脱附时间缩短会让循环黏附的增强效果更加显著；（3）基质刚度的增加并不影响循环黏附的增强效果，但是会增加细胞对基底施加的牵张力；（4）抑制细胞骨架的聚合或者收缩将抵消循环黏附增强的效应。

结论：整合素介导的周期性黏附 - 脱附以积累残余肌动蛋白丝的方式，改变肌动蛋白丝的排列、长度、收缩力，并最终改变了转录因子 YAP 的核质比，从而决定了干细胞的分化命运。

关键词：循环黏附；整合素；肌动蛋白丝；力化转导

核蛋白 Lap2β 传递力学信号入核直接激活基因表达依赖染色质的拉伸而非压缩

陈俊威

华中科技大学生命科学与技术学院

目的：力学信号可调控蛋白合成甚至基因表达，在组织发育、疾病发生、干细胞分化及生理调节中起到非常重要的作用[1-2]。我们前期发现力可直接传递至染色质激活基因表达 3，但此力同时引起染色质的拉伸和压缩，因此力激活基因表达是依赖染色质的拉伸还是压缩仍不清楚；此外，力如何从核膜传递到染色质，其相关分子通路尚不明确。

方法：本研究利用细胞磁力扭曲仪和细胞拉伸仪两种加力装置分别模拟对细胞局部和整体加载拉伸或压缩力，并用共聚焦荧光显微镜实时观测和定量力对染色质的拉伸 / 压缩程度；结合 RNA 原位杂交（RNA FISH）和染色质共沉淀（ChIP）探究染色质的拉伸和压缩调控基因表达的分子机制，并利用 RNA 干扰（siRNA）敲除相关核蛋白，探究其在力学信号入核传递中的作用及机制。

结果：RNA FISH 实验表明，拉伸染色质能激活基因表达而压缩染色质不能激活基因表达；染色质的拉伸程度和激活基因表达的程度成正比；ChIP 实验表明，拉伸染色质募集 RNA 聚合酶 II（Pol II）结合基因启动子，而压缩染色质无法募集 Pol II 结合基因启动子；利用 siRNA 技术敲除核蛋白 Lap2β，力学信号无法入核募集 Pol II 激活基因表达。

结论：力激活基因表达依赖力对染色质的拉伸而非压缩，其分子机制是力拉伸染色质可募集 Pol II 结合基因启动子开启转录，而压缩染色质无法募集 Pol II 结合基因启动子；力学信号从核膜传递进入细胞核内拉伸染色质需要核蛋白 Lap2β 的传递。

关键词：力学信号；染色质；Lap2β；RNA 聚合酶 II；基因表达

An Artificial PVA-BC Composite That Mimics the Biomechanics and Structure of the Natural Intervertebral Disc

Mengying Yang、Yuru Chen、Weiqiang Liu、Song Wang*

Tsinghua University

Objective: Disc herniation is one of the most ubiquitous health care problems in the modern city. For severe patients, eventual surgical interventions are required, including spinal fusion or artificial disc replacement. To date, the reported outcomes showed fusion with no superiority, and the long-term outcomes of prostheses had no better than fusion. This leaves much room for improvement in artificial intervertebral disc (IVD) designs. The appropriateness of polyvinyl alcohol (PVA) for biomedical applications has been recognized due to its highwater content, excellent biocompatibility, and versatile mechanical properties in the area of artificial cartilage and knee meniscus, which shows potential in use of artificial disc materials.

We aimed at assembling a wide range of the new-designed PVA (Polyvinyl Alcohol)-BC (bacterial cellulose) composites which mimicked not only the functions of normal joint biomechanics and the toroidal structure of the natural IVD.

Methods: PVA-BC composites of toroidal and layered configurations with six concentrations (PVA of 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%) were prepared. The elastic modulus and creep value after 4-hour-compression were compared between the artificial materials and natural discs. Biocompatibility was also assessed.

Results: The elastic modulus increased considerably with increasing PVA concentration, spanning from 1.67 MPa to 3.59 MPa, and the toroidal structure increased the elastic modulus by 57.46% compared with the layered one at the same level of concentration. 40% PVA formulation provided the best mimicry of the natural human IVD in compression (3.59 MPa versus 2.9-6.6 MPa). The 4-hour creep of 40% PVA formulation was 0.65 mm, which was comparable to human IVD (~1.4 mm). And the biocompatible results showed that the PVA-BC composite even had a superior grade (Grade 0: 103.39%) than the sodium alginate hydrogel (Grade1: 94.31%).

Conclusion: PVA-BC composite is a promising material for a new tissue-mimicking artificial intervertebral disc, possessing excellent elastic modulus, superior biocompatibility, and good creep mimicry of the human IVD. Toroidal structure further mimicked the natural structure and improved the compression performance by 57.46%, thus maintained dimensional stability under sustained loading and had minimal risk of impingement on surrounding tissues. The mechanical characterization of a wide range new-designed PVA-BC composites provided a solid foundation for future study in biomaterials development.

Key words: PVA-BC composite; biomechanics; biomaterials; intervertebral disc; creep

前交叉韧带重建术中移植韧带尺寸选择的生物力学研究

王慧枝[1]、郑诚功*[1,2]

1. 上海交通大学

2. 数字医学教育部工程研究中心

目的：绳肌腱作为前交叉韧带（ACL）重建常用移植韧带之一，其形状近圆柱形，而临床一般“取多大，用多大”，这种不参考原生 ACL 尺寸进行的重建往往会导致关节运动学及软骨受力异常，进而引发骨关节炎。本研究旨在探究移植韧带尺寸选择的生物力学依据。

方法：对一例 45 岁男性膝关节有限元模型（已验证）中原生 ACL 的峡部横截面积进行了测量，并建立具有不同直径的移植韧带模型（直径 8-12.5mm），通过有限元建模来模拟使用以上移植韧带的 ACL 重建术。分别对完整膝关节模型（包含原生 ACL 形态的）及 ACL 重建模型在膝关节屈曲 30° 时施加以下复合工况：胫骨前向力 103N+ 内旋力矩 7.5Nm+ 外翻力矩 6.9Nm。计算膝关节胫骨前向位移、内旋及外翻角度、胫骨内、外侧软骨的应力分布及最大等效应力，以探究上述原生 ACL 尺寸下恢复关节稳定及软骨应力所需移植韧带的合适尺寸。在此基础上，本研究分别将原生 ACL 模型尺寸放大 1.1 及 1.2 倍，计算对应的最佳移植韧带尺寸的变化，以进一步探究移植韧带尺寸选择的生物力学依据。

结果：复合工况下，完整膝关节胫骨前向位移为 5.17mm，内旋及外翻角度分别为 14.45 和 0.38 度，内、外侧胫骨软骨上最大等效应力分别为 0.06 和 1.47MPa。使用直径为 8mm 的移植体进行 ACL 重建术后，胫骨前向位移为 5.88mm，内旋及外翻角度为 12.84 和 0.42 度，内、外侧软骨上最大等效应力分别为 0.05 和 1.53MPa。增大移植韧带直径时，前向位移减小，移植韧带直径增大至 12mm 时，前向位移恢复至 5.10mm，此时胫骨内旋及外翻分别为 11.53 和 0.37 度，内、外侧软骨最大等效应力分别为 0.03 和 1.38MPa。原生 ACL 尺寸增大时，所需移植韧带直径相应增加。

结论：ACL 重建术中移植韧带尺寸应根据原生 ACL 进行选择。移植韧带直径应至少比原生 ACL 峡部等效直径大 5mm，但此时会出现关节旋转的过约束。

关键词：前交叉韧带重建；移植物选择；关节运动学；软骨应力

青年学者 - 青年优秀论文复赛

Aligned Collagen Fiber Network and Mechanical Stretching Synergistically Drive Enhanced Myogenesis

Ma Yufei[1*] Xu Feng[1]

[1] (*School of Life Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China*)

Abstract: Many cell responses that underlie the development, maturation, and function of tissues are guided by the architecture and mechanical loading of the extracellular matrix (ECM). Because mechanical stimulation must be transmitted through the ECM architecture, the synergy between these two factors is important. However, recapitulating the synergy of these physical microenvironmental cues in vitro remains challenging. To address this, we developed a three-dimensional (3D) magnetically actuated collagen hydrogel platform that enabled combined control of ECM architecture and mechanical stretching. With this platform, we demonstrated how these factors synergistically promoted cell alignment of C2C12 myoblasts and enhanced myogenesis. This promotion was driven in part by the dynamics of Yes-associated protein (YAP) and structure of cellular microtubule networks. This facile platform holds great promises for regulating cell behavior and fate, generating a broad range of engineered physiologically representative microtissues in vitro, and quantifying the mechanobiology underlying their functions.

Key words：cell mechanical microenvironment; magnetic hydrogels; 3D aligned hydrogels; myogenesis; functional microtissues

胸主动脉植入覆膜支架的生物力学影响

乔永辉[1] 毛乐[2] 竺挺[2] 樊建人[1] 罗坤[1*]

[1]（浙江大学能源清洁利用国家重点实验室，杭州 310027）

[2]（复旦大学附属中山医院血管外科，上海 200032）

目的：本文旨在评估胸主动脉内植入覆膜支架的生物力学影响。方法：我们提出了一种基于临床 CTA 图像的流固耦合计算框架。首先，利用患者的术后 CTA 图像，重建血流、支架及壁面的几何模型；其次，采集患者血流数据确定边界条件；最后，设计三种术后模型：刚性壁面、血液 - 壁面耦合、血液 - 支架 - 壁面耦合，利用多普勒超声数据验证模型准确性。结果：刚性壁假设无法准确预测血液流出和能量损失（EL）变化波形。流固耦合可以捕获主动脉能量储存和释放过程。植入支架会削弱主动脉的缓冲功能（19.1%）。主动脉压力 - 体积环可以表示由壁面变形引起的 EL（占据总 EL 的 68.8%）。流固耦合与支架对壁面剪切力影响较小。植入支架显著限制壁面的变形能力。结论：在术后模拟计算中考虑血液 - 支架 - 壁面流固耦合作用对于准确预测血液动力学参数至关重要，主动脉壁面变形是造成血流 EL 的主要原因。

关键词：主动脉瘤；腔内修复术；覆膜支架；流固耦合；能量损失

基于 HR-pQCT 在体胫骨小梁骨密度、结构与力学局部特异性分析

杜娟[1]，黄蒙恩[1]，Simin Li[2]，Vadim V.Silberschmidt[2]

[1]（天津大学医学工程与转化医学研究院，天津 300072）

[2]（Wolfson School of Mechanical, Electrical and Manufacturing Engineering, Loughborough University, Leicestershire, UK）

目的：在体 (in-vivo) 观测并定量分析绝经后女性骨小梁组织形态计量参数 (trabecular microstructure) 与体密度 (volume bone mineral density, vBMD) 在胫骨远端解剖学区域的变化趋势，首次分析并预测骨小梁密度与力学特性的局部相关性。

方法：运用高分辨率外周定量 CT (HR-pQCT) 扫描，分析 10 名绝经后女性胫骨骨小梁的前、后、外、内侧四个解剖区域的组织结构分布。首次运用密度映射方法分析了骨小梁 vBMD 区域特异性。并且通过首创的骨小梁与骨髓两相有限元模型，预测骨小梁刚度。并且运用统计学方法分析组织形态参数与刚度局部区域间之间的相关性关系。

结果与结论：骨小梁密度、结构与力学特性在不同解剖学部位的差异具有统计学意义，有显著性差异，最低 (前侧) 和最高 (后侧) 区域的差异高达 50% ($p \leq 0.05$)。并且首次发现了胫骨前侧和后侧、内侧和外侧都表现出了显著的两两相关的关系。胫骨前侧的骨小梁体密度、微观结构形态和力学性能较其他区域差，具体表现为结构较薄、较松，刚度较低。骨组织结构存在区域间相关关系，对预测胫骨骨折部位具有指导性意义。

关键词：高分辨率外周定量 CT；骨小梁体密度；结构；刚度；有限元分析

研究生 - 青年优秀论文复赛

基于计算流体力学的单侧狭窄冠脉内血流流场的数值模拟

高航[1]，冯海全[1*]，白丽平[2]，张海潞[1]

1. 内蒙古工业大学机械工程学院（呼和浩特 010051）

2. 内蒙古医科大学心血管内科（呼和浩特 010059）

动脉粥样硬化导致的冠状动脉狭窄，不仅影响到血管内血流动力学性能，而且会影响到血管内再狭窄的发生。本文根据泊肃叶定律，建立非对称狭窄模型，揭示狭窄位置对血管壁面切应力的影响规律，为血管壁面组织造成损伤成因提供理论基础。基于计算机断层扫描血管造影（CTA）影像建立个性化冠状动脉模型，利用计算流体力学方法，分析一个周期内血流速度、流迹、时间平均壁面剪切应力（TWASS）、震荡剪切系数（OSI）的数值变化。结果表明，同一狭窄模式下，随着狭窄率的增大，最大血流速度、TWASS 和 OSI 呈上升的趋势，且高 TWASS 和 OSI 占比较大；同一狭窄率下，不同的狭窄模式的最大血流速度差异不明显，相对 AS Ⅰ型两种狭窄模式，AS Ⅱ型和 AS Ⅲ型两种狭窄模式下 TWASS 和 OSI 较大。揭示不同狭窄模式对冠状动脉内血流流动特性的影响，为临床血管狭窄成因提供更加可靠的理论参考。

关键词：冠状动脉；血流动力学；狭窄血管；CTA 影像；壁面切应力

镍钛合金下肢动脉支架在多种载荷下的疲劳特性和寿命预测

张海潞[1]冯海全[1*]白丽平[2]任月颖[1]

[1]（内蒙古工业大学机械工程学院，呼和浩特 010051）

[2]（内蒙古医科大学心血管内科，呼和浩特 010059）

为探究镍钛合金血管支架在植入下肢动脉后产生断裂失效的原因，研究两款下肢动脉支架在多种循环载荷下的疲劳耐久性和寿命预测。利用有限元方法对镍钛合金支架在多种载荷下（生理脉动、轴向拉伸、压缩、弯曲和扭转）分别进行数值模拟，基于名义应力法和断裂力学进行疲劳寿命预测。疲劳性能分析结果显示，两款支架在多种载荷下的疲劳强度均满足设计要求；通过寿命预测分析结果发现，Absolute Pro 支架整体性能优于 Complete SE 支架，压缩和弯曲载荷对两款支架的寿命影响比较显著，生理脉动载荷影响相对较小；在不同载荷下两款支架位于支撑筋和连接筋圆弧节点附近区域的寿命较低。该研究结果揭示了不同载荷对支架疲劳性能的影响规律，为支架的临床断裂失效机理提供理论参考。

关键词：血管支架；多种载荷；寿命预测；断裂力学；疲劳性能

髂静脉狭窄解剖结构对血流动力学的影响机制

李长胜，冯海全*，王坤

（内蒙古工业大学机械工程学院，呼和浩特 010051）

对于髂静脉解剖结构对其血流动力学影响、降低支架内再狭窄程度和延迟支架内再狭窄方法的研究鲜有报道。本文根据髂静脉狭窄部位的解剖结构，建立不同狭窄率、锥度以及左分支摆角的血管模型，揭示解剖结构对血流动力学的影响规律。基于 CTA 影像建立真实髂静脉模型，利用计算流体力学方法，分析一个周期内平均壁面剪切应力（TWASS）、振荡剪切系数（OSI）等的数值变化，发现随着狭窄率的增大，狭窄部位的 OSI 指数呈明显的下降趋势，TAWSS 指数呈明显升高趋势；随着锥度的增大，锥形血管区域 TAWSS 指数呈下降趋势，同时低壁面剪应力区域占比升高较为明显；随着摆角的增大，两分叉血管的交汇区域 OSI 指数呈增大趋势，说明摆角过小，会导致分叉血管的交汇区域的血液部分停滞，形成血栓风险增大。本文通过理论分析和数值仿真揭示髂静脉解剖结构对血流流动特性的影响，为髂静脉压迫综合征导致狭窄疾病的治疗提供可靠的理论参考。

关键词：CTA 影像；狭窄血管；血流动力学；壁面切应力；CFD

新型射频肠道焊接电极的设计与实验研究

胡钟欣 (研究生) 毛琳 宋成利*

（上海理工大学 医疗器械与食品学院，上海 200093）

目的：设计一款新型联动式压力可控型焊接电极，验证该新型电极用于射频肠道组织焊接的可行性和安全性。

方法：将新鲜猪小肠按“粘膜 - 浆膜”嵌套在负电极上，对正电极施加不同的压合压强（497、995、1492 kPa）和能量功率（120、140、160 W），在不同的时间（10、13、17、20 s）下完成焊接，通过撕脱力和爆破压测试研究吻合口的生物力学特性，对组织热损伤和微观组织结构进行检查，以评估焊接效果。

结果：在压合压强 995 kPa、能量功率 160 W、焊接时间为 13 s 时，肠道吻合口呈现最优的生物力学特性，其撕脱力和爆破压分别为 8.73±1.11 N 和 62.2±3.08 mmHg，组织微观结构较完整。

结论：本设计新型焊接电极可进行压合压力和能量功率的独立控制，能够实现肠道组织快速、稳定的连接，极具临床应用潜力，对缩短手术时间[1]、简化操作流程并提高手术质量具有重要意义。

关键词：射频能量；组织焊接；新型电极；肠道吻合

Effect of Lumbar Muscle Atrophy on the Mechanical Loading Change on Lumbar Intervertebral Discs

Qin Bing（graduate student）Wu Biao Zhou Lu Qian Zhiyu Zhu Qiaoqiao[2*]

(College of Automation engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,Nanjing，Jiangsu, 211106, China)

Abstract: Investigate the effect of lumbar spinal muscle atrophy on mechanical loading change on human lumbar intervertebral discs.Objective. Quantitatively analyze the effect of lumbar spinal muscle atrophy on changes in proximal-distal compressive force and anterior-posterior shear force on lumbar intervertebral discs using a full body musculoskeletal modeling approach. Summary of Background Data. Long duration

spaceflight has been reported to elevate the rates of back pain and spinal diseases in astronauts. The reason behind such phenomenon is not clear, however, it has been observed that long-term microgravity exposure causes significant atrophy of lumbar spinal muscles. On earth, studies have reported associations between muscle atrophy and spinal diseases such as lower back pain and disc herniation. However, the biomechanical mechanisms underneath such associations are not clear. Quantifying how lumbar muscle atrophy affect the loading status on the lumbar intervertebral discs in vivo is difficult yet extremely important for understanding muscle atrophy related disc herniation and lower back pain.

Methods: A full-body musculoskeletal model with lumbar muscle atrophy was developed with the AnyBody Modeling system. Muscles atrophy was modeled with reduction of the functional cross-sectional area (FCSA) of the muscles. Two levels of FCSA decrease, namely, 20% and 40%, were studied. Proximal-distal compressive force and anterior-posterior shear force during eight daily activities under these two levels of lumbar muscle atrophy were analyzed through inverse dynamic by minimizing muscles recruitment activation.

Results: Both compressive and shear forces increased significantly on the lumbar discs under muscle FCSA decrease in most daily activities except relaxed seating one. The change was larger in both the compressive force and shear force at higher level of muscle FCSA decrease.

Conclusions: This study is important for understanding the biomechanical mechanisms of how lumbar muscle atrophy may affect the lumbar intervertebral disc health.

Key words: microgravity; lumbar spine; muscle atrophy; mechanical loading; intervertebral disc; biomechanics; musculoskeletal modeling;inverse dynamics; low back pain; disc herniation

颈总动脉和椎动脉开口处血流动力学特性流固耦合分析

赵洪明[1](研究生)，彭红梅[1*]，张东威[2]，张红娜[3]

1（内蒙古民族大学 数理学院，内蒙古 通辽 028000）

2（内蒙古民族大学 附属医院 神经内科，内蒙古 通辽 028007）

3(内蒙古民族大学 工学院，内蒙古 通辽 028000)

目的：基于流固耦合探究颈总动脉和椎动脉开口处一个心动周期内 6 个典型时刻的血流动力学特性，分析该处血管粥样斑块性狭窄形成与发展的血流动力学原因。

方法：应用医学建模软件对二维 CT 数据进行三维血管重建，得到真实的锁骨下动脉、颈总动脉和椎动脉分叉处血管模型，采用计算流体力学方法对该分叉处血液与血管壁进行流固耦合数值模拟。

结果：获得一个心动周期内典型时刻分叉血管内的血流特性分布情况，在一个心动周期内颈总动脉和椎动脉开口处等效应力变化明显，锁骨下动脉近端及椎动脉开口处存在明显涡旋流动现象，且该处的血流速度极其缓慢。颈总动脉和椎动脉开口处的壁面压力较高，壁面切应力值一直很低。 **结论：**通过对输出的血流动力学特性参数的对比研究，发现在整个心动周期内椎动脉开口处的血流速度和切应力都处于较低的状态，这表明和颈总动脉开口处相比椎动脉开口处更易发生粥样斑块性狭窄。

关键词：颈总动脉和椎动脉开口处；医学建模；流固耦合；计算流体力学

Mechanical loading alleviated the inhibition of β2-adrenergic receptor agonist terbutaline on bone regeneration

Ziyan Wang[1], Yang Liu[1], Jianing Zhang[1], Minmin Lin[1], Chufan Xiao[1], Haoying Bai[1], Chao Liu[1*]

[1] *Department of Biomedical Engineering, College of Engineering, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, 518055, China*

Abstract: Long-term use of adrenergic medication to treat conditions such as asthma have led to higher chances of bone fracture. A method to improve bone quality and healing is dynamic mechanical loading given at specific time. Therefore, we hypothesize that precisely controlled mechanical environment could alleviate the negative effects of chronic treatment with a common asthma drug terbutaline, which is a β2-adrenergic receptor agonist, in terms of bone homeostasis and defect repair through its anabolic effect on osteogenic cells. Our in vitro results show that terbutaline could directly inhibit osteogenesis by impairing osteogenic differentiation and mineralization. To simulate chronic treatment in vivo, terbutaline was administrated to C57BL/6J mice for 4 weeks before mechanical loading and bone defect surgery. We utilized a stabilized tibial defect model, which allows for the application of anabolic mechanical loading. In homeostasis, chronic terbutaline treatment reduced bone formation rate and fracture toughness of long bones, as well as the concentration of bone formation markers in the serum. During defect repair, terbutaline decreased bone volume, type H vessel and total blood vessel volume. Terbutaline treatment also reduced the number of osteogenic cells. Periostin, which was secreted mainly by Prrx1+ osteoprogenitors and F4/80+ macrophages, was also inhibited by terbutaline treatment within the bone defect. Interestingly, controlled mechanical loading was able to recover bone volume, osteogenic cells number, and periostin expression within the defect. In conclusion, mechanical loading could rescue the negative effects on new bone accrual and repair caused by chronic terbutaline treatment.

Key words：terbutaline; biomechanics; bone regeneration; periostin; osteoblast

S13
治疗计划、导航与机器人辅助

特邀报告

手术机器人技术趋势与产业前景

张送根
北京天智航医疗科技股份有限公司
Email: Zhangsonggen@tinavi.com

作为医疗领域最具发展前景的方向之一，手术机器人已成为全球科技前沿、产业热点。2021 年全球医疗机器人市场规模 207 亿美元，手术机器人是其中规模最大的细分领域，年均增长率近 30%。手术机器人通过手术导航、主被动控制、智能规划、高精度操作等方式，有效提升手术精度与效果，克服医生操作疲劳、视野遮挡等问题，推进微创、精准医疗的进一步发展。相对于达芬奇机器人在软组织腔镜手术机器人领域的一枝独秀，我国在骨科、脑外科等硬组织手术机器人领域已具有国际原创技术成果和世界领先产品。随着大数据、人工智能、微纳制造、5G、VR/AR 等技术与手术机器人的深度结合，机器人自动化程度将不断提高，手术机器人将向着高感知、高智能、平台化方向发展，实现微创到无创、刚性到柔性、单一感知到多模感知、低智能化到高智能化的迭代升级，从而进一步推进手术机器人技术、产业、临床的创新发展。

面向计算机辅助诊疗的无监督跨模态医学图像分割技术

郑国焱
上海交通大学
Email: guoyan.zheng@sjtu.edu.cn

医学图像分割是很多计算辅助诊疗方法的基础。在过去的几年中，由于数据获取和深度学习技术的进步，面向计算机辅助诊疗的医学图像分割技术取得了显著的进展。基于深度学习的方法，如卷积神经网络，在大量数据上训练后的性能优异，但在不同于训练数据统计分布的新数据上的泛化性能会比较差，从而阻碍了深度学习模型在临床实践中的运用。这种训练和测试数据在统计分布上的不同，也称为“域偏移（domain shift）”现象，在临床实践中非常常见。不同的成像模态（如 CT、MRI、超声成像），不同的成像协议（以磁共振成像为例，PDw、T1w、T2w 等不同序列得到的图像的统计分布是不同的），不同的扫描参数（再次以磁共振成像为例，重复时间、回声时间，反转时间，翻转角度等扫描参数的不同也会产生不同统计分布的图像），不同的队列研究对象，甚至于使用不同厂家的机器或者安装在不同医院的机器都会造成这种偏移。作为一种有效解决上述问题的方法，无监督领域适应技术最近获得了越来越多的关注。本次报告将报道我们团队在这方面的进展，尤其是在面向计算机辅助诊疗的无监督跨中心、跨成像协议、和跨模态医学图像分割中的应用。

专题口头报告

3D 打印技术辅助粒子精准植入治疗头颈部肿瘤的研究

梁晗格日 *[1]、朱永丽 [2]
1. 内蒙古医科大学
2. 内蒙古自治区人民医院

本研究针对 ^{125}I 粒子植入术，借助 3D 打印技术，规划手术方案并进行预演，针对手术需求，设计个性化粒子植入导板。通过分析两例头颈部肿瘤患者的病历，对肿瘤部位 CT 扫描数据进行三维重建。重建后根据的患者周边血管、神经及骨骼位置和 ^{125}I 粒子放射剂量，对进针路线进行规划。利用规划的路线和患者面部轮廓数据设计手术导板，将手术导板制作出来，探索 3D 打印技术辅助粒子精准植入治疗头颈部肿瘤的完整过程。

关键词：头颈部肿瘤；3D 打印技术；^{125}I 粒子植入；个性化手术导板

基于极少监督信息的颅内生殖细胞肿瘤放疗靶区自动勾画方法

王先玉 [2]、刘帅 [3]、杨讷 [1]、宁国琛 [1]、廖洪恩 *[1]
1. 清华大学医学院生物医学工程系
2. 清华大学医学院生物医学工程系
3. 首都医科大学附属北京天坛医院放疗科

中枢神经系统生殖细胞肿瘤是儿童常见的颅内恶性肿瘤之一，严重威胁儿童身体健康。目前，放射治疗是生殖细胞肿瘤的主要治疗方式之一，肿瘤局部结合全脑室系统照射能够在保证放疗疗效的同时，减少放疗晚期的放射性损伤，然而医生手动勾画脑室系统耗时费力。为此，本研究提出了一种基于极少监督信息的颅内生殖细胞肿瘤放疗靶区自动勾画方法，将无监督图像配准网络与基于自动种子点检测的区域生长算法以及全连接条件随机场结合，在仅需一组标注数据情况下，平均分割精度可达 80.5%。本研究所提出的算法具有需要极少标注数据以及分割速度快的优势，能够辅助医生实现放疗靶区自动勾画，具有推广到实际临床应用的潜力。

关键词：颅内生殖细胞肿瘤；放疗靶区勾画；少监督学习；非刚性图像配准；条件随机场

基于高精度立体光学定位的机械臂手眼标定方法

刘积昊、赵语云、孙闻远、吴博宸、郑国焱 *
上海交通大学生物医学工程学院医疗机器人研究院

机械臂辅助手术系统中建立机械臂坐标系和立体光学定位系统坐标系之间的空间映射关系的过程称之为手

眼标定（手指机械臂，眼指光学定位系统）。手眼标定使得手术机器人能够通过光学示踪器的位置与姿态信息反馈实现术中位置控制闭环。因此，开发准确的手眼标定方法是保证手术机器人定位精度的关键。基于刚体旋转不变性原理并利用机械臂本身具备的精度高、稳定性好的优点，本文提出了一种新的手眼标定方法。在我们的方法中，通过控制机器人末端法兰盘完成两种运动轨迹——从任意位置保持姿态不变沿机器人基坐标系的三个方向轴运动以及在任一位置使得法兰盘绕其坐标原点旋转，从而可以根据观测到的光学示踪器的点轨迹分别实现对手眼变换矩阵中旋转矩阵和坐标原点向量的辨识。本方法得到的手眼标定结果不受标定空间的局限。通过21 次塑料体模钻削辅助定位试验，作业轨迹轴向偏差间距均值 0.33 mm、偏角均值 1.03° 。

关键词：光学导航系统；辅助定位；手术机器人；手眼标定；

基于强化学习的多自由度智能三维超声重建机器人系统

宁国琛、张欣然、陈佳琦、罗建文、廖洪恩 *

清华大学

三维超声重建机器人在辅助诊断与外科引导中可以有效提高超声重建效率并降低人工长时间操作导致的疲劳。为了实现超声机器人在复杂人体表面进行稳定的自动三维超声重建过程，本文提出一种基于深度强化学习的超声机器人多自由度重建控制方法与系统。首先基于近端策略梯度优化的成像动作决策方法，实时生成超声探头空间动作和姿态运动决策，并实现动态环境中对目标成像动作的持续生成过程。进一步，研究根据超声机器人成像任务中面临复杂柔性环境的特点，在超声机器人运动自主决策的基础上提出超声机器人运动空间优化策略。最终进行在辅助环境中对人体表面的扫描，并结合超声图像和机器人位姿实现对不同人体部位自动的三维超声重建，为智能医疗器械与诊断辅助提供新途径。

关键词：三维超声；超声机器人；柔性控制；强化学习

磁声耦合的电流分布与声场测量机器人设计

王玉恒、买文殊、刘志朋、殷涛、张顺起 *

中国医学科学院生物医学工程研究所

目的：磁声耦合成像中存在信号信噪比低，成像质量受限问题，本研究在频域磁声成像相关理论和锁相放大器的基础上，针对二维平面样本搭建了扫描成像机器人用于采集和提升磁声信号质量。方法：利用三轴滑台模组作为机器人传动装置，并结合激光测距仪完成信号接收器声探头和电极探针的定位，利用锁相放大器放大磁声信号，基于 Labview 编写了配套电机控制以及数据处理成像软件。结果：实际测量了瘦牛肉模型的电流密度分布和磁声信号，磁声信号测量精度达到 10^{-6}Pa 并完成了二维扫描成像，机器人最小空间定位精度为 0.375mm。结论：证明了磁声成像电流密度分布和声场具有一致性，提升了频域磁声信号测量的信号质量，验证了成像系统的可靠性。

关键词：磁声耦合成像；频域；机器人；二维扫描

视觉模型与神经网络融合下的神经外科机器人手术场景理解

李亮[1,2]、冯朋飞[2]、丁辉[2]、王广志*[2]
1. 南京医科大学生物医学工程与信息学院
2. 清华大学生物医学工程系

增强环境感知能力，提升自主性是临床对未来神经外科手术机器人的新需求。本文探索神经外科手术机器人对术中非结构化环境的多层面理解方法。论文利用多视角视觉模型中投影图像与空间点云语义映射规律，结合深度学习技术，实现了 2D 场景理解语义信息辅助下的患者头部 3D 点云目标分割、单视角下患者头部姿态估计、无标记患者头部异常运动追踪等方法构建。论文对患者头部点云分割 Dice 评分优于 90；在 0.7 的接受度下对患者头部姿态估计精度可达到 ±12°；可以实现 1 s 每张的患者姿态数据标注速度；对患者头部异常运动追踪轨迹与商业光学追踪系统精度相当。论文研究赋予了神经外科手术机器人对工作环境的初步理解能力，为机器人自主能力提升奠定基础。

关键词：神经外科手术机器人；场景理解；自主性提升；非结构化工作环境

基于 U-net 网络的脑肿瘤光相干断层成像三维分割量化研究

范应威*[1]、冉宇辰[2]、刘力菲[2]、陈宇[1]、高恩泽[1]、廖洪恩[3]、唐晓英[1,2]
1. 北京理工大学医学技术学院 / 医工融合研究院
2. 北京理工大学生命学院
3. 清华大学医学院生物医学工程系

脑肿瘤的发生严重影响患者的生命及生活质量。手术是当前重要的治疗方法，但在手术治疗过程中，对肿瘤边界的识别和分割对医生来说是一个挑战。神经网络已经广泛用于肿瘤的边界识别和分割研究中，但基于神经网络的脑肿瘤光学相干断层成像（OCT）三维（3D）分割尚未有研究。本研究围绕光学特征分析及深度学习网络的脑肿瘤 OCT 影像 3D 分割开展研究，通过计算光学衰减系数（OAC）分析脑肿瘤特征信息，采用 U-net 网络对脑肿瘤数据集实现精准的 3D 分割。结果表明，脑肿瘤与正常组织的 OAC 分别为 0.52±0.08 mm^{-1} 和 0.91±0.01 mm^{-1}，具有显著性差异；进一步地，采用 U-net 网络实现对脑肿瘤与正常组织的 3D 分割，像素精确度（PA）为 97.75%、Dice 系数为 93.50%。本研究在手术导航和智能微创诊疗领域具有潜在的应用价值。

关键词：光学相干断层成像；图像分割；脑肿瘤；微创诊疗；光学衰减系数

基于 AI 的超声图像引导手术机器人系统研究

吴旭、秦佳鑫、陈瑶、贺继帅、吴剑*
清华大学深圳国际研究生院

微创穿刺手术因创伤小、疼痛轻、手术并发症少、恢复快等特点，在临床手术中越来越得到广泛的应用，尤 其是在活检、介入治疗等领域。临床上通常采用具有实时性好、无辐射、经济方便等特点的超声成像来辅助穿刺手术的目标 定位。但是，超声引导的穿刺手术又因超声成像的低分辨率、穿刺角度受限等不足，导致手动穿刺的准确性和稳定性不高、过度依赖医生经验。本文提供了一种实时病灶跟踪并引导穿刺针自动完成穿刺动作的手术机器人系统，首先，通过器械的坐 标标定，完成光学定位系统对超声图像、机械臂固定端固

定的穿刺针的位置实时跟踪；其次，结合全卷积神经网络（Fully convolutional network，FCN）和判别相关滤波器（Discriminative correlation filter，DCF）网络构建端到端的目标特征识 别网络，在超声图像上实现病灶区域形心及穿刺针针尖平面位置的实时检测；最后，根据病灶位置与穿刺针针尖的位置偏差，引导机械臂通过路径规划到达病灶，从而实现精准的穿刺。通过静态和动态穿刺模拟实验表明，手术机器人在目标跟踪和穿 刺上其位置误差可达到 1~2 毫米级，基于 DCF 的多目标跟踪算法，对目标的跟踪在呼吸运动、挤压等形变的情况下，也具 有较好的适用性。

关键词：手术导航；超声图像；多目标跟踪；微创穿刺

基于视点交互和裸眼三维显示的增强现实远程手术导航

黄天琪、李瑞洋、张欣然、廖洪恩 *

清华大学

远程手术场景三维可视化是手术机器人远程操作的关键。非内窥镜式的远程手术系统缺乏有效的三维可视化工具，难以为医生提供充足的实时手术场景信息和深度感知。为解决该问题，本文提出基于视点交互和裸眼三维显示的增强现实远程手术导航，通过深度相机采集术中场景实现术前术中信息增强现实融合，通过裸眼三维显示技术显示多视角实时手术场景方法，通过视点追踪技术实现三维显示的视角拓展和相机采集的交互控制。以上述方法为基础，我们构建了远程手术机器人原型系统，通过模型实验验证了可行性。在定量评估实验中，裸眼三维显示器的水平分辨率为 1.31 mm，垂直分辨率为 0.82 mm，水平观察视角为 60.4°。三维渲染算法的平均渲染帧率为 33.1 FPS，平均注册误差约为 2.48 mm。用户实验进一步证明我们的系统拥有相对较高的操作精度和良好的鲁棒性。

关键词：裸眼三维；视点交互；增强现实；手术导航；远程手术

面向微创器械应用的新型气动柔性机器人系统

陈佳琦 [1]、张博语 [2]、宁国琛 [1]、张欣然 [1]、廖洪恩 *[1]

1. 清华大学

2. 西湖大学工学院

柔性机器人技术在微创手术中的应用可有效提高手术操作的安全性和灵活性，已经引起了越来越多的关注。本文针对柔性机器人在微创手术中的应用以及柔性机器人气动驱动系统的技术瓶颈，提出了仿蠕虫气动柔性机器人系统。本文提出了仿蠕虫运动特性设计的柔性机器人，由一个多自由度延伸模块和两个扩展钳位模块组成，并提出了基于隔膜泵和电磁阀的正负压一体化气动驱动系统的气动原理方案，以实现柔性机器人的精确压力控制。基于气动柔性机器人系统原型的应用实验结果表明，本文提出的气动原理方案可实现稳定、大范围气压的产生，并具有普遍的适用性和可扩展性。本文提出的柔性机器人可实现在狭小管道内蠕动前行，结构紧凑、动作灵活，体现了在复杂、非结构化环境中进行移动和探索的巨大潜力。

关键词：柔性机器人；气动驱动系统；可控充放气；微创器械

Task-autonomy Medical Robot for Both Incision Stapling and Staples Removal

Baiquan Su*[1]、Yi Gong[1]、Qingqian Zhang[1]、Jiale Wang[1]、Chenhao Yue[1]、Han Li[1]、Zehao Wang[1]、Shi Yu[1]、Gang Wang[2]
1. 北京邮电大学自动化学院医疗机器人研究室
2. 北医三院普外科

Abstract: Surgical incision is pervasive in clinical environment. Stapling is an incision closure method parallel to stitching. Incision closure follows surgery and staples are removed several weeks after the closure. Both stapling and staple removal procedure accomplished by an autonomous medical robot would reduce both workload of surgeons and infectious probability. This paper proposes a medical robot system that allows both autonomously stapling surgical incisions and removing staples after the stapled incision is healed. Individual module designs for stapling and removing staples are presented in detail, and the modules are combined to one end effector which is connected to the end joint of a manipulator. Based on binocular vision, a control method consisting of incision detection, staple position planning and staple detection is developed to guide the robot to press the staples into a piece of simulating wounded skin and remove the staples from the same phantom. The experiments demonstrate, see the attached video, that the prototypical robot fulfills both the tasks of the stapling and removal staples without human interventions.

Key words: medical robot; incision closure; task autonomy

Development of an Ultrasound Image and Mixed reality Guided Surgical Navigation System with Continuous Soft Tissue Deformation Tracking

Puxun Tu、Chunxia Qin、Xiaojun Chen*
上海交通大学

Abstract: Cervical pedicle screw (CPS) placement surgery remains technically demanding due to the complicated anatomy with neurovascular structures. State-of-the-art surgical navigation or robotic systems still suffer from the problem of hand-eye coordination and soft tissue deformation. In this study, we present a soft tissue deformation computing method and an integrated surgical robotic system for CPS placement surgery using the mixed reality technique and intraoperative ultrasound images. Firstly, a hand trembled compensation method is proposed to improve the accuracy and robustness of the virtual-physical calibration procedure, and a mixed reality based surgical scene is further constructed for CPS placement surgery. Secondly, we propose a real-time deformation computation method based on the prior shape model and intraoperative partial information acquired from ultrasound images. According to the generated posterior shape, the structure representation of deformed target tissue is updated continuously in the mixed reality scene. Thirdly, we propose a safety strategy for the surgical robot from two aspects: visualization level and perception level. We conducted phantom and animal experiments to evaluate the feasibility and accuracy of the proposed system. Our system yielded a mean surface distance error of 1.52 ± 0.43 mm for soft tissue deformation computing. Results demonstrated that our system involves tremendous clinical application potential.

Key words：image guided surgery; mixed reality; ultrasound image; orthopedic surgery

An Automatic Mandible Segmentation Network for Mandibular Reconstruction Based on Feature Optimization, Multi-Scale Search and Edge Supervision

Jiangchang Xu[1]、Jiannan Liu[2]、Dingzhong Zhang[1]、Zijie Zhou[2]、Chenping Zhang[2]、Xiaojun Chen*[1]

1. 上海交通大学

2. 上海交通大学医学院附属第九人民医院

Abstract: Mandibular reconstruction is a very complex surgery that demands removing the tumor and reconstructs the defective mandible. Accurate segmentation of the mandible plays an important role in its preoperative planning. However, there are many segmentation challenges including the connected boundaries of upper and lower teeth, blurred condyle edges, metal artifact interference and different shapes of the mandibles with tumor invasion (MTI). Those manual or semi-automatic segmentation methods commonly used in clinical practice are time-consuming and have poor effects. The automatic segmentation methods are mainly developed for the mandible without tumor invasion (Non-MTI) rather than MTI and have problems such as under-segmentation. Given these problems, this paper proposed a 3D automatic segmentation network of the mandible with a combination of multiple convolutional modules and edge supervision. Firstly, the squeeze-and-excitation residual module is used for feature optimization to make the network focused more on the mandibular segmentation region. Secondly, the multi atrous convolution cascade module is adopted to implement multi-scale feature search to extract more detailed features. Considering that most mandibular segmentation networks ignore the boundary information, the loss function combining region loss and edge loss is applied to further improve the segmentation performance. The final experiment shows that the proposed network can segment Non-MTI and MTI quickly and automatically with an average segmentation time of 7.41s for a CT scan. In the meantime, it also has a good segmentation accuracy. For Non-MTI segmentation, the dice coefficient (Dice) reaches 97.98±0.36%, average surface distance (ASD) reaches 0.061±0.016mm, and 95% Hausdorff distance (95HD) reaches 0.484±0.027mm. For Non-MTI segmentation, the Dice reaches 96.90±1.59%, ASD reaches 0.162±0.107 mm, and 95HD reaches 1.161±1.034 mm. Compared with other methods, the proposed method has better segmentation performance, effectively improving segmentation accuracy and reducing under-segmentation. It can greatly improve doctor's segmentation efficiency and will have a promising application prospect in mandibular reconstruction surgery in the future.

Key words：mandible segmentation; automatic segmentation; edge supervision; convolutional neural network; mandibular reconstruction

S14
纳米医学与工程

特邀报告

生理响应性递药系统

顾臻
浙江大学药学院
Email: guzhen@zju.edu.cn

伴随着材料化学，分子药物学及纳米生物技术等相关领域的日新月异，受刺激而响应的可编程智能体系为在剂量、时空等尺度上实现精准的药物递送提供了可能。在本次报告中，将介绍课题组目前在能随疾病相关生理信号触发的智能药物递送体系方面的创新与转化。首先，将讨论能随血糖响应的仿生递送胰岛素方向上的一些进展，特别注重介绍“智能胰岛素贴片”的研发以及微针递药体系多样化的应用；另一方面，将介绍癌症免疫治疗调节药物的局部和靶向递送，用于增强疗效并降低系统毒副作用，将着重介绍基于血小板、冷等离子体的一些新疗法的创制。

光学纳米探针的研发及临床转化

程震
中科院上海药物研究所
Email：zcheng@simm.ac.cn

活体光学成像技术是在精准医疗时代，有望能改变癌症诊疗的一项极具前景的技术。通过与最前沿的生物纳米技术相结合，光学成像的生物医学应用潜力可以进一步得到拓广。目前，已有众多的新型光学纳米探针被研发出来，应用于基础研究。然而光学纳米探针的临床转化却极具挑战性，其研究也非常匮乏。在本报告中，将介绍我们前期研发的一系列光学纳米探针，用于光声成像，近红外荧光成像（700-1700 nm），近红外二区磷光成像（1000-1700 nm）等生物医学应用，并对光学成像的临床转化研究进行介绍和提出思考。

专题口头报告

Atomic-Precision Gold Clusters for NIR-II Bioimaging and Neuroinflammtion

Xiaodong Zhang*

Tianjin Key Laboratory of Brain Science and Neuroengineering, Academy of Medical Engineering and Translational Medicine, Tianjin University, 300072, China

Objective: The fluorescence imaging in the second near-infrared window (NIR-II, 1000-1700 nm) has significant advantages of high spatial resolution and feature contrast in non-invasive in vivo imaging at subcentimeter tissue depth, compared to the conventional visible and near-infrared window (NIR-I, 400–900 nm). Nevertheless, the currently available inorganic nanomaterials based NIR-II agents raise critical safety concerns in terms of clinical transformation, including heavy metal-induced toxicity and the inability to be quickly cleared from the body.

Methods: Here, we designed a serial of bright, renal-excreted, and biocompatible fluorescent probes for high-performance biological imaging in the NIR-II window [1-7]. We performed noninvasive *in vivo* cerebrovascular fluorescence imaging of mice injected with the gold clusters intravenously using the brain imaging setup, which is important for understanding the pathogenesis of disease at the morphological and cellular levels. We then used the NIR-IIa imaging to evaluate the brain fluorescence imaging in vivo with LPS induced brain injury model and ischemic stroke model, providing better resolution for fundamental research of neuroscience.

Results: The long wavelength emission of gold clusters allows penetration of the skull and achieves NIR-II cerebral blood vessel imaging. Real-time fluorescence imaging analysis shows LPS injured mice have slower blood flow and longer retention time than that of healthy ones. Further, gold clusters based NIR-II imaging can monitor many small vessels owing to increased permeability of brain vessels after stroke. Cancer metastasis imaging shows that the primary tumor, blood vessel, and lymphatic metastasis can be identified. Finally, ultrasmall gold clusters can cross renal filter and show excellent excretion (≈86%) after 48 h without any toxicological effects at a high dose.

Conclusion: This work provides new ideas for the design and construction of NIR-II fluorescent molecules in clinical and important guidance for the multidisciplinary integration of disease evolution.

Key words: Atomic-precision gold cluster; NIR-II bioimaging; Cancer metastasis imaging

二维材料原位还原策略实现肿瘤诊疗一体化

曹茜楠、肖萌、刘鉴峰 *
中国医学科学院放射医学研究所

目的：抗肿瘤纳米药物极低的体内递送效率（~0.7%）使得其面临严峻的规模生产问题，体内大量纳米药物的使用也导致其体内稳定性受限、系统毒性无法避免 [1]。因此，利用具有无毒或极低毒性的纳米前药在病灶区激活细胞毒性的原位策略，从而实现纳米药物“选择性”杀伤肿瘤细胞是解决纳米药物递送效率低这一问题的一个可行性方案，独特的肿瘤微环境为这一策略提供了可能。众所周知，一方面，硒是人体必须的微量元素之一，人体在摄入亚硒酸根后，通过谷胱甘肽（GSH）耦合还原作用将亚硒酸根转变为硒化物，从而有效调节人体免疫机能。另一方面，亚硒酸铋（$Bi_2(SeO_3)_3$）不具备光声成像（PA）、光热治疗 (PTT) 等功能，而还原后的硒化铋（Bi_2Se_3）具有较强的 PA 与较高的光热转换效率 [2]。因此，我们设想利用肿瘤细胞高表达 GSH 的特点使无毒性抗癌纳米前药（二维 $Bi_2(SeO_3)_3$）在癌细胞内原位还原成肿瘤诊疗制剂（Bi_2Se_3），实现病灶区抗肿瘤作用的原位激活，实现对肿瘤部位的特异性杀伤。

方法：通过简单的水热法制备出具有二维结构的 $Bi_2(SeO_3)_3$ 纳米材料。

结果：GSH 作用后所得到的产物表现出优异的光热转换效果（~31.1%），而材料的 PA 具有与 GSH 作用浓度及作用时间呈正相关的特点。体外细胞实验表明，材料原位光热转换效果与细胞表达 GSH 水平呈正相关，能特异性杀伤高表达 GSH 的肿瘤细胞。载瘤小鼠实验表明，材料能够被肿瘤细胞高选择性摄取，肿瘤细胞高表达的 GSH 将材料原位转变为硒化铋，从而在体内光声成像指导下尾静脉注射药物 1 小时后利用激光照射，使得肿瘤部位的温度急剧升高，治疗后肿瘤有效得到消融。

结论：通过原位转化实现无毒性抗癌纳米前药（$Bi_2(SeO_3)_3$）在肿瘤细胞内高水平 GSH 的作用下生成肿瘤诊疗制剂（Bi_2Se_3）的这种策略成功实现了肿瘤环境智能响应的诊疗一体化，为纳米材料在抗肿瘤应用方面提供了新的思路。

关键词：原位策略；诊疗一体化；硒化铋；纳米前药

纳米肠道工程菌活药的疾病防治应用研究

王汉杰
天津大学

目的：近年来，人们开始聚焦于智能药物的研发，其中肠道工程菌活药就是新一代智能药物的代表。原理是利用合成生物技术对益生菌进行基因工程改造，使其诊断治疗功能如感知疾病标志物分子、生产治疗药物等。目前，已有多株工程菌活药用于肿瘤、代谢病等疾病治疗，已进入临床实验阶段。肠道中存在着大量的微生物，是工程菌活药应用的主要场所之一。口服后的工程菌活药能够自发定植于肠道并发挥治疗效果。我们的研究主要针对包括脑疾病、代谢疾病、肠道疾病以及肿瘤，辅以水凝胶定植策略、光遗传策略以及清除策略，设计与开发相应的纳米肠道工程菌活药。依照工程菌活药设计 - 辅助定植 - 光控治疗 - 高效清除的思路，打造全面的肠道工程菌应用方法。

方法：1. 通过基因组整合或质粒的方式，构建疾病治疗基因线路，赋予工程菌疾病治疗功能。

2. 利用水凝胶微球包封工程菌，减小工程菌口服过程中胃酸对活性的影响，促进肠道定植。

3. 通过体外近红外光照射，结合纳米材料，实现光控肠道工程菌活药功能，按时按需发挥治疗效果。

4. 通过化学诱导或光诱导的策略，控制工程菌自杀，保证工程菌活药的使用生物安全。

结果：构建的肠道工程菌活药能够分泌 IL-10，IFN-γ，GLP-1 等疾病治疗因子，对于肠道炎症、神经退行性疾病等有很好的疗效。采用水凝胶包封的工程菌定植时间延长至 21 天。同时，经过 30 分钟的体外近

红外光照，工程菌快速做出响应，启动治疗因子的表达。治疗完成后，利用清除策略能够高效对肠道工程菌实现清除。

结论：天津大学常津团队王汉杰课题组，长期致力于纳米肠道工程菌活药的设计开发。利用纳米肠道工程菌活药，对相关疾病开展诊疗研究。同时利用光遗传调控技术，对纳米肠道工程菌活药体内定植、分泌及清除过程进行精准调控。相关研究为工程益生菌的生物医学转化应用提供了一定科学依据。

关键词：智能药物；肠道工程菌；光遗传调控；水凝胶递送

Palladium hydride nanopocket cubes and their H2-therapy function in amplifying inhibition of foam cells to attenuate atherosclerosis

Nan Li*、Min Xu

天津大学

Objective: Foam cells formed by the imbalance between lipid uptake and efflux play a dominant role at all stages of atherosclerotic development. Lipid-regulation by active agents can reduce atherosclerotic lesions, however only limited therapeutic efficacy has been achieved because of the low solubility.

Methods: Herein, we developed a "coupling hardness with softness" strategy, for the first time, by using palladium hydride nanopocket cubes to regulate lipid uptake and efflux. The prepared palladium hydride nanopocket cubes have a molar ratio of H to Pd at 0.12: 1, thus denoted as $PdH_{0.12}$ NPCs.

Results: The palladium nanopocket cubes play the hardness role in efficiently scavenging reactive oxygen species (ROS) via their innate antioxidant enzyme activities. The H_2 released from $PdH_{0.12}$ NPCs, controlled by near-infrared- Ⅱ (NIR- Ⅱ), upregulate PPAR-γ- mediated cholesterol transport, which plays the softness role. Consequently, ROS scavenging reduces lipid uptake and promoted cholesterol transport increases lipid efflux, resulting in the amplified-inhibition of foam cells. In vitro and in vivo tests show that $PdH_{0.12}$ NPCs significantly reduce lipid storage and plaque formation in Western diet-fed $ApoE^{-/-}$ mice without obvious long-term toxicity.

Conclusion: The "coupling hardness with softness" strategy shows promising to be further developed as a high efficacy and low toxicity method to treat atherosclerosis. Consequently, $PdH_{0.12}$ NPCs might be developed as a therapeutic tool against atherosclerosis and encourage further in-depth exploration of nano-agents for cardiovascular diseases treatments.

Key words: atherosclerosis; palladium hydride nanopocket cubes; H2 therapy; foam cells; amplifying inhibition

新型光学示踪探针的结构调控与成像应用

李凯
南方科技大学

目的：分子影像在基础研究与临床应用中占有重要的地位。其中，光学成像具有灵敏度高、成本低、仪器操作方便等优势，在生物医学尤其是疾病诊疗等生命分析应用中引起了研究人员的广泛关注，而性能优异的分子与纳米成像剂是其中至关重要的工具。为解决传统诊疗剂面临的挑战，我们基于共轭聚合物与聚集诱导发光材料开发了一系列新型分子与纳米成像剂，通过分子结构调控，优化其光学性能，应用于细胞疗法及肿瘤诊疗 [1]。

方法：首先，我们合成了一系列可以进行长效细胞示踪的纳米示踪剂，这一类示踪剂表现出比商业化产品 Qtracker 系列更加优异的性能 [2]，为解答肿瘤的生长过程以及干细胞等功能性细胞的体内命运提供了一种简便直接的分析手段。另外，基于该类纳米示踪剂，我们发展了一系列疾病诊疗纳米平台。

结果：首先，建立了一种新型 miRNA 体内递送系统，即利用纳米示踪剂携带 miRNA 在剪切稀化的可注射水凝胶中进行大鼠心脏缺血部位的 miRNA 递送，此递送系统稳定性高、毒性较低，且显著提高了 miRNA 在心肌细胞和血管内皮细胞中的转染效率 [3-4]，可促进心肌梗死大鼠模型的心脏功能修复；另外，设计了基于双键的一类分子马达，通过分子调控，这一类分子可以表现出优异的光动力或光热性能，用于光动力抗耐药菌感染以及低温光热肿瘤诊疗中 [5]。其中，一类亚胺基分子马达体现出了高达 90% 的光热转换效率，可在较低功率密度下实现对小鼠肿瘤的检测与有效抑制，为新型小分子光热成像剂的开发提供了思路。

结论：综上所述，基于共轭聚合物与聚集诱导发光材料的新型成像体系，将促进新型诊疗探针的开发与活体成像应用。

关键词：纳米探针；光学成像

智能纳米载药系统

吴玫颖 *
中山大学

纳米载药系统可以提高药物的吸收利用率，延长药物体内半衰期，并减少对正常组织的毒副作用。目前，全球已上市 50 多个纳米药物，处于临床试验阶段的纳米药物则多达 400 多个。虽然纳米载体输运药物具有诸多优势，但也面临着药物体内利用率低、耐药性肿瘤疗效差和药物体内释放不明确等难题。随着生物医学和纳米技术的交叉融合，抗肿瘤纳米药物递释技术的发展为肿瘤药物治疗提供了新的工具，已成为恶性肿瘤等重大疾病药物研发领域的热点。为解决这些科学问题，构建一系列智能纳米载药系统，实现药物的体内缓控释放和定点输送。

1) 针对药物体内利用率低的关键科学问题，构建克服生物屏障的细胞药物制剂或环境响应性载体系统，显著提高药物在生物体内的利用度，为未来纳米药物的设计提供了思路和方案。

2) 为解决耐药性肿瘤药效差等问题，利用肿瘤特异性微环境，设计合成一系列纳米载体实现肿瘤药物或基因的靶向递送和定点控释：如开发高效运输药物 / 基因的共输运体系；设计合成具有细胞核靶向性的基因递送系统。

关键词：药物递送；基因递送；疾病诊疗

生物医用光学探针

丁丹

南开大学生命科学学院

目的：肿瘤酸性微环境（pH 6.5-7.2）已经被广泛报道。此外，具有”聚集诱导发光（AIE）”性质的荧光分子是一种新型的荧光材料，目前已经被广泛应用于生物传感与生物成像的应用中。AIE 荧光分子在单分子状态下几乎是不发荧光的，但是在聚集状态下由于分子内转子的旋转受限而发射很强的荧光，利用这一性质，我们采用 AIE 荧光分子来构筑纳米荧光探针用于响应肿瘤组织微酸性的环境。

方法：将典型的 AIE 荧光分子（tetraphenylsilole; TPS）共价连接到带正电荷的高分子 polyethyleneimine (PEI) 上，然后将 PEI 上的氨基与 2,3-dimethylmaleic anhydride (DMA) 反应，得到带较强负电荷的纳米探针（TPS-PEI-DMA）。

结果：由于 DMA 上的双键能够淬灭 TPS 的荧光，带负电荷的 TPS-PEI-DMA 纳米探针是不发荧光的。在肿瘤酸性微环境下，DMA 与 PEI 间的酰胺键断裂，纳米探针的表面电荷转变为正，有利于大量地进入肿瘤细胞并且选择性地抑制肿瘤细胞的生长。此外，由于 DMA 的离去，纳米探针的荧光恢复，能够选择性地照亮肿瘤细胞。

结论：制备的肿瘤酸性微环境响应的 AIE 纳米探针能够用于肿瘤细胞成像，并且能够选择性地抑制肿瘤细胞。此外，课题组的研究工作聚焦于光学成像技术，并致力于发展新型的生物医用有机高分子光学材料。课题组设计制备了一系列新型的半导体共轭高分子以及富含分子内运动单元的有机 / 高分子，结合生物医用高分子，发展了能够用于荧光成像、光声成像、以及长余辉发光成像的分子 / 纳米探针，实现了其在肿瘤切除手术导航、干细胞等功能细胞示踪、疾病相关生物分子检测、疾病体内诊断与治疗等生物医用。课题组以 Jablonski 光物理图为指导方针，通过分子结构设计和生物体系内分子堆积的调控来实现生物医学功能的可控性和最优化 [1]。

关键词：荧光探针；聚集诱导发光；生物医用

活体细胞表面特异性调控及其癌症诊疗评价

张路

南方科技大学

目的：开发新型活体细胞膜调控策略为癌症精准成像诊断与高效治疗提供新研究思路

方法：基于活体原位纤维化自组装策略，在活体环境下特异性调控细胞膜表面功能

结果：体内肿瘤微环境异常复杂多变，传统的自组装体系在体内往往不能达到预期癌症诊疗效果。“活体原位自组装”研究理念的提出不仅能更好地响应体内微环境的动态变化，而且能够直观地展示体内真实的调控效果，对癌症诊疗领域的发展是极其重要的突破。近些年，本人构建了一系列膜蛋白介导的活体原位纤维化自组装体系，通过膜蛋白与相关配体的相互作用，在活体细胞膜表面诱导 b- 折叠纤维化短肽序列原位转变为纤维网状结构。膜蛋白往往控制着细胞的功能与命运，膜蛋白介导的纤维化网状结构极大地增强了膜蛋白对细胞调控作用，在癌症诊疗领域展现了广阔的应用前景。本人提出了一种在活体环境下直接调控肿瘤细胞表面 HER2 蛋白功能的活体原位纤维化自组装治疗策略，高效解决了 HER2 受体蛋白二聚化造成的肿瘤细胞急速增殖的难题。该策略取得了与两种临床单克隆抗体联用相近的治疗效果，能够更持久全面地抑制 HER2 受体蛋白二聚化；相比临床酪氨酸激酶小分子抑制剂，该策略能够更全面高效地抑制细胞内下游增殖信号的传递；该策略具有非常好的普适性，能够广泛地应用到其他膜受体蛋白的调控研究中。另外，为开发符合临床标准的纳米药剂，本人近期提出了一种活体智能调控纳米材料形貌、光治疗特性和药代动力学的策略。

利用该策略，开发了一种“单次静脉注射光疗剂，连续 7 天低强度光治疗”的高效癌症光治疗新模式。

结论：致力于研发基于不同类型细胞膜的个性化特征，特异性调控膜表面功能的新一代活体生物策略，发挥该策略所用材料新颖且易合成和改造、程序操作简便、活体自主特异性响应及多功能性等优势，突破传统思维，填补活体调控细胞膜功能领域的空白。

关键词：活体纤维化自组装；细胞膜改性；癌症诊断与治疗

雄黄在髓系白血病治疗中的应用及机理研究

王涛、张雪、贾梦帆、温涛、孟洁、刘健、许海燕 *

中国医学科学院基础医学研究所

目的：雄黄（As_4S_4 晶体颗粒）在血液肿瘤治疗中的应用起始于上世纪 60 年代左右，已展现出一定的治疗效果，但临床应用仍然面临两方面的限制：其一，由于雄黄水溶性很差，为了获得有效的血药浓度需要大量服用，给患者带来健康和经济负担；其二，由于仅能溶解于氢氧化钠溶液形成混合形式的砷盐，雄黄的药理仍没有完全阐明。本研究的目的是提高雄黄水溶性，增加雄黄的生物利用度，并在此基础上研究雄黄对白血病的作用机理及其治疗效果。

方法：通过热熔共挤出技术制备两亲性高分子包被的雄黄纳米颗粒（e-As_4S_4），通过动态光散射、扫描电镜等观察纳米颗粒的粒径分布。

结果：与雄黄原粉相比，e-As_4S_4 中雄黄晶体的颗粒直径由数十微米减小至 470 nm，纳米制剂可在水中崩解形成黄色胶体溶液。在此基础上开展了雄黄对白血病细胞作用机理的系统研究。结果表明，e-As_4S_4 通过其还原性及线粒体呼吸抑制导致胞内活性氧（ROS）降低，一方面引起自噬性的 BCR-ABL 降解，诱导人慢性髓细胞白血病细胞系和患者骨髓来源的单个核细胞发生红系分化；另一方面抑制组蛋白乙酰化酶活性，增加 *RUNX1* 的转录，诱导慢性髓系白血病细胞发生巨核系分化。在难治性急性髓系白血病细胞和小鼠模型中，e-As_4S_4 也通过抑制组蛋白乙酰化酶活性，增加 *RUNX1*，*GATA1*，*CEBPA*，*SPI1* 等基因的转录，诱导急性白血病细胞的多系分化，从而诱导白血病细胞的分化后凋亡，延长小鼠生存时长。此外，连续 14 天给予健康小鼠治疗剂量的 e-As_4S_4 后，小鼠体重、血象等生理指标与对照组相比无显著差异，提示 e-As_4S_4 具有良好的生物安全性。

结论：本研究通过热熔挤出技术制备了雄黄纳米颗粒，提高了雄黄的生物利用度，并在此基础上揭示了雄黄诱导白血病细胞分化的新功能和新机理，提示雄黄可作为分化诱导剂用于白血病治疗。

关键词：雄黄；纳米制剂；髓系白血病；分化

微纳生物机器人的智能诊疗系统

蔡林涛

中国科学院深圳先进技术研究院

目的：微纳生物机器人能够识别人体构造，理解不同场景下的需求，有望解决微纳机器人生物医学应用的难点问题，实现临床转化的突破。微纳生物机器人可以精准靶向肿瘤，精确地杀伤肿瘤细胞，减少对正常细胞的损害，提高药物或者载体的生物利用度。另外，通过微纳生物机器人的高精度、灵活性和可控性定点导航式输运，能够安全、有效地将药物运送到特定疾病部位，实现高效智能化的肿瘤治疗，革新传统医学和药物领域。

通过构建和组装微纳生物机器人，研究其外场和内源驱动的原理和方法，在体示踪和靶向穿透技术，开发和应用肿瘤的智能诊疗系统。

方法：（1）细胞膜的纳米递送系统

（2）活细胞和细菌的元件改造和模块组装

（3）外场（磁场、超声、光学）和内源（化学催化、酶催化、浓度梯度）驱动机制

（4）微纳生物机器人原位和在体影像学和光学示踪技术

（5）肿瘤微环境和免疫微环境的调控和智能诊疗系统

（6）微纳生物机器人的可降解性和安全性

结果：微纳生物机器人是一类小型化可降解的生物杂化或仿生机器人，兼具自动化、智能化和生物使能特性，可实现靶向定位和精准递送，到达常规医疗器械难以企及的微观纵深区域，有望实现肿瘤等重大疾病的精准诊疗，革新传统治疗手段。

结论：通过活细胞模块组装及其智能识别和开关分子元件构建，开发具有在体自主驱动和靶向精准诊疗功能的微纳生物机器人系统，解析机器人及其周边环境的复杂信息交互网络机制，研究和构建出性能卓越的微纳生物机器人，将有望取得肿瘤精准诊断和高效治疗的原创性突破。

关键词：微纳生物机器人；模块组装；运动控制；影像示踪；肿瘤精准治疗

生物杂合纳米聚集体用于肿瘤诊疗研究

张鹏飞 *

深圳先进院

目的：癌症严重威胁人类健康，无论在发达国家还是发展中国家，都已造成巨大的社会负担。免疫肿瘤治疗已经成为继手术、放疗、化疗、靶向治疗后癌症的另一有效治疗手段。在肿瘤发生发展过程中，肿瘤微环境与肿瘤细胞相互作用，共同介导了肿瘤的免疫耐受，从而影响了免疫治疗的临床效果。近年来，光动力免疫治疗逐渐引起人们的关注。作为一种无侵入性的新型治疗与辅助手段备受关注，该治疗方法不仅可以有效杀死肿瘤细胞，还能够引发肿瘤免疫原性细胞死亡（ICD）效应，诱导增强肿瘤特异性 T 细胞的分化和浸润，进而实现增强免疫治疗的目的。但是，传统光敏剂在生物介质中易聚集引发荧光猝灭进而导致细胞毒性活性氧（ROS）生成能力不足；如何跨越生物屏障实现肿瘤组织的高效递送也是目前肿瘤药物力治疗面临的挑战；同时，如何唤醒肿瘤微环境中沉睡的 T 细胞，增强 T 细胞的抗肿瘤功能和 T 细胞的数量来改善免疫疗法也是目前免疫治疗过程中的关键问题。

方法：通过模拟天然抗原呈递细胞 (APC)，我们将树突状细胞（dendritic cells）的细胞膜完整嫁接到 AIE 光敏剂纳米聚集体表面，构建了新一代仿生 AIE 纳米聚集体诊疗系统，这一系统既保留了 AIE 光敏剂在聚集态优越的 ROS 生成能力，同时赋予了 AIE 光敏剂树突状细胞与 T 细胞相互作用的功能。

结果：在体内循环过程中，该系统可以通过“搭便车”的方式借助 T 细胞实现生物屏障穿越，同时，通过树突状细胞膜表面蛋白与 T 细胞的抗原呈递可以促进 T 细胞增殖，训练 T 细胞识别并杀伤肿瘤，最终达到光动力协同增强免疫治疗的目的。在活体近红外荧光成像和活体肿瘤光免疫治疗实验结果中，该仿生诊疗系统分别显示了良好的肿瘤组织富集量和显著的肿瘤生长抑制效果。

结论：生物杂合纳米聚集体可以将聚集诱导发光材料、仿生纳载体、多模成像技术、协同无创治疗有机融合，充分发挥纳米智能仿生载体成像与光学 / 超声治疗一体化功能，实现图像引导的肿瘤精准定位和光学 / 超声诊疗一体化。

关键词：聚集诱导发光；光动力治疗；细胞膜

基于免疫细胞膜的仿生纳米材料用于肿瘤免疫治疗

龚萍 *、张秀文、向春柏、向晶晶
中国科学院深圳先进技术研究院

目的：细胞膜主要由脂类、蛋白质和碳水化合物组成。它赋予细胞结构，保护细胞内成分免受细胞外环境影响，并调节进出细胞的物质。细胞膜在细胞间接触、表面识别、细胞信号和通讯中发挥关键作用。细胞膜含有大量蛋白质，这些膜蛋白负责各种生物活动，如能量储存、细胞骨架接触、运输物质和信息转导。此外，各种蛋白质及其糖基化产物作为膜标记物，允许细胞相互识别，这种标记功能在免疫反应的“自我”与“非自我”区分中也起至关重要的作用。

方法：细胞膜实际上是一种具有多种功能的完美二维纳米材料，因为细胞膜的厚度只有约 10 nm，脂质双层自发的“自密封”行为，破碎的细胞膜也可以自然形成具有内腔的近球形纳米囊泡。因此利用细胞膜包覆纳米材料以实现更有效的药物传递具有重要意义。已有文献报到用多种不同类型的细胞（红细胞、癌细胞、免疫细胞、干细胞、血小板、细菌等）制备基于细胞膜的仿生纳米材料。这些仿生纳米材料不仅保留了天然细胞膜的复杂生物功能，也保持了合成纳米材料高度可调控的物理化学性质。

结果：本论文介绍几种基于免疫细胞膜的仿生纳米材料。我们总结了几种免疫细胞膜包裹纳米颗粒的特点、应用和最新研究进展。作为一种新型的仿生给药平台，基于免疫细胞膜仿生通过提供独特的生物界面克服了将异物引入免疫系统的局限性，因此在激活先天性和适应性免疫反应方面具有广泛的优势。我们讨论了几类免疫细胞膜包括来源于巨噬细胞、NK 细胞、T 细胞和树突状细胞来源的细胞膜仿生纳米材料。此外，通过与其他治疗药物（如化疗药物或光敏剂）联合治疗肿瘤，细胞膜修饰后的纳米材料可以增强肿瘤治疗效果。

结论：然而，对于免疫细胞膜纳米载体的进一步开发和转化，还有一些关键问题必须解决。首先，由于难以控制天然材料的参数，迫切需要一个标准方案来指导免疫细胞膜载体的制备。其次应采取措施进一步改造和功能化免疫细胞膜，以扩大膜仿生纳米颗粒的应用。

关键词：细胞膜仿生；纳米材料；免疫治疗

近红外光诊疗纳米探针与活体生物医学应用

齐迹
南开大学

目的：近年来，由于重大疾病精准诊疗的迫切需求使得分子影像技术及其相关材料领域快速发展，得到了科研工作者和临床医生们的极大关注。很多传统的成像手段还面临着一些问题，包括分辨率不高，早期诊断效果有限，病灶特异性差和缺乏功能性等。光学成像（如荧光和光声）具有高灵敏度、高瞬时分辨率、实时监测、价格低廉、高效低毒以及设备简便灵活等特点。然而，光学成像在活体方面的应用还存在很大的限制，继续开发新型的成像材料与技术。

方法：通过调节有机高分子的化学结构，得到分子结构与性能之间的关系，提出了调节能量转换过程促进探针性能，充分利用和控制辐射和非辐射跃迁过程，利用分子内运动提高光学成像信号，结构可控转变实现最优化的多种成像模式等策略，得到了具有长波长高亮度、高选择性以及兼具多种功能的光诊疗有机纳米探针。对该类探针修饰靶向性基团可以提高重大疾病部位的靶向诊断能力，研究了长波长近红外二区荧光成像技术在小鼠、大鼠和灵长类猴子的精细脑部血管疾病诊断方面的应用；光诊疗技术在关节炎、脑炎、癌症等疾病的活体应用；多模态精准导航在提高手术效果等方面的应用。

结果：我们实现了不同动物模型上的高分辨率大深度活体脑部血管造影与血管相关疾病诊断，关节炎、脑炎、癌症等常见重大疾病的诊疗一体化和发生发展过程追踪，以及手术不同阶段的精准导航与治疗等生物

医学领域的研究，有效提高了重大疾病的精准诊疗效果。

结论：有机近红外光诊疗纳米探针在心脑血管、癌症等重大疾病的活体精准诊疗方面展现出巨大的应用潜力。

关键词：光学成像探针；纳米医学；生物医学工程；聚集诱导发光；精准诊疗

仿生纳米酶载药系统构建及急性髓系白血病治疗研究

张宇 *[1]、孔非 [2]

1. 东南大学生物科学与医学工程学院

2. 东南大学生物科学与医学工程学院

目的：急性髓系白血病（AML）面临易转移及耐药复发等临床需求，亟需开发新的治疗策略。与现有治疗策略不同，本文开发了一种细胞膜仿生纳米酶载药系统，可以靶向与协同杀伤白血病细胞，防止 AML 的转移。

方法：针对纳米酶级联催化以及细胞膜载药与仿生识别作用，构建了在血液循环中具有“隐身”功能的细胞膜仿生纳米酶载药系统（PFOB@PLGA@Pt@DOX-CM）。该系统采用聚乳酸 - 羟基乙酸（PLGA）包裹全氟溴辛烷（PFOB）作为供氧内核，在其表面偶联具有葡萄糖氧化酶和过氧化物酶活性的超小 Pt 纳米颗粒，然后包覆小鼠骨髓基质细胞膜并负载 DOX。采用透射电子显微镜、能谱分析等对其形貌、结构、组成、尺寸、表面电荷等性能进行表征与分析。研究其载氧能力以及其级联催化产生 · OH 的能力。体外细胞实验研究其细胞内吞及在细胞内的定位；研究其对细胞内 ROS 产生、细胞增殖、迁移与迁移能力等影响。建立 AML 小鼠动物模型，探索其进入骨髓并累积于骨髓腔内的能力；研究其血液循环时间、组织分布、代谢途径、内脏组织生化指标影响、毒性等。设置样品对照组，研究 PFOB@PLGA@Pt@DOX-CM 对白血病模型小鼠外周血、骨髓腔、脾脏中肿瘤细胞的杀伤作用，记录小鼠存活曲线与体重，并评价治疗效果。

结果：细胞膜仿生纳米酶载药系统进入血液后，靶向并被白血病细胞内吞，通过化疗和纳米酶化学动力治疗协同杀伤肿瘤细胞。同时，基质细胞膜的粘附特性使其能够到达骨髓并有效清除残留的白血病细胞，仿生细胞膜还阻断了 CXCR4/ CXCL12 介导的白血病细胞向骨髓和肝脾等器官的转移。

结论：仿生靶向与阻断、DOX 化疗、纳米酶化学动力治疗三重协同治疗，阻止 AML 细胞返回骨髓，抑制 AML 细胞向肝或脾脏的浸润转移，有望解决白血病转移与耐药的问题，将为恶性血液病的治疗提供新的思路和策略。

关键词：急性髓系白血病；纳米酶；细胞膜仿生纳米酶载药系统；阿霉素

青年学者 - 青年优秀论文复赛

Killing Seven Birds with One Stone: Oral Nanotherapeutics Based on Antheraea pernyi Silk Fibroin for Effective Treatment of Ulcerative Colitis

Ya Ma, Bo Xiao*

(*State Key Laboratory of Silkworm Genome Biology, College of Sericulture, Textile, and Biomass Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China*)

Abstract: Ulcerative colitis (UC) with rapidly increasing incidence has become an emerging challenge for public health. The favorable treatment platforms against UC require that therapeutics are specifically delivered to target cells (colonic epithelial cells and macrophages) and controlled release drugs to their cytoplasms, resulting in wound healing and inflammation alleviation. Here, *Antheraea pernyi* silk fibroin (ApSF) was engineered to nanoparticles (NPs) loading with anti-inflammatory drug (resveratrol, Res). The obtained Res-ApNPs showed a desirable particle size (182.7 nm), high colloidal stability, and negative-charged surface (-21.4 mV). It is surprising to see that these polymeric NPs presented colonic epithelial cell/macrophage-targeting properties, lysosome escape potential, and pH/reactive oxygen species (ROS)/glutathione-responsibilities, suggesting that they could achieve on-demand release of Res molecules in the target cells. These intrinsic features of Res-ApNPs were found to be attributed to their functional units (RGD tripeptide, α-helix, β-sheet, and disulfide bond). Moreover, Res-ApNP treatment greatly restored the damaged colonic epithelial barriers, decreased the secreted amounts of anti-inflammatory factors, polarized macrophages to type M2, and eliminated the intracellular ROS. Further *in vivo* experiments demonstrated that oral administration of chitosan/alginate hydrogel-embedding Res-ApNPs could substantially relieve the symptoms of UC, which was evidenced by decreased colonic inflammation, increased expression levels of tight junction proteins, and rebalanced gut microbiota. These findings suggest that these ApSF-based NPs with colonic epithelial cell/macrophage-targeting, lysosome escape, multi-bioresponsible, wound healing, antioxidation, anti-inflammatory, and microbiota modulation properties could be developed as a promising therapeutic nanoplatform for UC treatment.

Key words: Ulcerative colitis; *A. pernyi* silk fibroin; RGD; pH/ROS/GSH- responsiveness; gut microbiota

Self-assembly dual-responsive NO donor nanoparticles for effective cancer therapy

Guolong Gu

(School of Pharmacy, Yancheng Teachers University, Yancheng 224007, People’s Republic of China)

Abstract: Drug resistance and the serious side effects caused by classical chemotherapy drugs necessitate the development of novel targeted drug delivery systems. The high lipophilicity and short half-life of nitric oxide (NO), a gas with strong antitumor activity, make it difficult to reach the tumor site and result in a poor

therapeutic effect *in vivo*. In order to overcome the deficiencies of the existing NO donors and NO delivery vehicles, a novel strategy was proposed to deliver NO for cancer chemotherapy by prodrug dimer self-assembly nanoparticles of NO donors. Specifically, phenylsulfonylfuroxan (FZ) was chosen as the NO donor to synthesize the prodrug dimer precursor (FZ-SS-FZ) by disulfide linkages and ester bonds. The insertion of disulfide linkages promotes the self-assembly of FZ-SS-FZ in water. After that, the dual-responsive and tumor-targeting NO delivery system (FZ-SS-FZ@FA NPs) will finally be fabricated by further introducing folic acid on the surface of nanoparticles. FZ-SS-FZ can self-assemble to form uniform nanoparticles in water, which can effectively deliver NO to the tumor site and be uptake by tumor cells, thus resulting in specific NO release in tumor cells and inducing tumor cell apoptosis. FZ-SS-FZ@FA NPs significantly improve the drug loading and delivery efficiency of NO for chemotherapy, while enhancing its efficacy, providing a novel strategy for tumor-targeted delivery of NO, and at the same time laying a theoretical basis for the clinical translation of NO-based gas chemotherapy, opening up a new approach for cancer chemotherapy.

Key words: nitric oxide; phenylsulfonylfuroxan; prodrug dimer; self-assembly; nanoparticles; cancer chemotherapy

Tumor-Specific Activatable Nanocarriers with Gas-Generation and Signal Amplification Capabilities for Tumor Theranostics

Chao Qi[1,2,†] Jin He[1,†] Lian-Hua Fu[1,†] Ting He[1] Nicholas Thomas Blum[1] Xikuang Yao[1,3] Jing Lin[1] Peng Huang[1,*]

[1] (*Marshall Laboratory of Biomedical Engineering, International Cancer Center, Laboratory of Evolutionary Theranostics (LET), School of Biomedical Engineering, Health Science Center, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China*)

[2] (*Present address: Key Laboratory of Biorheological Science and Technology, Ministry of Education, College of Bioengineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China*)

[3] (*Present address: Institute of Advanced Materials (IAM), Nanjing Tech University (NanjingTech), Nanjing 211800, China*)

[†] *C.Q., J.H., and L.-H.F. contributed equally to this work.* * *E-mail: peng.huang@szu.edu.cn*

Abstract: Multifunctional nanotheranostics are typically designed by integrating multiple functional components. This approach not only complicates the preparation process, but also hinders any bio-application due to the potential toxic effects when each component is metabolized. Here, we report a safe, biodegradable and tumor-specific nanocarrier that once activated by the acidic tumor microenvironment (TME), has diagnostic and therapeutic functions suitable for tumor theranostics. Our nanocarrier is composed of biomineralized manganese carbonate (BMC) nanoparticles (NPs) that readily decompose to release Mn2+ ions and CO2 gas in the acidic TME due to its intrinsic pH-dependent solubility. Mn2+ and CO2 release permits magnetic resonance and ultrasound imaging of tumors, respectively. These NPs can be loaded with the anti-cancer drug doxorubicin (DOX): BMC-DOX has high tumor inhibition effects both in vitro and in vivo due to combined Mn2+-mediated chemodynamic therapy and DOX-induced chemotherapy. This tumor-specific actuating nanocarrier might be a promising candidate for clinical translation.

Key words：manganese carbonate; biomineralization; nanotheranostics; magnetic resonance imaging; ultrasound imaging; chemodynamic therapy

研究生 - 青年优秀论文复赛

PEDOT:PSS/AuNPs 作为新型神经界面用于神经元的记录与训练

徐世弘 [1,2](研究生) 邓宇 [3] 何恩慧 [1,2] 张奎 [1,2] 吕诗雅 [1,2] 徐声伟 [1,2] 王蜜霞 [1,2] 宋轶琳 [1,2]
沙龙泽 [3] 刘瑶瑶 [1,2] 景露易 [1,2] 杨燕 [1,2] 罗金平 [1,2,*] 许琪 [3,*] 蔡新霞 [1,2,*]

[1] 中国科学院空天信息创新研究院 传感技术国家重点实验室，北京 100190
[2] 中国科学院大学，北京 100049
[3] 中国医学科学院基础医学研究所 医学分子生物学国家重点实验室，北京 100005

电刺激技术在神经科学领域中有许多重要的应用，其中体外电刺激用于训练神经元以评估神经网络的学习记忆功能，在神经元电刺激训练与记录过程中神经微电极阵列（MEA）起着重要作用。然而，普通的 MEA 在神经记录的信噪比、安全神经刺激能力以及电极与周围细胞之间生物相容性等方面还有待提高。为此，在本文中我们利用 PEDOT:PSS/AuNPs 纳米复合材料作为新型神经界面开展了神经元记录与训练的研究。通过微机电系统技术制备了 MEA，并结合电化学沉积法在 MEA 上定向修饰上 PEDOT：PSS/AuNPs 纳米复合材料，修饰后的 MEA 阻抗下降了 2 个数量级，而 MEA 的电荷容量密度至少提升了 1 个数量级，并且神经元在 PEDOT：PSS/AuNPs 修饰的 MEA 上细胞活力也有明显提升。此外，将修饰后的 MEA 用于评估不同频率电刺激对神经元网络的训练效果，实验结果表明，电刺激通过影响神经元的簇状放电进而使得网络活动改变，该修饰 PEDOT：PSS/AuNPs 的微电极阵列在神经检测与调控领域具有很好的应用潜力。

关键词：PEDOT；金纳米颗粒；微电极阵列；电刺激；神经元网络

Controlling pyridinium-zwitterionic ligand ratio on atomically precise gold nanoclusters allowing for eradicating Gram-positive drug-resistant bacteria and retaining biocompatibility

Zeyang Pang[a,b], Qizhen Li[a], Yuexiao Jia[a], Weixiao Yan[a], Jie Qi[a], Yuan Guo[c], Fupin Hu[d], Dejian Zhou*[,b], and Xingyu Jiang*[,a]

Abstract: Infections caused by multidrug-resistant (MDR) bacteria are an increasing global healthcare concern. In this study, we developed a dual-ligand-functionalised Au25(SR1)x(SR2)18−x type gold nanocluster and determined its antibacterial activity against MDR bacteria strains. The pyridinium ligand (SR1) provided bactericidal potency and the zwitterionic ligand (SR2) enhanced the stability and biocompatibility. By optimising the ligand ratio, our gold nanocluster could effectively kill MDR Gram-positive bacteria via multiple antibacterial actions, including inducing bacterial aggregation, disrupting bacterial membrane integrity and potential, and generating reactive oxygen species. Moreover, combining the optimised gold nanocluster with common antibiotics could significantly enhance the antibacterial activity against MDR bacteria both in vitro and animal models of skin infections. Furthermore, the fluorescence of the gold nanocluster at the second near-infrared (NIR-II) biological window allowed for the monitoring of its biodistribution and body clearance, which confirmed that the gold nanoclusters had good renal clearance and biocompatibility. This study provides a new strategy to combat the MDR challenge using multifunctional gold nanomaterials.

Key words: antibiotics; Au25(SR)18 nanocluster; combinational therapy; MRSE; pyridinium ligand; zwitterionic

基于荧光的多通道小动物在体血药浓度监测系统的设计

李怡燃[1]，晋晓飞[1]，周慧晶[1]，王飞龙[1]，臧梦洁[1]，钱志余[1*]，顾月清[2*]

[1]（南京航空航天大学自动化学院生物医学工程系，南京，211106）

[2]（中国药科大学工程学院，南京，210009）

目的：在研发新药物的过程中，药物代谢动力学无论是在药物临床前研究还是临床研究中都扮演着重要角色，它不仅是确定药物的给药剂量和间隔时间的依据，同样也是检测药物在其作用部位能否达到安全有效浓度的依据。而对于血药浓度的数据采集主要采用的仍然是传统的采血、解剖、离心等手段提取血药浓度，获得的数据存在时间差异、动物间的个体差异等问题，为解决当前传统方法存在的缺点和为了将其测得的药代数据更加接近生物水平，以及提高临床药物的通过率，采用激光诱导荧光原理，通过光纤对不同组织荧光进行采集，设计了基于荧光的多通道小动物在体血药浓度监测系统。

方法：采用多波长激光耦合系统的激光器，为标记药物的荧光染料提供多种激发光，设计了六根光纤探头组来满足小动物多个组织器官的同步监测需求，以及高灵敏度的荧光光谱仪进行检测。

结果:实现了小动物在体的血药浓度监测，可以同时对血浆、肝、肾脏等多个组织连雪长时间的采集实验。

结论：实现在体的数据采集、血药浓度监测，获取了真实的生物水平数据信息，为后面的药效分析提供了有力的数据。

关键词：药代动力学；血药浓度；在体

S15
医用生物材料与仿生材料

特邀报告

心血管植入介入器械现状及发展趋势研究

奚廷斐
北京大学深圳研究院；中国食品药品检定研究院
Email：xitingfei@tom.com

根据世界卫生组织的数据，心血管疾病是全球的头号死因，到 2030 年心血管疾病将造成大约 2500 万人死亡。由于人口老龄化以及社会经济发展带来居民饮食结构的改变，我国心血管疾病发病率逐年提高，中国正成为心血管疾病发病率最高的国家之一，因此，在相当长的一段时间内，心脑血管疾病的有效治疗都将会是一个重大命题。植介入治疗具有介入创伤小，手术危险小，疗效明显等特点，成为治疗心脑血管疾病的主要治疗方式。 本文从冠脉植介入，心脏瓣膜，房颤治疗，外周血管，肺部介入，神经介入，高血压治疗，心肌衰竭治疗和肿瘤治疗方面介绍了植介入器械现状，对国际产业发展趋势进行介绍，同时对国内介入器械产业发展面临的机遇与挑战进行分析。

光响应生物材料的设计及应用研究

钱海生
安徽医科大学 安徽省转化医学研究院
Email：shqian@ahmu.edu.cn

光响应纳米结构材料吸收光子后，当满足一定的条件时，吸收体分子的电子从低能级跃迁到高能级而处于激发态，而处于激发态的电子极不稳定，当电子从高能级向低能级跃迁时，会以光或热量的形式释放能量，释放的热量导致吸收体局部温度升高，温度升高后导致热膨胀而产生压力波，这就是光声信号。产生荧光、可以用于荧光成像、部分可能会转化为热，可以用于光热成像，光热释放药物，光热治疗，因为隙间穿越，产生光声信号，可以光声成像；产生的光或者热通过能量转移给其他的分子可以产生活性氧，并用于光动力治疗以及能源应用。课题组构建了金属硫化物半导体结构以及其与上转换荧光纳米材料的复合物等近红外光响应纳米结构体系，研究了能量传递的原理，并应用于药物的控制释放，光热 / 光动力治疗肿瘤。金属硫化物空心纳米结构由于其具有优异的光学性质，光照下可产生大量的活性氧自由基，可被用于光控制化学动力学治疗肿瘤，光催化降解难分解有机污染物以及作为药物载体用于药物缓控制释放等，在纳米医学、能源以及环境化学等领域有广阔的应用前景。而，肿瘤乏氧的微环境给肿瘤的光动力治疗造成了极大的障碍，上转换荧光纳米晶体与半导体复合可解决肿瘤乏氧治疗的难题，材料在近红外的照射下可以通过能量的转移不需要氧气存在的条件下产生高毒性的羟基自由基。而且这种纳米结构材料产生活性氧的效率比以往的有机光敏剂要高很多。本研究构建不同的光响应材料，药物缓控制释放等，在纳米医学、能源以及环境化学等领域有广阔的应用前景。

硼硅酸盐调控软硬组织再生与应用研究

潘浩波
中国科学院深圳先进技术研究院
Email: haobo@hku.hk

“碱性开关效应”：硼硅酸盐是一类硼氧 - 硅氧新型双网络玻璃结构，可通过组成设计来调控降解速率，进而营造特定组织重建所需细胞内外环境，引导组织重建。研究发现，硼在材料植入初期对克服氧化应激具有重要作用。硼可抑制 FOXO 信号通路，促进细胞初期活化状态，抗凋亡。进而通过碱性微环境重塑组织再生微环境，抑制破骨前体细胞分化，促进生物矿化生成，发现了碱性微环境可双向调控成骨与破骨，具有“开关效应”：可有效调控细胞活力，上调成骨相关基因的表达，促进干细胞成骨分化，与此同时，抑制破骨前体细胞分化，对维持及重塑骨质疏松骨稳态平衡意义重大。 开发了“碱性开关调控材料”：通过硼 - 氧 / 硅 - 氧双网络玻璃结构，设计了可控降解的新一代生物活性玻璃骨修复材料，实现了材料表面碱性微环境的可控形成。上调了成骨相关基因表达，有序调控及恢复了成骨系细胞功能，抑制了破骨分化，并促进了血管形成，实现了骨稳态重塑；通过正负电荷作用，构建了有机 - 无机复合生物墨水，为大尺寸高力学性能硼硅酸盐支架的打印提供了技术基础，解决了硼硅酸盐材料打印成型难的技术瓶颈，并通过硼硅酸盐生物活性玻璃集成细胞打印技术，实现了细胞高存活率及成骨功能表达，取得了骨缺损理想修复。 基于骨稳态的硼硅酸盐“碱性开关调控材料”的应用转化：开发了可注射硼硅酸盐生物活性玻璃自固化骨水泥，实现了材料降解与再生适配，可对病理和创伤导致的骨缺损进行有效修复；开发了硼硅酸盐生物活性玻璃 / PMMA 骨水泥，可通过微创原位实现材料与宿主骨间骨性界面结合，减少纤维组织包裹，并引导材料界面的血管及新生骨组织长入。 硼硅酸盐生物活性玻璃 /PMMA 骨水泥已进入临床试验，该产品克服了传统 PMMA 材料无骨诱导性的缺点，降低了材料的强度，提高了材料与周围骨组织的力学适配性，有望为骨质疏松骨折骨缺损的治疗提供新材料和新思路。

生物材料研究与转化：兰度生物十年经验总结

谭荣伟
广东省医用高分子植入材料工程技术研究中心，深圳兰度生物材料有限公司
Email: tanrw@landobiom.com

我国每年因烧伤、创伤、溃疡等需植皮的患者超 350 万人，皮肤需求量超 4 亿 cm^2，人工真皮修复材料市场巨大。此外，我国口腔疾病患病率高达 97.6%，口腔可吸收生物膜需求庞大，但国内 70% 的市场被进口产品占据。因此，需迫切提高我国在创面、口腔等领域高端生物医用材料的国产化水平。 兰度生物由清华大学数名博士创办于 2010 年初，致力于烧创伤、口腔、骨科等领域高端生物医用材料的研发及产业化。其中，Lando® 人工真皮修复材料历经 8 年研发，于 2017 年 8 月获国家药品监督管理局批准的Ⅲ类医疗器械注册证（注册证编号：国械注准 20173461356），填补了国内空白，打破了进口垄断局面。产品经过多年的市场推广，已成为国内领先品牌，在数百家三甲医院广泛使用，每年拯救数万患者，让患者最大限度地回归正常生活和工作。Lando® 口腔可吸收生物膜历时 11 年研发，于 2021 年 6 月获Ⅲ类医疗器械注册证（注册证编号：国械注准 20213170483）。该产品的关键指标优于进口主流产品，具有国际领先水平，有望实现口腔修复膜的国产替代。 兰度生物通过 10 年的持续创新研发，实现了创面、口腔修复等领域急需医疗器械的产业化，在骨科、消化道、神外产品等领域的产品研发有序推进。建有省工程中心，具有国际一流的研发和检测平台。公司也获得了国家重点研发计划、省“高端医疗器械”重点专项等多个重大项目支持。当前国家医改政策逐步落地，对同质化医疗产品影响巨大。企业唯有坚持创新，以临床需求为导向，广泛布局，才能在未来市场竞争中立于不败之地。

专题口头报告

NIR 激活的自反馈型纳米胶束用于化学 - 光热治疗乳腺癌

王佃余、杨丽军、刘鉴峰 *

中国医学科学院放射医学研究所 中国医学科学院创新药物放射性药代研究重点实验室

目的：光学疗法联合光控化疗药释放的策略是一种新兴的癌症精准联合治疗方法。本研究制备了一种具有 ROS 响应性的吲哚菁绿（ICG）偶联和藤黄酸（GA）负载的自反馈型纳米胶束，作为一种高度肿瘤特异性的 NIR 激活的药物递送系统，用于化学 - 光热联合治疗乳腺癌。

方法：通过溶剂交换法制备 GA@PEG-TK-ICG 纳米胶束，并利用动态光散射、透射电镜、紫外 - 可见吸收光谱、荧光光谱、红外热成像等方法对胶束的粒径、形貌、光学性质、光热转化能力及稳定性等进行表征；通过考察胶束对红细胞的溶血率、对正常细胞的毒性以及对小鼠血液造成的影响评价其生物相容性；利用 ROS 检测探针考察经各种材料作用后细胞内的 ROS 水平；通过小鼠体内荧光成像评价胶束的肿瘤靶向富集能力；通过 MTT 实验、死活染色实验以及荷瘤小鼠的抑瘤实验，从体外、体内两个层面对乳腺癌化学 - 光热联合治疗效果进行评价；通过 Western Blot 实验探索肿瘤细胞的凋亡机制。

结果：GA@PEG-TK-ICG 胶束是直径 66.8 nm 左右的球体；组装成胶束后能很好地保持 ICG 原有的光学性质和光热转化能力，同时具备良好的结构 / 光学稳定性；胶束不引起溶血，对正常细胞毒性低，对小鼠各血液学指标无明显变化，证明其生物相容性良好；在 NIR 激光照射下，胶束中的 ICG 在实现光热治疗的同时产生 ROS，反馈于纳米胶束，断裂 TK 键，导致胶束解组装，释放 GA，化疗药 GA 不仅能直接杀伤肿瘤，还可作为热休克蛋白（HSP）抑制剂，降低肿瘤细胞的热耐受能力，增强光热治疗效果；Western Blot 实验结果显示胶束能够引起 HSP90 的下调和相关通路蛋白表达的变化；体内实验表明，胶束能高效富集于肿瘤组织，并在 NIR 激活下展现出优异的肿瘤化学 - 光热协同治疗效果。

结论：该自反馈型纳米胶束在 NIR 激活下，兼具可控性释药和光热转化的性能，且生物相容性良好，因此在癌症治疗中具有潜在的应用前景。

关键词：NIR 激活的纳米胶束；自反馈；化学；光热治疗

新型光控气体载体材料及其生物应用

俞思明 *、薛巍

暨南大学生物医学工程系

目的：气体治疗，由于其绿色、高效、不易产生耐药性等优点，在抗菌、抗肿瘤等领域的应用中显示出潜在的临床应用前景。然而，气体分子具有随意扩散、不可控的特点，其直接使用所产生的治疗效果也极为有限。因此，设计合成新型气体载体材料，实现对气体的高效负载及可控释放，对于提高气体的生物治疗效果具有重要的研究意义。

方法:有机 - 无机纳米杂化材料由于同时具备了有机材料和无机材料的优点，在纳米医学领域受到广泛关注。有机高分子材料（如聚多巴胺、树状高分子）由于其多功能团、表面易修饰等特性，能够实现活性分子的高效负载。具有表面等离子激元特性的无机材料（如各向异性金纳米结构），由于其在近红外区域优异的光学性质，在光控

释药纳米体系的构建中起到关键性的作用。通过利用“分步聚合”、“原位聚合”等方法，将上述功能有机高分子修饰无机材料，制备获得新型多功能有机 - 无机纳米杂化材料，用于气体分子的负载与控释。

结果：基于有机 - 无机纳米杂化材料的新型光控气体载体有效解决了目前气体材料存在的不足，即能实现对气体分子（一氧化氮、氢气等）的高效负载，又能实现在近红外 I、II 区激光照射条件下的可控释放。同时，纳米载体在近红外 I、II 区具有优良的光热效应，有效将气体疗法与光热疗法结合，实现气体 / 光热协同高效治疗。生物应用研究表明，新型光控气体载体具有显著的抗肿瘤、抗耐药菌活性 [1-4]。

结论：新型有机 - 无机纳米杂化材料是一种有效的光控气体载体材料，在临床上具有潜在的转化应用价值。

关键词：缓控释材料；光热治疗；气体治疗；抗菌；抗肿瘤

3D 生物打印多功能生物活性玻璃复合自愈合水凝胶仿生骨支架的研究

朱卉 *[1]、贺健康 [1]、Aldo. R. Boccaccini[2]

1. 西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室

2. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

目的：3D 生物打印技术能够精确分配装载活细胞的生物墨水，近年来在建造具有复杂仿生活组织或人工器官方面取得了显著发展。结合水凝胶类细胞外基质的优点 [1]，以及生物活性玻璃与骨组织类似的化学成分 [2]，开发一种兼具优越的物理化学性质、生物活性、生物功能特性，且有利于打印体组织成熟的纳米复合动态生物墨水，为生物打印用于骨组织工程提供新思路。

方法：本研究开发了一种基于氨基化的掺铜介孔生物活性玻璃纳米颗粒 (ACuMBGNs)、氧化海藻酸盐及明胶组成的动态水凝胶 (ADA-GEL 或 AG) 的多功能纳米复合生物墨水。通过粒子与聚合物之间紧密的亚胺键链接可以得到力学增强的可逆动态生物墨水，实现细胞良好增殖铺展，通过体系内 Ca2+、Cu2+、Si4+ 等离子释放赋予打印体良好的生物活性和生物功能特性。

结果：ACuMBGN、明胶均能与氧化海藻酸钠之间通过席夫碱反应形成动态可逆的亚胺键，该复合生物墨水具有良好的自愈合性及流变特性，3D 挤出成型后打印体具有优异的形状保真度和结构稳定性，以及生物活性。此外，墨水基质的动态微环境以及氨基化颗粒引入的细胞粘附点，促使包载的人骨肉瘤细胞（MG63）和小鼠骨髓基质细胞（ST2）能够快速铺展 (3 天内) 且具有很高的存活率 (>90)。体外培养 7 天，AG-ACuMBGN 与 AG 相比，打印体内碱性磷酸酶活性和培养基中血管内皮生长因子的释放明显提高，这表明该纳米复合生物打印结构具有潜在成骨和成血管特性。引起这一现象的原因是钙、硅离子释放刺激和动态基质中的细胞力学传感诱导细胞在复合材料打印体中加速成骨分化，而铜离子有助于提高血管内皮细胞因子 (VEGF) 的释放，则赋予打印体促血管生成的能力。

结论：该纳米复合生物墨水为成骨细胞生长分化提供了优异的物理化学和动态的基质微环境，具备促成骨及促血管生成的能力，为 3D 生物打印在骨组织工程中的应用提供了实验基础。

关键词：3D 生物打印；自愈合；动态水凝胶；介孔生物活性玻璃；骨组织工程。

钾离子荧光传感器

田颜清
南方科技大学

目的：钾离子（K+）是人体中含量最丰富的金属离子之一，它在众多生理活动中起着极其重要的作用。K+ 浓度异常通常是和某些疾病如多钾症、缺钾症、心脏病、脑疾病、癫痫以及癌症等密切相关。合理设计并制备可以特异地测量或实时监测细胞内外钾离子浓度变化的荧光钾离子传感器，对钾离子相关疾病的诊断及疾病相关药物的开发和筛选至关重要。

方法：利用有机及高分子方法制备了多种钾离子荧光探针。这些探针包括小分子探针、高分子探针和纳米探针。其中我们利用高分子技术在一个高分子侧链中引入钾离子探针的同时还引入一种对钾离子不响应的参比探针，实现了比率型双色钾离子探针，为更好地实现在细胞微环境下精准地对钾离子进校分析和测量打下基础。这种利用高分子手段合成比率型探针的方法有效避免了小分子传感器结构修饰中合成和提纯困难等问题。 通过 NMR、荧光光谱仪等手段表征了材料的性质；利用共聚焦荧光显微镜观察了材料在细胞内的分布；利用一些刺激药物对细胞内钾离子通道进行刺激观察细胞内钾离子内流或外流导致的荧光变化。

结果：通过结构调控钾离子探针可以是在细胞外应用，也可以在细胞内应用。对于线粒体靶向的探针获得了细胞内较高的线粒体定位，证明了设计的合理性。我们利用包括尼日利亚菌素、氟哌啶醇、阿司咪唑等药物刺激下观察到了细胞内钾离子的内流以及外流，为药物筛选提供了新的手段和材料。也利用酶标仪实现了快速高通量地观察钾离子浓度的变化。

结论：研究结果为更加深入理解钾离子和疾病的关系提供了参考，丰富了钾离子研究领域。

关键词：钾离子传感器；荧光成像；钾离子浓度变化；钾离子通道

光聚合贻贝仿生 ε - 聚赖氨酸水凝胶的构建及感染创伤修复作用

李静菲、沈锦涛、刘冬冬、刘岩、贾学丽、杜丽娜、袁伯川、金义光 *
军事科学院军事医学研究院辐射医学研究所

目的：创伤后复合感染会导致创面愈合时间延长甚至引起严重并发症，威胁伤者生命安全。传统创伤敷料如纱布、止血海绵等难以控制细菌感染，同时其移除可能造成二次损伤。水凝胶创伤敷料可封闭伤口，阻断污染和细菌感染，但缺乏同时能满足伤口适应性、合适粘性、抗菌性、安全性的水凝胶敷料。聚赖氨酸（ε-polylysine, EPL）由白色链霉菌发酵产生，是一种天然阳离子抗菌多肽，通过破坏细菌质膜发挥广谱抗菌作用。本文构建了一种光聚合贻贝仿生 ε - 聚赖氨酸水凝胶，可实现伤口适应性原位快速光聚合成胶，并具备优良的抗菌性能，利于感染创伤的修复。

方法：高碘酸钠氧化透明质酸得到醛基化透明质酸，EDC/NHS 催化下，在其侧链接枝多巴胺，明显增强材料的粘附性，然后与丙烯酰胺和 EPL 混合进行希夫氏碱反应，在原位经 405 nm 蓝光照射，1 min 内形成水凝胶。

结果：该水凝胶对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、创伤弧菌抑制率均接近 100%。该水凝胶对小鼠成纤维细胞（L929）的生长没有影响，安全性好。在小鼠皮肤感染创伤模型上，与模型组、银敷料组比较，该水凝胶明显加快创伤修复速度，促进胶原沉积、血管再生、肉芽增生，其中伤口愈合率分别为 75.5%、85.1%、92.2%；胶原容积分数分别为 90.7%、85.9%、96.5%；α-SMA（α- 平滑肌肌动蛋白）的平均荧光强度分别为 11.4、12.1、30.0；CD31（血小板 - 内皮细胞粘附分子）的平均荧光强度分别为 10.7、24.6、26.4；肉芽组织厚度分别为 704.0 μm、795.5 μm、1056.9 μm。

结论：本研究为感染创伤修复提供了一种易使用、安全、高效的水凝胶敷料，该抗菌粘附水凝胶可用于治疗细菌感染的伤口。

关键词：聚赖氨酸；光聚合；水凝胶；创伤修复；抗菌

仿生整流纳米孔道的分子理论研究

黄恺
深圳湾实验室

目的：仿生纳米孔道对我国解决 21 世纪日益严重的健康与环境问题意义重大。实验上对智能纳米孔道内分子性质表征的困难是该领域发展所面临的一个限制因素。本工作通过分子理论研究高分子非对称修饰的纳米孔道，目标在于理解纳米限域内高分子修饰物介导的离子输运，为高效的纳米孔离子整流设计提供理论指导。

方法：为了系统而准确地研究纳米孔的离子输运性质，我们使用了分子理论这一特殊的理论计算工具。分子理论是一种特殊的自洽密度泛函方法，通过优化高分子的构象概率分布构建包含密度场在内的多种分子场。该方法显性地考虑了大量可能的高分子三维空间构象，可以很好地揭示修饰物在纳米受限空间内的功能性结构，并计算其构象熵。分子理论可以成功地预测多聚电解质修饰纳米孔的电导率（J. Am. Chem. Soc. 2010, 132, 12404-12411），是高分子修饰物设计的有力工具（J. Am. Chem. Soc. 2017, 139, 6422-6430）。

结果：受细胞核孔的启发，我们设计了多聚两性弱电解质非对称修饰的纳米孔道。基于分子理论的计算，我们发现纳米孔修饰物的非对称电荷分布可以导致纳米限域内高度极化的静电场。在特定方向的偏置电压下，纳米孔内出现阻碍自由离子输运的静电陷阱。我们的定量计算表明该非平衡态陷阱的强度远超过平衡态静电场与外加场的线性叠加。通过系统性地研究酸碱度及盐浓度对非对称离子输运的影响，我们的理论研究预测了环境因素对纳米孔离子整流的影响。综上，我们的工作探索了通过非对称高分子修饰实现纳米孔离子整流的可能性，并揭示了该新型整流纳米孔的整流微观机制。

结论：非对称多聚两性弱电解质修饰可以实现高效的纳米孔离子整流，其整流效果对酸碱度及盐浓度等环境因素敏感。外加偏置电压导致的静电场陷阱是离子整流的重要微观机制。高分子修饰物的构象与离子输运具有耦合效应，有利于提高整流比。

关键词：仿生纳米孔道；高分子功能性修饰；离子整流；分子理论

纳米人工神经营养因子逆转酒精引起的神经损伤

黄丽文、薛雪 *
南开大学

目的：临床研究表明，脑源性神经营养因子及其受体原肌球蛋白相关激酶（tropomyosin-related kinase, Trk）可激活神经元的生长、发育和突触可塑性，是缓解乙醇（Ethanol, EtOH）诱导的神经变性类疾病的重要策略。但由于传统药物血脑屏障通透性差、半衰期短和降解速度快等缺点，外源性给予神经营养因子的临床试验仍未达到理想效果。纳米材料具有特殊且普适的物理化学特性，可以弥补传统药物的缺陷，但对于如何适应神经疾病的特性和可调性仍需深入探索。

方法:1）密度梯度超速离心；2）EtOH 大鼠模型构建；3）新物体识别；4）莫里斯水迷宫；5）免疫细胞化学；6）基因芯片分析；7）质粒构建和细胞转染；8）大鼠 TrkB 敲低实验；9）荧光猝灭；10）荧光共振能量转移；11）GFP-trap；12）蛋白免疫印迹。

结果：本研究中，我们将高度分散的单壁碳纳米管（single-walled carbon nanotubes，SWNTs）分成了不同的结构成分：单个 SWNTs、束状 SWNTs（bundled SWNTs, bSWNTs）和束状有缺陷的 SWNTs。基于 SWNTs 相对精准的纳米结构，我们进而探究其对 4 天狂饮型 EtOH 诱导的神经变性大鼠模型的治疗效果，发现 bSWNTs 有效恢复 EtOH 大鼠学习记忆能力，具有神经保护作用和神经再生功能。最终阐了其机制：bSWNTs 直接与 TrkB 相互作用，并激活 TrkB 的磷酸化和二聚化，影响其下游 MAPK 和 PI3K/Akt 通路，以增强神经元再生活性。

结论：本研究建立了精准的纳米材料构效关系，表明 bSWNTs 是治疗神经变性类疾病的最有效成分，可在体内以低剂量（40 ng/μL）长效（15 天）逆转 EtOH 大鼠的学习记忆行为和神经损伤，并阐述了分子机制，打破了目前纳米材料靶标研究的局限性，提出 bSWNTs 可作为纳米人工神经营养因子发挥作用，为治疗神经变性类疾病开辟了一条新途径。

关键词：人工神经营养因子；乙醇；单碳纳米管

可注射多糖水凝胶的结构调控与生物医学应用

陈静 *、韦华

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

目的：可注射水凝胶可在一定条件下（温度、光）原位凝胶化或者具备“溶胶 - 凝胶”可逆转变性质，便于有效地填充具有不规则几何形状的目标部位，对于精确植入深层和封闭的组织学部位十分有利，在药物递送、细胞三维培养和生物 3D 打印等众多领域具有重要的临床治疗和医学研究意义。

方法：针对多糖大分子刚性大、网络化结构和力学性能难调控等不足，我们首先对多种多糖进行官能化改造，建立了一套官能化多糖分子库，它们具有醛基、胺基、肼基、双键等活性基团，目的是利用它们之间的反应，构建可逆的动态共价键交联网络。

结果：所获得的动态水凝胶在剪切力作用下发生断键，网络被破坏，力撤掉后又能够很快恢复成键，具备了良好的可注射性。进一步在光辐照下，所含的双键还能够快速聚合，从而达到调控力学强度的目的。通过这样的设计，我们实现了预想的注射自适应模量调控。

结论：本工作在多糖水凝胶体系中以非共价作用方式引入具有调控网络结构和控制凝胶化过程的合成高分子，并对多糖进行动态共价键化学官能团修饰，对凝胶的相变进行可控调节，获得了温度、光诱导可控凝胶化的特性，探索了此类多糖水凝胶在皮肤创伤修复、生物 3D 打印和柔性生物传感器方面的应用。

关键词：可注射；多糖；水凝胶；组织修复

An Artificial PVA-BC Composite That Mimics the Biomechanical Properties and Structure of the Natural Intervertebral Disc

Mengying Yang、Yuru Chen、Weiqiang Liu、Song Wang*

清华大学

Objective: Disc herniation is one of the most ubiquitous health care problems in the modern city. For severe patients, eventual surgical interventions are required, including spinal fusion or artificial disc replacement. To date, the reported outcomes showed fusion with no superiority, and the long-term outcomes of prostheses had no better than fusion. This leaves much room for improvement in artificial intervertebral disc (IVD) designs. The appropriateness of polyvinyl alcohol (PVA) for biomedical applications has been recognized due to its highwater content, excellent biocompatibility, and versatile mechanical properties in the area of artificial cartilage and knee meniscus, which shows potential in use of artificial disc materials.

We aimed at assembling a wide range of the new-designed PVA (Polyvinyl Alcohol)-BC (bacterial cellulose) composites which mimicked not only the functions of normal joint biomechanics and the toroidal structure of the natural IVD.

Methods: PVA-BC composites of toroidal and layered configurations with six concentrations (PVA of 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%) were prepared. The elastic modulus and creep value after 4-hour-compression were compared between the artificial materials and natural discs. Biocompatibility was also assessed.

Results: The elastic modulus increased considerably with increasing PVA concentration, spanning from 1.67 MPa to 3.59 MPa, and the toroidal structure increased the elastic modulus by 57.46% compared with the layered one at the same level of concentration. 40% PVA formulation provided the best mimicry of the natural human IVD in compression (3.59 MPa versus 2.9-6.6 MPa). The 4-hour creep of 40% PVA formulation was 0.65 mm, which was comparable to human IVD (~1.4 mm). And the biocompatible results showed that the PVA-BC composite even had a superior grade (Grade 0: 103.39%) than the sodium alginate hydrogel (Grade1: 94.31%).

Conclusion: PVA-BC composite is a promising material for a new tissue-mimicking artificial intervertebral disc, possessing excellent elastic modulus, superior biocompatibility, and good creep mimicry of the human IVD. Toroidal structure further mimicked the natural structure and improved the compression performance by 57.46%, thus maintained dimensional stability under sustained loading and had minimal risk of impingement on surrounding tissues. The mechanical characterization of a wide range new-designed PVA-BC composites provided a solid foundation for future study in biomaterials development.

Key words: PVA-BC composite; biomechanics; biomaterials; intervertebral disc; creep

基于表界面行为的超疏血快速止血材料

李哲 *、李媛、李国昊

中山大学

目的：不可控的血液流失和凝血后敷料与伤口的强粘附是当前医用止血材料的两大难题；传统的亲水性止血材料使用时难以阻止血液流失，使用后牢固地黏附在伤口上难以剥离，强制剥离将导致伤口撕裂或感染。为解决该问题，我们提出了基于表界面行为的超疏血 - 快速凝血 - 凝血后自剥离的高性能止血材料。

方法：采用高压喷涂将碳纳米纤维 - 疏水高聚物复合分散液喷涂在亲水性医用止血基底材料上，疏水高聚物固化后可得到具有特殊纳米纤维结构的超疏血表面；进一步用蜂胶将高岭土微米颗粒修饰在纳米纤维表面，得到固定为活性止血物质超疏血快速止血材料；对该材料的疏水 / 疏血特性、快速凝血特性、黏附特性以及安全特性，通过体外和动物实验进行了系统的研究。

结果：超疏血快速止血材料（疏水角：153.7±1.2°）作用在伤口后，利用其超疏血特性将血液限制在伤口内，从而以物理的方式实现快速止血，避免血液流失；超疏血表面的纳米纤维结构能够促进纤维蛋白在血液和止血材料的接触界面快速产生，快速形成高强度的凝血块封堵伤口；由于其抗血液浸润特性，止血材料将以微纳点接触的形式黏附在伤口血痂上，血痂凝固收缩时产生的界面剪切力将破坏止血材料和血痂的局部点接触，实现止血材料和伤口的低黏附剥离。超疏血快速止血材料的抗血液流失及低黏附特性在大鼠背部伤口模型上得到了验证；与亲水医用纱布或 QuickClot/Celox 等快速止血材料相比，其血液流失量仅为 7.3~9%，伤口粘附力仅为 2.5~2.9%；大鼠皮肤接触实验进一步验证了该材料用于体外止血的安全性。

结论：本研究提出的超疏血快速止血材料从表界面行为的角度，以“先止血、再凝血、凝血后从伤口自剥离脱落”的方式，有效地解决了亲水性医用止血材料的血液流失和伤口粘附等顽固难题，为高性能医用止血材料的设计提供了新策略。

关键词：超疏水；止血材料；纳米纤维表面；表界面行为；伤口黏附

生物活性复合 3D 打印支架用于骨肉瘤术后治疗和骨缺损修复

张卫 *、赖毓霄

中国科学院深圳先进技术研究院

目的：骨肉瘤是最常见的恶性原发性骨肿瘤，恶性程度高，预后差。治疗策略是“手术切除 + 术前术后辅助化疗”，但是如何有效防止术后肿瘤原位复发及转移，修复术后大面积骨缺损和重建肢体功能仍然是临床棘手问题，急需具有肿瘤治疗与骨修复功能的新手段。

方法：团队提出构建骨肿瘤治疗 - 骨缺损修复一体化活性生物材料的思路。以镁金属颗粒与可降解聚合物复合材料体系为基础，构建具有“抑制肿瘤 + 促进成骨 + 力学适配”一体化活性支架。以 3D 打印技术为桥梁，实现多重结构仿生、力学适配的复合多孔支架的精准制造，研究其光热作用、免疫微环境调节及活性离子释放与抑制肿瘤及骨修复之间的构效关系。利用材料学、生物学和动物模型系统评估支架抗肿瘤和骨修复的综合效果，阐明其生物学机制。

结果：采用低温沉积 3D 打印技术制备了系列 Mg 颗粒复合 PLGA 高分子支架（简称 PLGA/Mg 支架，P10M 为含 10%Mg 支架，为最优组成）。该 PLGA/Mg 支架具有仿生多孔结构，具有 500um 左右的大孔及更小的微孔。通过一系列的光热实验证明了在近红外激光照射下，PLGA/Mg 支架具有良好的近红外光热效果，能在近红外光响应条件下实现对骨肿瘤细胞 143B 的选择性有效抑制，同时对成骨细胞 MC3T3-E1 不造成明显损伤。在小鼠骨肉瘤复发模型证明 P10M 在近红外条件下完全抑制肿瘤复发。同时，P10M 支架释放 Mg 离子可激活成骨细胞的 AKT 和 β-catenin 通路，上调成骨细胞相关转录因子 Runx2、Osterix 的表达和晚期 OPN、OPG、OCN 蛋白的表达。最后，在大鼠股骨缺损模型证明 P10M 支架能有效促进骨缺损修复，植入 8 周后显示出显著提高缺损部位新骨的生成。

结论:本研究首次探讨了基于 3D 打印技术制备的 PLGA/Mg 复合支架的光热抗肿瘤、促成骨的多重功能，并具有良好的生物相容性和可降解性，为研发多功能活性生物材料用于骨肉瘤术后治疗提供新思路与新方法，具有广阔的临床应用前景。

关键词：骨肉瘤；3D 打印；镁颗粒；光热；骨修复

丝蛋白的可控羧基化修饰及功能性生物材料的制备

孙子扬 *、郭成辰

西湖大学

目的：蛋白基天然高分子材料，如胶原蛋白、丝蛋白、角蛋白等，由于具有良好的生物相容性与生物可降解性，被广泛应用于植入材料、组织修复、再生医学、药物缓释等多个生物医学工程领域。但是，相比于合成高分子材料，已发展的针对蛋白基材料的化学修饰方法十分有限，并且难以制备得到具有高修饰度和可控修饰度的蛋白基材料，极大地制约着蛋白基天然高分子材料的实际应用和未来发展。

丝蛋白，是构成天然蚕丝的结构蛋白，由于其来源丰富，并具有优异的力学性能，近年来受到研究者的广泛关注。在本工作中，我们实现了对丝蛋白分子链侧链官能团（如羟基、氨基等）的高效羧基化修饰，并能够精准控制羧基化修饰度，定向调控蛋白分子的化学结构及物理化学性质。

方法：在丝蛋白溶液中加入丁二酸酐，对丝蛋白分子侧链官能团中丰富的羟基与氨基进行羧基化修饰。在经简单的透析纯化后，通过核磁氢谱计算丝蛋白中羧基化修饰度，并通过红外光谱、接触角测试仪、力学测试仪、流变仪等对丝蛋白材料的结构与材料性质进行表征。最后，通过一系列体外及体内实验，探究羧基化丝蛋白的生物相容性与生物降解性。

结果：核磁结果表明，丝蛋白分子链中有超过 12% 的氨基酸实现了羧基化修饰，此修饰度远远超过了已有的报道。同时，通过调节羧基化反应的反应时间、温度、反应物浓度与投料比等，羧基化程度能够被精确调控。

经简单的透析处理后得到羧基化丝蛋白溶液，可被进一步加工为薄膜、水凝胶、多孔海绵及蛋白块材。羧基化丝蛋白的分子量并未发生下降，其在基本保持丝蛋白结构与良好力学性能的同时，具有更好的亲水性与酶降解性能。更为重要的是，羧基化丝蛋白可以利用点击反应接枝功能性官能团、药物或生物活性分子，大大拓展丝蛋白的生物学功能与医学应用。

结论：本课题中开发的丝蛋白羧基化修饰方法高效且简便，得到的羧基化丝蛋白材料具有良好的力学性能与生物相容性，将在组织工程领域中发挥重要的作用。

关键词：丝蛋白；羧基化；功能化；可控修饰

研究生 - 青年优秀论文复赛

含血红蛋白氧载体（HBOC）的新型器官保存液在心脏灌停、心肌保护及离体心脏保存中的应用

游可为（研究生），刘嘉馨

（中国医学科学院 北京协和医学院 输血研究所，成都 610052）

目的： 通过研究含血红蛋白氧载体（HBOC）的器官保存液在心脏灌停、心肌保护及低温条件下保存离体大鼠心脏的效果，评价延长离体心脏保存时间的可行性，为临床心脏灌停、心肌保护及离体心脏保存的应用提供依据。

方法:将 30 只健康雄性 SD 大鼠随机分为 5 组，分别为空白对照组（HTK 液灌停并保存 12h）、实验 A 组（含 0.3g/dL 血红蛋白的 HTK 液灌停并保存 12h）、实验 B 组（含 0.6g/dL 血红蛋白的 HTK 液灌停并保存 12h）、实验 C 组（含 1.2g/dL 血红蛋白的 HTK 液灌停并保存 12h）、阳性对照组（HTK 液灌停并保存 6h），每组 6 只，采用 Langendof 灌注装置进行心脏保存前后的灌注，于灌停前及复灌后检测心功能血流动力学指标，包括心率（HR）、左室舒张压（LVDP）、冠脉流量（CF）和左室压力变化速率（±dp/dt），灌注结束后取心肌组织制作光镜标本观察心肌组织结构变化。

结果：含 1.2g/dL 血红蛋白氧载体（HBOC）的器官保存液在 2~8℃下能够迅速灌停心脏，保存离体心脏 12h 后，供心心率（HR）、左室舒张压（LVDP）、冠脉流量（CF）和左室压力变化速率（±dp/dt）与 HTK 液保存 6h 的结果差异均无统计学意义（P ＞ 0.05），与 HTK 液灌停及保存 12h 结果比较，心肌纤维排列更加规律，细胞结构破坏及心肌细胞凋亡较少，提示保存液中添加血红蛋白氧载体（HBOC）可有效的延长心脏保存时间。

结论： 含血红蛋白氧载体（HBOC）的器官保存液可有效的实现心脏灌停并可有效保存和维护离体心脏 12h 后的心肌功能，尤以含 1.2g/dL 血红蛋白氧载体（HBOC）的器官保存液效果最明显。

关键词：血红蛋白氧载体；心脏保存液；HTK 液；动物实验

S16
组织工程与再生医学

特邀报告

间充质干细胞来源的外泌体在缺血性疾病中的治疗应用

李宗金
南开大学医学院
Email: zongjinli@nankai.edu.cn

在我国，缺血性疾病已成为人群的主要死亡原因，干细胞移植治疗通过促进血管新生，能够降低病人的致残率和致死率。其中间充质干细胞（MSCs）作为一种良好的种子细胞，使用最为广泛。近年来，越来越多的证据表明 MSCs 的治疗学功能主要依赖于其旁分泌作用。研究显示，MSCs 除了释放可溶性小分子物质，还可以通过释放大量的外泌体发挥其治疗作用。MSCs 来源的外泌体携带生物活性分子，包含了大量细胞因子、microRNA 等成份，具有与 MSCs 相似的生物学功能，被认为可以替代 MSCs 用于疾病治疗，促进受损组织功能及结构的恢复。本报告将探讨如何获得高生物活性的外泌体并应用到下肢缺血及肾脏等疾病的治疗。

Nitrate-functionalized biomaterials for cardiovascular regeneration

赵强
南开大学生命科学学院
Email: qiangzhao@nankai.edu.cn

Nitric oxide (NO) is a short-lived signalling molecule that plays a pivotal role in cardiovascular system. Organic nitrates represent a class of NO-donating drugs for treating coronary artery diseases, acting through the vasodilation of systemic vasculature that often leads to adverse effects. Herein, we designed a nitrate-functionalized patch, wherein the nitrate pharmacological functional groups were covalently bound to biodegradable polymers, thus transforming small-molecule drugs into therapeutic biomaterials. When implanted onto the myocardium, the patch released NO locally through a stepwise biotransformation, and NO generation was remarkably enhanced in infarcted myocardium because of the ischaemic microenvironment, which gives rise to mitochondrial-targeted cardioprotection as well as enhanced cardiac repair. The therapeutic efficacy was further confirmed in a clinically relevant porcine model of myocardial infarction. All these results support the translational potential of this functional patch for treating ischaemic heart disease by therapeutic mechanisms different from conventional organic nitrate drugs.

多能干细胞在心血管疾病研究中的转化应用

胡士军
苏州大学心血管病研究所
Email: shijunhu@suda.edu.cn

心血管疾病严重威胁着人类健康，其死亡率已跃居疾病死亡原因的首位。因此，亟需找到有效的治疗方式。多能干细胞主要包括胚胎干细胞和诱导多能干细胞，具有无限增殖、多向分化潜能等特征，因此在再生医学等领域具有巨大的潜力。利用多能干细胞诱导产生的心血管细胞，可应用于疾病模型诊断、药物筛选和心肌修复，其具有非常广阔的应用前景。

在 NAFLD/NASH 中利用肠道类器官研究 MTL-GPRC6A 途径对 GLP-1，Neurotensin 的调控作用

任培根
中国科学院深圳先进技术研究院，能量代谢与生殖研究中心
Email: pg.ren@siat.ac.cn

非酒精性脂肪肝（NAFLD）及非酒精性肝炎（NASH）已成为目前世界范围内慢性肝病的主要病因，而由于其发病机制尚未明确，从而严重制约了针对它们的新药研发。小肠内分泌细胞产生的肠道激素在肥胖和 NAFLD 的发展过程中的调控作用逐渐受到研究人员的重视，它们具备调节食物摄入、胃排空、肠道运动、肠道屏障形成和脂质代谢等多种生物学功能，然而肠内分泌细胞种类繁多，大多数细胞类型仍缺乏体外细胞系，增加了后续研究分子机制的难度。本团队首次发现并命名的可口服多肽激素 Metabolitin（MTL）在 NAFLD/NASH 的防治中表现出良好的前景，并初步探明其作用机制。但具体的 MTL-GPRC6A 途径如何在肠道粘膜细胞中实现对 GLP-1 和 Neurotensin 的调控仍需进一步探讨。而这种多细胞类型相互调控作用机制研究中，细胞系、primary cell 以及 ex vivo 的组织等研究模型都难以胜任。因此，我们提取小肠肠道类器官配合细胞细胞、实验动物模型来研究 MTL-GPRC6A 途径对肠道激素和 NAFLD/NASH 的调控作用和分子机制。

基因编辑技术的开发和应用

荣知立
南方医科大学
Email: rongzhili@smu.edu.cn

CRISPR 基因编辑技术是近年来生物技术领域的重大突破，开发基于 CRISPR 系统的新技术应用于不同的场景是领域内的关键发展方向。我们开发出 Cas9-N57 系统，可以实现外源 DNA 的高效靶向基因组整合。该方法可在不同细胞的多个位点特异性的高效插入外源 DNA，可提高大片段（13kb）DNA 的插入效率，可应用于 CAR-T 细胞的制备，也可用于小鼠肿瘤模型制备。DNA 双链断裂引发的安全问题是 CRISPR 基因编辑技术临床应用的瓶颈问题，而开发不改变 DNA 一级序列的基因激活方式是解决该瓶颈的重要方案之一。基于较小的 ***Cj***Cas9，我们开发出 MiniCAFE 系统，可以在单拷贝的情况下在人源细胞中高效激活靶向基因的表达，可以在线虫中激活寿命调控基因，延长线虫寿命，可以在成年小鼠的肝脏中激活 ***Fgf21*** 基因，调控机体代谢。Cas9-N57 和 MiniCAFE 系统拓展了 CRISPR 技术的潜在应用场景，具有较好的临床应用前景。

心血管祖细胞编程与心脏修复

曹楠
中山大学中山医学院
Email: caon3@mail.sysu.edu.cn

心血管祖细胞（cardiovascular progenitor cells, CPCs）是一类在胚胎心脏发育中逐渐特化产生的干细胞。其在理论上具有大量增殖能力，是唯一具有明确分化为多种功能性心血管细胞潜能的干细胞。我们和领域内其他多项研究证明，移植 CPCs 可补充心梗后丧失的心肌细胞并促进梗死区血管化，明显改善心梗动物心功能，并展现出比单纯心肌细胞移植更显著持久的效果，为根治心梗带来了新的希望。由于 CPCs 仅在胚胎发育时期存在，如何从病人自体获取和制备足量 CPCs 细胞用于移植成为亟待解决的关键科学问题。我们通过高通量药物筛选技术，首次利用小分子化合物将小鼠和人成纤维细胞直接转化为 CPCs（chemically induced CPCs, ciCPCs）。这一化学重编程系统降低了基因转染可能带来的修改基因组的风险，为心脏细胞治疗提供了新的供体细胞来源。上述工作已被 Nature Biomedical Engineering 期刊接收，即将见刊。

干细胞药物的单细胞质控研究

张英驰
中国医学科学院血液病医院（中国医学科学院血液学研究所）
Email: zhangyingchi@ihcams.ac.cn

全球干细胞药物开开发进展迅速，各种创新性产品干细胞药物不断涌现，不同于以往的传统药物，干细胞药物是“活细胞”药物，这就为干细胞药物的监管和质量控制带了严峻的挑战。我们充分利用近年来快速发展的单细胞测序技术探索干细胞药物的异质性和细胞的进化规律，利用转录组测序，甲基化组测序和蛋白质组等多组学测序手段挖掘新的干细胞质控的生物学参数，建立疾病动物模型，开展干细胞药物的功能评价，利用单细胞技术挖掘有效性分子生物标记。

用于慢加急肝衰竭的间充质干细胞药物研发

韩之波
天津昂赛细胞基因工程有限公司
Email: hanzhibo@amcellgene.com

慢加急性（亚急性）肝衰竭（ACLF）是我国最常见的肝衰竭类型，病情凶险，预后极差，死亡率高。我们探索了间充质干细胞对 ACLF 的有效性，并按照药物研发的流程，完成了脐带间充质干细胞注射液的制剂工艺、药学、药理和毒理等研究，并向国家药品监督管理局药品审评中心提交 IND，并获得默示许可，目前已有慢加急肝衰竭等 3 个适应症获批进入临床试验，为我国 MSC 药物产业转化起到积极的推动作用。

专题口头报告

生物活性材料调控微环境促进创面修复与组织再生

邓君
陆军军医大学西南医院烧伤研究所
djun.123@163.com

烧伤、创伤、糖尿病等引起的皮肤创面是平战时最常见的临床问题之一。创面微环境是影响皮肤组织再生修复速度与质量的最关键因素之一。研究认为，持续高氧化应激、感染和血供障碍等可彻底破坏再生微环境，是导致创面迁延不愈的最主要原因之一。但如何精确、有效、实时调控创面微环境，进而促进创面高质量修复与组织再生始终是创面修复领域的难题之一。本报告聚焦于“如何构建活性生物材料营造最佳创面微环境，促进皮肤组织再生修复”开展研究。针对高氧化应激、感染和血供障碍等三种公认的最常见创面微环境，开发出系列生物活性材料，有效改善了创面微环境，促进各种急慢性、难愈性创面的修复和皮肤组织再生。

一种新的用于心脏再生研究的动物模型

Lincai Ye、Yingying Xiao、Haifa Hong
上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

目的：目前用于心脏再生研究的哺乳动物模型仅限于新生动物的心尖切除模型和心肌梗塞模型，两者都存在是否有心肌细胞增殖以及增殖时间窗的较大的争议。转录组测序技术表明心肌梗死模型中假手术组和手术之间的心肌细胞的差异基因表达谱几乎完全一致。本研究以心肌细胞增殖作为最重要的指标，尝试构建新的心脏再生动物模型。方法和结果：在大鼠出生后第一天利用肺动脉环缩术构建新生鼠压力负荷模型并在出生后第 7 天通过超声心动图和血流动力学测量加以鉴定。对分离纯化后的心肌细胞进行转录组测序，结果表明压力负荷组和假手术组间差异表达基因有 5496 个。GO 和 KEGG 分析表明，这些差异基因主要介导有丝分裂和细胞分裂。细胞增殖实验表明，压力负荷组增殖标志物显著增加。人婴幼儿压力负荷心肌标本中增殖标志物增加了大约两倍。结论：在大鼠和人类的新生儿阶段，压力负荷均能明显促进心肌细胞增殖。 压力负荷模型的成功构建为为心脏再生研究提供了一种新的动物模型。

关键词：压力负荷；心肌细胞；增殖；转录组测序；右心室

富集 miR-381 的微小胞外囊泡通过负性调控 TAOK1 诱导间充质干细胞促软骨再生的研究

何晓敏
上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

目的：近来，细胞外囊泡（Small extracellular vesicles，sEVs）在胞间信号转导和微环境塑造过程中发挥的作用成为研究热点。故本研究拟通过收集间充质干细胞（MSCs）经小分子化合物 Kartogenin（KGN）预

处理后所产生的 sEV（KGN-sEV），深入探讨其内的关键成分及其促 MSCs 软骨再生的作用及机制。

方法：利用人脐带 MSCs（hUCMSCs）作为种子细胞，依据是否经 KGN 预处理分为两组：KGN-sEV 组和 un-sEV 组，分别收集两组 sEV，通过高通量二代测序分析 miRNA 差异表达，并通过转染相应的模拟物和抑制剂进行体外成软骨分化评价和功能学分析，并建立新西兰兔膝关节软骨缺损模型进行体内验证。

结果：KGN-sEV 具有直接促 hUCMSCs 软骨再生的作用，高通量二代测序发现 miR-381-3p 变化倍数最大，体外证实转染 miR-381-3p 能够促进成软骨相关基因的表达，并证实其作用靶点为 TAOK1，两者存在负性调控。进一步通过 KEGG 数据库分析及体外功能验证，KGN-sEV 诱导或 miR-381-3p mimic 转染 hUCMSCs 后，TAOK1 下降，但 YAP1 表达水平明显上升，但对 hUCMSCs 转染 miR-381-3p inhibitor 再与 KGN-sEV 共培养，则 TAOK1 表达水平上升，而 YAP1 的表达水平却显著下降，提示 TAOK1 与 Hippo 通路中 YAP1 存在负性相关性。体内实验证实 KGN-sEV 诱导或 miR-381-3p mimic 转染 hUCMSCs 后注射入新西兰兔膝关节软骨缺损处均可显著促进软骨再生。

结论：KGN-sEV 通过传递囊泡中富集的 miR-381-3p，靶向调控受体细胞中 TAOK1 的表达，从而抑制 Hippo 通路，最终实现促进 MSCs 软骨再生。通过应用 KGN-sEV 可降低对 TGF-β3 等生长因子类诱导剂的依赖，对基于 MSCs 的软骨再生具有重大应用价值。

关键词：微小胞外囊泡；Kartogenin；间充质干细胞；软骨再生；微小 RNA

载 fucoidan 纳米纤维支架调控退变纤维环微环境促进纤维环组织修复

于启帆、朱彩虹、李斌

苏州大学附属第一医院

目的：褐藻多糖（Fucoidan, FN）是一种类硫酸软骨素的天然海洋多糖药物。具有抗凝血、抗肿瘤、抗病毒、抗氧化、抗炎等生物活性作用。聚氨酯（PECUU）是一种生物相容性较好的聚合物，纤维环细胞在 PECUU 纳米纤维支架上铺展良好。并且我们先前的研究发现，通过调控 PECUU 纳米纤维支架的直径与硬度可以调控纤维环细胞细胞外基质的分泌。因此，在本研究中，我们通过静电纺丝技术纺制了负载有 FN 的 PECUU 纳米纤维支架，拟通过调控损伤纤维环炎症微环境起到修复纤维环的作用

方法：通过静电纺丝技术仿制出含有不同浓度 FN 的 PECUU 纳米纤维支架（F-PECUU），将纤维环细胞培养在纳米纤维支架上，通过脂多糖（LPS）诱导产生炎症微环境，然后通过 qRT-PCR 和 western blot 检测炎症相关以及细胞外基质合成相关的基因表达与蛋白表达的变化，明确 F-PECUU 对 LPS 诱导的炎症微环境和退变纤维环细胞胞外基质分泌的调控作用。

结果：米支架扫描电镜观察以及力学拉伸结果显示，FN 的加入对 PECUU 纳米纤维支架的力学性能以及表面形貌无明显影响；甲苯胺蓝染色结果表明，FN 在 PECUU 纳米纤维支架上稳定性良好；qRT-PCR 和 western blot 结果显示在 LPS 诱导的炎症微环境下，F-PECUU 纳米纤维支架可以下调炎症相关基因及蛋白的表达，同时上调纤维环细胞胞外基质合成相关基因及蛋白的表达。以上研究证实 F-PECUU 纳米纤维支架具有调控损伤纤维环炎症微环境并促进损伤纤维环修复的作用。

结论： F-PECUU 纳米纤维支架具有调控损伤纤维环组织炎症微环境，促进损伤纤维环组织修复的潜能。

关键词：海洋药物；纳米纤维；纤维环；微环境

3D 生物打印光固化软骨脱细胞基质多孔水凝胶构建工程化人耳形态软骨

贾立涛[1]、华宇杰[2]、曾今实[1]、周广东[2]、刘霞[1]、蒋海越[1]

1. 中国医学科学院北京协和医学院整形外科医院

2. 上海交通大学医学院附属第九人民医院整复外科

目的：组织工程迅速发展为耳再造提供了新的方向，已成功地应用 PGA/PLA 再生了人耳形态软骨，实现了首次临床突破[1]。但聚合物材料的酸性降解产物导致软骨再生不稳定，严重限制了其临床推广应用。软骨脱细胞基质（ACM）具有软骨特异性微环境和良好的生物相容性，是目前最具潜力的软骨再生仿生材料之一[2]。前期结合 3D 打印、浇铸成型和冷冻干燥成功再生成熟的耳形态软骨[3]。但由于冻干支架的孔隙结构、细胞分布和三维形态难以精确控制，导致再生软骨不均质，精细结构不满意。3D 生物打印可实现细胞和材料的定向分配和形态的精确控制，本研究应用 3D 生物打印技术，探讨基于软骨脱细胞基质的光敏多孔水凝胶构建人耳形态软骨的可行性。

方法：猪耳软骨经脱细胞和酶消化制备 ACM，甲基丙烯酸酐修饰制成光敏脱细胞基质（ACMMA），复合一定比例的甲基丙烯酸酰化明胶（GelMA）优化力学性能和可打印性。加入一定比例的聚环氧乙烷（PEO）制备多孔水凝胶，并评估多孔结构对细胞活性、增殖和迁移的影响。收集第二代兔耳软骨细胞与水凝胶混匀制成生物墨水，调整温度、压力和速度等打印参数，导入三维扫描和计算机辅助设计（CAD）获得的人耳三维数字模型，经 3D 生物打印机逐层沉积制备耳形态细胞 - 水凝胶复合体，植入裸鼠皮下 24w 取材，评估其形态维持、生物力学及软骨再生效果。

结果：制备制备了基于软骨脱细胞基质的光敏多孔水凝胶，多孔结构有利于细胞的增殖和迁移，体内组织学和定量数据也证实了多孔结构有利于细胞外基质的分泌和软骨形成，并随时间的延长而逐渐均质和成熟。最后，结合 3D 生物打印技术，成功在裸鼠体内再生出具有满意形状、良好弹性和成熟均质的人耳软骨组织。

结论：成功制备了基于软骨脱细胞基质的光敏多孔水凝胶，应用 3D 生物打印技术成功实现了人耳形态软骨的构建，再生满意形态和良好弹性的成熟均质人耳软骨组织，为组织工程耳的临床应用提供了重要支持。

关键词：3D 生物打印；软骨脱细胞基质；多孔水凝胶；耳软骨再生；组织工程

多层级有序纳米纤维支架结合光热触发可控释放用于皮肤创伤的修复

张馨丹、龚博文、薛佳佳

北京化工大学

目的：由于机械损伤和烧伤或糖尿病和恶性肿瘤等引起的全层皮肤创伤发病率日益增高，皮肤创面的修复已成为创伤修复领域研究的重大医学问题。在皮肤创伤修复的过程中，不同种类生长因子在特定阶段发挥作用，共同促进伤口愈合。由此，全层皮肤创伤的修复是一个复杂的过程，难以自发修复，而自体移植又具有皮肤供体部位缺乏、易产生继发性损伤、有感染风险等问题，因此，开发创面修复支架至关重要。在本研究中，为构筑具有类细胞外基质结构和组成，并能够指导细胞迁移、增殖等行为的支架，通过静电纺丝制备具有表面拓扑结构的纳米纤维支架；为赋予支架生物活性，并提供皮肤创伤修复过程中所需的微环境，在支架中引入促修复生长因子；进一步地，为实现生长因子的时空可控释放，选择光热疗法与相变材料结合，并引入掩模版。

方法:通过静电纺丝结合同轴静电喷雾制备以聚己内酯为原材料，由内层放射状取向纤维、外层无规纤维、中间层含生长因子和光热转换剂的相变材料微粒构成的三明治结构光热支架，在近红外光照下，结合掩模版

策略，实现生长因子的时空可控释放。

结果：通过表面形貌验证了支架的多层结构，水接触角测试说明支架在表面改性后能够促进细胞黏附；光热实验和生长因子的释放研究表明支架在具有光热稳定性的前提下，能够实现时空可控释放并且释放的生长因子保持促血管化活性，在体外细胞实验中，支架不仅能促进细胞增殖，其拓扑表面与生长因子的时空可控释放结合，还能够促进细胞迁移，最后通过动物全层皮肤创伤模型，评价创面愈合效果，揭示了程序式设计光热刺激下生长因子在体内的作用规律及效果。

结论：光热触发可控释放生长因子的多层级有序纳米纤维支架能够有效地将纤维的拓扑结构与生长因子的可控释放相结合，为皮肤创伤修复支架的设计以及结合光热治疗以促进皮肤创面修复提供了新思路，在组织再生和可控释放领域有巨大潜力。

关键词：静电纺丝；同轴静电喷雾；生长因子；光热支架；时空可控释放

Efficacy Remission of Rats with Premature Ovarian Failure by Systemic hUC-MSC Administration

Leisheng Zhang[1,2,3]、Hua Zhou[4]、Zhihua Dai[1]、Yuan Dai[1]、Zhihai Han[3]、Zhibo Han[5]、Zhongchao Han[2,3,5]

1. 南开大学医学院

2. Institute of Health-Biotech Group, Health-Biotech (Tianjin) Stem Cell Research Institute Co., Ltd

3. Jiangxi Research Center of Stem Cell Engineering, Jiangxi Health-Biotech Stem Cell Technology Co., Ltd.

4. Guizhou Medical University

5. National Engineering Research Center of Cell Products, AmCellGene Engineering Co., Ltd

Objective: Premature ovarian failure (POF) is a disease that occurs in women before the age of 40 and is characterized by amenorrhea, atrophy of the ovaries, and reduced fertility. Currently, mesenchymal stem/stromal cells (MSCs) with splendid immunoregulatory and secrectory properities hold the potential for POF management, yet the therapeutic effect and underlying mechanism are largely obscure.

Methods: In this study, we took advantage of human umbilical cord-derived MSCs (hUC-MSCs) and verified the in vitro biologicial characteristics by utilizing flow cytometry (FCM) assay, qRT-PCR, multilineage differentiation potential towards adipocytes, osteoblasts, chondrocytes. Furthermore, we verified the potential therapeutic effect of hUC-MSCs upon Cisplatin-induced POF rat model from the view of estrous cycle, hormone secretion (AMH, FSH, E2), follicles at all levels, apoptosis of granulosa cells.

Results: The hUC-MSCs revealed multifacted signatures of MSCs *in vitro* and manifested *in vivo* therapuetic effects upon POF rat model. Strickingly, the level of FSH in serum was downregulated acompanied with the upregulation of AMH and E2. Also, the number of follicles in the ovary increased significantly whereas the proportion of apoptotic granulosa cells was sharply decreased.

Conclusion: HUC-MSCs-based therapeutics manifested preferable characteristics *in vitro* and splendid efficacy *in vivo* upon POF rats, which colletively indicated the promising prospects in POF administration. Our findings will benefit the preclinical studies and clinical practices in MSC-based cytotherapy for POF management in future.

Key words: Premature ovarian failure (POF); hUC-MSCs; biologicial characteristics; hormone secretion; apoptosis of granulosa cells

抗氧化防黏附水凝胶促进辐射诱导皮肤损伤修复

张嘉敏、林文静、刘鉴峰
中国医学科学院放射医学研究所

目的：放射治疗是一种最常见的癌症治疗方法，可以有效地缓解或根除局部肿瘤。但由于电离辐射所导致皮肤损伤创面具有愈合过程复杂且难以治愈的特点，并伴随着早期活性氧积累、慢性炎症、细菌感染以及持续性疼痛等特性。因此，对于辐射导致的皮肤损伤的治疗始终是临床上面临的一项挑战。目前，研究者们已经设计了一系列敷料来克服这些问题，但这些敷料大多功能较为单一，且易于伤口黏连，在更换过程中易导致二次损伤，无法达到预期的效果。因此，本研究通过模拟抗粘附两性离子电中性性质，开发能够高效释放抗氧化剂的抗生物粘附电中性水凝胶，用于促进辐射损伤皮肤修复。

方法：本研究通过对平衡带有相反电荷聚电解质海藻酸钠、透明质酸和聚赖氨酸利用静电相互作用实现高分子链缠绕，通过钡离子进一步交联得到了平衡荷电水凝胶。同时通过一步法将抗氧化剂姜黄素 (Cur) 和表没食子儿茶素没食子酸酯 (EGCG) 负载到该水凝胶中，得到具有抗生物粘附及抗氧化功能的水凝胶体系 (AHP-Cur/EGCG)。通过体外抗蛋白吸附，抗细菌粘附实验对水凝胶的体外抗生物粘附性质进行表征。同时通过皮下埋植实验对凝胶的体内生物相容性及抗炎效果进行评估。通过 HPLC 对两种抗氧化剂的释放速率及抗氧化能力进行表征。最后构建辐射皮肤损伤模型，考察该凝胶的促进辐射损伤修复的能力。

结果：电中性水凝胶 (AHP-Cur/EGCG) 不仅在体外能有效抵抗蛋白质和细菌的粘附，还可以在体内实现逃避免疫防御，表现出优异的长循环性能。我们进一步发现亲水性的 AHP-Cur/EGCG 双功能水凝胶可以通过缓解炎症反应、清除体内早期 ROS 和促进血管生成等方式来防止皮肤放射性损伤的发展，并显著促进受损创面愈合。

结论：本研究构建的 AHP-Cur/EGCG 水凝胶具有良好的生物相容性、抗生物粘附性质和优异的促进创面愈合能力，为临床由射线导致的皮肤损伤治疗提供了新的策略

关键词：抗生物粘附；水凝胶；抗氧化；辐射皮肤损伤；损伤修复

Partially demineralized cortical bone with stem cell-derived matrix promotes proliferation, migration and differentiation of stem cells in vitro

Shukun He[1,2]、Liangju Ning[2]、Ruonan Hu[2]、Xuan Yao[3]、Jing Cui[2]、Tingwu Qin[2]
1. 浙江大学附属第一医院骨科
2. 四川大学华西医院生物治疗国家重点实验室干细胞与组织工程实验室
3. 陆军军医大学检验医学系临床血液学教研室

Objective: Recent research showed that demineralized cortical bone (DCB) may not improve the healing of the tendon-bone interface. Considering that there is a gradient of mineral content of the tendon-bone interface, we designed partially demineralized cortical bone (pDCB) scaffolds, including bone (pDCB-B) and DCB (pDCB-D), to mimic the natural structure of the interface. Then, cell-derived extracellular matrix (ECM) from tendon-derived stem cells (TDSCs) was used to enhance pDCB-D region of pDCB to construct the novel scaffold (pDCB-ECM). Materials and methods: The surface topography, element distribution, histological structure and surface elastic modulus of scaffolds were observed with scanning electron microscope (SEM), energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX), fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), histological staining and atomic force microscopy (AFM). Cell proliferation of bone marrow mesenchymal stem cell (BMSCs) and TDSCs cultured on

scaffolds was evaluated with cell counting kit-8 (CCK-8), and the cell viability was assessed by live/dead cell staining. Cell morphology was detected by fluorescent staining. The ability of scaffolds to recruit stem cells was tested by transwell migration assay. The expression levels of bone-related, cartilage-related and tendon-related genes and proteins of stem cells were assessed by polymerase chain reaction (PCR) and western blot. Results: Our results demonstrated that there was a gradient of Ca and P elements in pDCB, and TDSC-derived ECM existed on the surface of pDCB-D region of pDCB. The pDCB-ECM had good cytocompatibility and could promote stem cell proliferation and migration. Moreover, pDCB-B region of pDCB-ECM could stimulate osteogenic and chondrogenic differentiation of BMSCs, and pDCB-D-ECM region of pDCB-ECM could stimulate chondrogenic and tenogenic differentiation of TDSCs when compared to DCB. Conclusion: Our study indicated that pDCB-ECM may be used as a potential biomaterial to enhance the tendon-bone interface regeneration.

Keyword: partially demineralized cortical bone; bone marrow mesenchymal stem cells; tendon-derived stem cells; extracellular matrix; cell differentiation

静电纺丝纳米纤维用于组织损伤的修复

薛佳佳[1]、张馨丹[1]、余逸玲[1]、张立群[1]、夏幼南[2]

1. 北京化工大学

2. 佐治亚理工学院

目的：组织损伤是临床上亟待解决的重大疾病，利用组织工程技术，设计制备新型生物医用材料组织修复支架，并结合活性药物和 / 或细胞递送，是组织工程与再生医学领域的重要目标。由于现有支架的综合性能不足，导致组织修复速度与质量远远不能满足需求，临床修复效果差。对此，我们发展了新一代基于静电纺丝纤维的生物医用材料，并应用于神经、骨、皮肤等组织损伤的修复。

方法：针对周围神经损伤的修复与再生，以静电纺丝纤维为基体，仿生设计构筑具有生物活性的组织工程化神经导管，开发基于纤维与相变材料微粒的光热响应型神经支架，并进一步开发多管道纤维神经导管；针对引导组织再生术易感染的问题，通过同轴静电纺丝制备载药纤维膜用于引导组织再生术及防粘连术；针对骨缺损的修复，通过静电纺丝构筑兼具一定机械性能、阶段性可控药物递送、及光电刺激响应性的多功能活性支架；针对皮肤创伤的修复，根据修复期各阶段对各类生长因子的需求，构筑光热触发可控释放的多层级有序纤维支架。

结果：组织工程化神经导管能够模拟体内神经修复所需的微环境，有助于神经的再生；光热响应型神经支架能够实现神经生长因子光照触发式释放，促进轴突的伸展；通过调控纤维导管表面粗糙度及梯度沉积密度的活性粒子，能够促进轴突的伸展及细胞迁移；多管道纤维神经导管则能够促进大鼠坐骨神经损伤的修复；载药纤维膜实现了抗菌、抗炎药物的缓释；骨组织工程支架能够实现药物和生长因子的按需可控释放，同时局部电场促进干细胞的分化，进而促进体内成骨修复效果；光热支架将多重诱导信号有效地整合到支架体系中，实现时空可控的触发式有序递送，促进了全层皮肤创伤的修复。

结论：通过对支架的精准设计，发挥协同效果，调控细胞行为，实现时空可控的有序活性药物递送，以期高效地组织修复与再生，尤其是用于神经系统、骨损伤、皮肤创面的修复等，为设计与制备高性能组织工程支架奠定基础，具有重要的科学价值和临床意义。

关键词：静电纺丝；纳米纤维；神经组织工程；骨缺损修复；皮肤创伤修复

具有仿生内皮功能的人工血管及体内再生研究

卫永禛、蒋欢、赵强

南开大学

目的:血管移植是治疗心血管疾病的有效手段之一，小口径人工血管（直径 <6 毫米）由于再狭窄发生率高，目前仍没有产品成功应用于临床。采用传统组织工程策略体外构建血管组织制备周期长、成本高昂，因此限制了其临床转化。通过原位组织工程（in-situ tissue engineering）策略，利用可降解生物材料构建新型人工血管，通过诱导体内原位组织再生，最终重建出具有正常生理功能的血管组织是解决这一问题的有效策略之一 [1,2]。

方法:在前期的研究工作中，我们利用化学生物学“凸凹互补”原理制备了基于酶 - 前药（EPT）的递送系统，实现气体信号分子一氧化氮（Nitric oxide, NO）的定量释放和定点传输，解决了非特性释放引发的副作用 [3]。在此基础上，我们利用转肽酶（eSrtA）在人工血管表面修饰突变半乳糖苷酶，其可以催化外源性 NO 供体化合物分解释放 NO。这种基于 eSrtA 的修饰技术可以在体内实现功能分子的可逆连接，从而有效改善功能表面的稳定性。

结果：一氧化氮（NO）作为心血管系统的一个重要气体信号分子，在维持血管长期通畅和正常生理功能中发挥重要作用。体内（外）研究结果表明，功能化人工血管通过催化外源性供体化合物可控释放 NO，从而有效提高了人工血管通畅性并促进了组织再生和生理功能重建。大动物（猪）实验结果进一步验证功能修饰显著改善血管表面抗凝血性能，促进了血管内皮形成和功能性平滑肌再生。

结论：通过仿生天然血管内皮工程化构建的凝血微环境不仅显著提高人工血管的通畅性，还能够有效诱导功能血管组织的再生，具有良好的临床转化前景。

关键词：人工血管；功能化修饰；抗凝血；组织再生；生理功能

一种可注射双功能水凝胶通过调节 ROS/NO 平衡治疗心肌缺血再灌注损伤

郝天、钱盟、赵强

南开大学

目的：急性心肌梗死是世界范围内死亡的主要原因。外源性向梗死心肌递送一氧化氮 (NO) 是治疗心肌梗死的有效策略 [1,2]。然而，血流再灌注到缺血组织时活性氧 (ROS) 的过量产生会进一步加剧组织损伤，影响 NO 的治疗效果。为了解决心肌缺血再灌注后 ROS 过量产生导致 NO 生物利用度降低的问题，我们设计并合成了一种具有 ROS 清除和 NO 递送双功能的新型 NO 供体水凝胶 (CS-B-NO), 用以调节心肌缺血再灌注 (I/R) 损伤后 ROS/NO 的局部失衡，提高对 I/R 损伤小鼠模型的治疗效果。

方法：建立小鼠心肌缺血再灌注模型，通过心肌原位注射水凝胶的方法进行治疗 [3]，通过组织学分析检测水凝胶对 I/R 导致的心肌细胞凋亡及心肌组织损伤与修复的影响，通过免疫印迹实验进一步探究 CS-B-NO 水凝胶对 I/R 损伤后氧化应激及炎症相关信号通路的调控作用。

结果：CS-B-NO 水凝胶治疗显著降低了 I/R 损伤后心肌组织中的 H_2O_2 水平，提高了 NO 的水平。与对照组相比，水凝胶治疗在 I/R 损伤早期显著抑制了心肌损伤及细胞凋亡，诱导了抗凋亡蛋白 BCL2 的表达，而促凋亡相关蛋白表达水平受到显著抑制。长期的水凝胶治疗促进了小鼠心脏射血功能的维持和改善，抑制了心肌纤维化程度，心肌细胞肥大及硝基酪氨酸的产生，提高了心肌梗死边缘区新生血管的数量，进而促进梗死心肌的再生和修复。CS-B-NO 水凝胶抑制 NF-κB 信号通路的激活及下游炎症因子的表达，同时通过增强 Keap1 的 s - 亚硝基化水平来激活 Nrf2 信号通路进而对缺血再灌注诱导的氧化应激及炎症反应发挥抑制作用。

结论：CS-B-NO 水凝胶通过调节 I/R 损伤后 ROS/NO 失衡来治疗心肌缺血再灌注损伤，注射 CS-B-NO 水凝胶能够有效减少心肌细胞凋亡，改善心脏形态和功能，促进新生血管重建。在小鼠 I/R 损伤模型中，CS-B-NO 水凝胶作为一种潜在的生物材料显示了最佳的治疗效果。

关键词：一氧化氮；氧化还原平衡；氧化应激；炎症；心肌保护

人多能干细胞衍生心肌细胞的分化和成熟

杨静思、胡士军

苏州大学

目的：本研究主要利用维甲酸（RA）添加和间歇性饥饿处理的方法，促进人多能干细胞诱导心肌细胞的分化和成熟。

方法：在中胚层期（2-4）天和分化后期（15-20 天）分别添加 RA，并通过流式细胞技术，实时荧光定量 PCR，免疫荧光等技术进行分化效率，细胞结构和代谢的检测；通过 Earle 平衡盐溶液 (EBSS) 处理模拟饥饿，每天 2 小时 EBSS 处理，间歇性饥饿持续 10 天，并通过上述技术和膜片钳，钙瞬变来检测心肌细胞的成熟。

结果：在中胚层期（2-4 天）添加 RA 显著改善了心肌细胞的分化效率，表现为 TNNT2、NKX2.5 和 MYH6 等心肌细胞标志分子表达上调；流式细胞术显示，RA 处理组分化的心肌细胞比例显著高于对照组。此外，在分化后期（15-20 天）添加 RA，心肌细胞面积、肌节长度、多核率和线粒体拷贝数增加，并促进 RNA 剪接。重要的是，RA 处理的心肌细胞糖酵解能力下降，线粒体氧化磷酸化增强，脂肪酸和外源丙酮酸的利用增加。因为哺乳动物产前到产后的过程伴随着短暂的饥饿和自噬体形成，这一事件也被认为心肌细胞成熟的关键窗口。通过 Earle 平衡盐溶液 (EBSS) 处理模拟饥饿，以促进 hPSC-CMs 体外成熟。通过每天 2 小时 EBSS 处理，间歇性饥饿持续 10 天，可显著促进 hPSC-CMs 的结构、代谢和电生理成熟。即结构上，EBSS 处理的 hPSC-CMs 细胞体积更大，肌节更长，多核率更高，心肌细胞结构蛋白，如，MYH6 和 MYH7，表达显著上调。代谢方面，EBSS 处理组 hPSC-CMs 的线粒体含量增加，氧化磷酸化能力更强。功能上，EBSS 处理组电生理能力更成熟，表现为在 90% 和 50% 复极化时动作电位持续时间的增加和钙处理能力的增强。

结论：RA 的双期效应和 EBSS 间歇饥饿促进了人多能干细胞衍生心肌细胞的分化和成熟，为改善心肌细胞分化、提高心肌细胞质量和成熟提供了新的方法和思路。

关键词：人多能干细胞；心肌分化；心肌成熟；维甲酸；间歇性饥饿

少突胶质细胞内外舌同象限现象的一种物理解释 以及电场对髓鞘生长的引导作用

刘永泓、张亚鹏、岳文基、朱然、王昊

中国科学院深圳先进技术研究院

目的：髓鞘作为一种包裹轴突的重要结构，在神经信号传导中发挥重要作用[1][2]。上世纪 60 年代 A.Peters[3] 观察了不同时期大鼠视神经的髓鞘结构，发现髓鞘中富含细胞质的内舌与连接少突胶质细胞体的外舌多数情况下处于同一象限内（夹角小于 90 度) 称为同象限现象；G.Waxman[4] 在家兔视觉胼胝体轴突中也观察到了该现象，但始终缺乏对该现象的系统性解释，本研究旨在从动作电位造成的髓鞘内电场分布角度对该结构提供合理解释，并探讨电场这一物理因素在髓鞘生长过程中发挥的作用。

方法：轴突上的动作电位在髓鞘上内形成辐射电场，故选择有髓轴突横截面进行仿真建模。采用 RC 电

路作为基本单元 [5] 模拟髓鞘双层细胞膜结构，以较大电阻代表细胞膜间紧致的细胞质，以较大电容值和较小电阻值的 RC 电路单元代表内舌，轴突作为电流源与各仿真单元连接。仿真髓鞘内电场分布，及生长过程中内舌的电场变化情况。

结果：髓鞘内电场分布仿真结果显示，外舌所在象限电场强度显著高于髓鞘内其他位置，在多组电气参数仿真结果中具有一致性。

髓鞘生长过程中，内舌由于周期性的经过外设所在的具有高电场强度的象限，因为所感受的电场成周期性的变化，并且在于外设同象限时达到峰值。若假设电场强度与内舌的生长速度存在相关性，则会导致与 A.Peters[3] 的观察结果一致的内外舌同象限现象。

结论：轴突的动作电位会在髓鞘内部形成不均匀的电场分布，并造成内舌场强的周期性改变；表明髓鞘的生长过程与髓鞘内电场存在关联，内外舌重叠位置受电场影响最为显著，提示了髓鞘内外舌同象限现象是受髓鞘内电场引导的。表明髓鞘的生长受到动作电位的调控，其生长速度根据内舌场强变化存在周期性改变，远离外舌位置受电场强度影响较弱，生长速度均匀；在接近外舌的位置生长速度逐渐下降，停滞在与外舌临近区域。本研究结论为过往研究中动作电位或电刺激诱导髓鞘生长的观点提供支持，并为这种独特的形态学结构提供了合理解释。

关键词：髓鞘形态；髓鞘发育；少突胶质细胞；同象限现象

单细胞 RNA-Seq 揭示前列腺素 E2 介导肾脏再生的 Sox9+ 祖细胞动力学和谱系示踪

陈尚、李宗金

南开大学

目的：在肾脏的研究表明，Sox9+ 细胞在发育过程中，其后代形成大部分肾单位。Sox9+ 细胞在体外表现出祖细胞特性，并且在肾 AKI 损伤后可诱导 Sox9 的激活，再生出功能性肾小管上皮细胞，促进肾脏的修复。我们组已有的研究表明前列腺素 E2(PGE2) 与组织修复之间存在密切关系，PGE2 缓释基质的肾包膜下递送可有效改善 AKI 后的结构和功能恢复，并促进了 Sox9+ 细胞的增殖，我们希望通过单细胞转录组学探究 PGE2 在调节修复过程中对 Sox9+ 内源干细胞分化方向和作用机制的调控，以及对细胞间通讯的影响。

方法：将 PGE2 缓释胶原基质移植到缺血再灌注（I/R）损伤后的小鼠肾包膜下，胶原和 Sham 作为对照组，采用双光子激发显微镜观察 PGE2 对急性损伤后的 Sox9-CreERT2；Rosa26mTmG 转基因小鼠中 Sox9+ 细胞的增殖和对受损小管的修复影响，分析肾脏在第 28 天肾功能修复和病理改善。最后通过流式分选 28 天肾脏中的 GFP 的 Sox9+ 细胞的子代细胞，进行 10×Genomic 单细胞 3’转录组测序分析。

结果：PGE2 缓释基质促进了 AKI 后激活 Sox9+ 细胞增殖；Sox9+ 细胞的子代细胞中的阳性细胞表现出祖细胞特征和多向分化能力，并且 PGE2 维持 Sox9+ 肾祖细胞的祖细胞特性、再生和增殖能力。PGE2 促进 Sox9+ 细胞向近曲小管细胞方向增殖分化；PGE2 通过激活 Pi3k-Akt-mTor 信号通路产生的 Vegfa 促进近端小管细胞的修复；PGE2 促进肾功能恢复，并抑制向慢性肾病转化。

结论：我们的研究结果揭示了 PGE2 介导肾脏再生的过程中 Sox9+ 祖细胞动力学和细胞谱系。PGE2 的缓释作用于受损肾脏，在其修复过程中调节 Sox9+ 内源干细胞更多向肾小管上皮细胞分化，并且促进了这类内源干细胞分泌 Vegfa 并作用于自身 Sox9+ 细胞，从而促进向近端肾小管上皮细胞的增殖并维持子代中 Sox9+ 细胞的祖细胞特性，促进受损肾脏再生。

关键词：前列腺素 E2（PGE2）; 单细胞测序 ; AKI; Sox9; Vegfa; 谱系示踪

工程化间充质干细胞控释一氧化氮治疗急性肾损伤

黄皓琰、李宗金
南开大学医学院

目的：一氧化氮（NO）是一种多功能的内源性信号分子，参与调控多种生理病理过程，包括血管新生、免疫调节以及组织再生等等。然而，由于 NO 气体或低分子量 NO 供体存在半衰期短、易突释、缺乏靶向性等问题，其在体内的应用仍然受到很大限制。因此，设计制备一种新的 NO 精准递送系统是亟待解决的问题。

方法：间充质干细胞（MSC）具有低免疫原性、靶向性、再生能力等特点，作为一种治疗性递送载体是一种很有前景的策略。在本研究中，我们对 MSC 进行工程化修饰，使其成为“凹酶”的活细胞加工厂，静脉输送“凸 NO 前药”，血液循环到 MSC 时被“凹酶”特异地催化产生 NO，从而开发一种精准控释 NO 的递送系统，并在小鼠急性肾损伤模型中评价该系统的 NO 递送效果和治疗潜力。

结果：实验结果证明，基于 MSC 的 NO 递送系统可以在时空上实现 NO 的精准递送，并且 RNA-seq 结果显示 NO 能显著提高 MSC 的抗氧化应激能力来促进细胞移植后的存活，进一步实现 NO 的长期递送和更好的治疗效果。此外，这种基于 MSC 的 NO 递送系统具有生物安全性并且更有效地减轻肾损伤、促进肾脏损伤后的修复，显著改善肾功能。

结论：工程化 MSC 控释 NO 系统能够实现 NO 的精准递送，并且在重要气体信号分子的递送中具有广泛的适用性。在该系统中，MSC 作为 NO 递送的治疗载体发挥协同作用，为促进组织再生修复提供一种新型、安全、双赢的治疗策略。

关键词：一氧化氮；精准递送；间充质干细胞；急性肾损伤

内嵌包封 NGF 的壳聚糖纳米颗粒的氧化细菌纤维素神经导管

韦昭[1,2]、潘攀[1,2]、陈琳[1,2]、洪枫[1,2,3]
1. 东华大学 化学化工与生物工程学院
2. 中国纺织工程学会 细菌纳米纤维制造与复合技术科研基地
3. 上海纳米生物材料与再生医学工程技术研究中心

目的：周围神经损伤是一种临床上常见的顽固性疾病，而自体移植是治疗长距离周围神经缺损的金标准，但存在一定的局限性。基于神经组织工程的神经导管能够为神经再生提供理想的微环境，促进受损神经的修复，可替代自体移植。选择合适的材料和工艺制备神经导管是促进神经再生的关键。在本项研究中，我们使用氧化细菌纳米纤维素管[1-2]（OBC）作为初级支架，通过离子凝胶法使得壳聚糖溶液在 OBC 三维网络结构中原位形成包封 NGF 的壳聚糖纳米颗粒（CSNPs），制备了 NGF@CSNPs/OBC 神经导管[3]，并评估其作为神经导管的性能。

方法：将 BNC 管浸渍于使用高碘酸钠溶液（0.05 mol/L）中，得到氧化细菌纳米纤维素管，并通过压力将壳聚糖 /NGF 混合溶液注射到 OBC 管壁中，最后浸渍于 1%（w/v）Na2SO4 溶液中，以获得 NGF@CSNPs/OBC 神经导管。通过评价理化性能、抗菌活性、生物相容性和桥接大鼠坐骨神经缺损实验等，评估该导管作为神经导管的潜力。

结果：NGF@CSNPs/OBC 管壁中均匀分布着包封了 NGF 的壳聚糖纳米颗粒，具备良好的机械性能、热稳定性、生物可降解性和缓释 NGF 性能。同时该导管具有抗菌活性和生物相容性，体外可促进雪旺细胞的增值和黏附。在治疗大鼠坐骨神经缺损模型时，可有效防止成纤维细胞的浸润，在第 4 周时，成功地连接修复了 10 mm 的缺损，第 9 周时，再生神经在直径、结构和功能上与自体移植效果接近。

结论：通过离子凝胶法巧妙地结合了 OBC、NGF 和 CS 三种材料的优点，以 OBC 作为初级支架，NGF

和 CSNPs 作为添加物，成功原位制备了 NGF@CSNPs/OBC 多功能神经导管。该导管具备合适的机械性能、生物可降解性、抗菌活性、神经诱导性，可降低临床上感染的风险，并有效的促进损伤神经的修复。综上所述，NGF@CSNPs/OBC 神经导管可促进 PNI 的修复和再生，为临床应用提供了一个极具前景的替代方案。

关键词：氧化细菌纤维素；壳聚糖纳米颗粒；神经生长因子；离子凝胶法；神经导管

组织特异性成体微血管模型

王栋[1]、宋秀玥[1]、于亚丽[1]、冷宇[1]、牟洁[1]、胥亚兰[1]、祝海[2]、李菁[1]

1. 青岛大学转化医学研究院

2. 青岛大学附属青岛市市立医院泌尿外科

目的：为了研究微血管疾病和再生机理，研究者们开发了一系列体外微血管模型，所使用的细胞一般是来自人脐带静脉的内皮细胞、其他器官来源的周细胞或成纤维细胞等细胞系，或由多能干细胞分化而来的血管细胞。由于广泛存在的组织异质性，由不同组织来源的细胞所构建的模型难以准确反映某一特定组织微血管的生物学特征。鉴于此，本研究旨在构建一个所有细胞来源于同一组织的成体微血管模型，以期更好地模拟体内微血管的生物学特征。

方法：本研究以大鼠皮下疏松结缔组织为例，利用酶消化法从中分离微血管，在普通培养皿中培养，我们筛选了一系列培养基，对照组为商用培养基 EGM2MV。体外培养的微血管细胞经免疫荧光染色，激光共聚焦成像，利用 ImageJ 软件统计分析微血管长度和分支节点。进行转录组测序，研究微血管相关基因表达情况及调节机制。以猪肾脱细胞基质水凝胶为材料，利用定向冰模板技术构建三维微血管模型。

结果：（1）Medium-X 维持成体微血管形态。在普通培养皿中，大鼠成体微血管内皮细胞在商用培养基 EGM2MV 中以单层细胞形式生长。经过筛选一系列培养基，我们发现 Medium-X 使得成体微血管能够维持其特有的管状形态和网络结构；

（2）转录组学分析。转录组测序分析表明 Medium-X 可以促进微血管关键基因的表达；

（3）Medium-XP 募集微血管周细胞。通过调节培养基成分，我们发现在 Medium-XP 中周细胞伴随着微血管内皮细胞一起生长；

（4）三维微血管模型构建。以猪肾脱细胞基质水凝胶为材料，我们利用定向冰模板技术构建了厘米级大尺度微血管模型。

结论：本研究构建了一个新型组织特异性成体微血管模型，使得成体微血管内皮细胞在培养皿中以管状形式生长，形成网络结构，同时可以保留同一组织来源的周细胞伴随生长，相比传统方法该模型能更好地模拟体内微血管生物学特征。该模型可与生物工程技术结合构建大尺度三维微血管模型，为微血管疾病和再生研究提供一个平台工具。

关键词：微血管；内皮细胞；周细胞；组织特异性

Research progress of biohybrid micro-robots based on tissue engineering

Zening Lin[1]、Tao Jiang[2]、Jianzhong Shang[2]、Yun Yang[2]
1. College of Intelligence Science and Technology, National University of Defense Technology
2. College of Intelligence Science and Technology, National University of Defense Technology

Objective: With the development of tissue engineering and 3D bioprinting, biohybrid micro-robots made up of living cells and extracellular materials have attracted increasingly widespread interest. Micro-robots feature micro-scale, high reliability and biocompatibility, fitting them perfectly into biomedical and bioengineering applications. Summarize the latest research progress of biohybrid micro-biobots.

Methods: Here, recent progress of biohybrid micro-robots is summarized based on their driving sources, extracellular materials, control strategies, and degrees of freedom (DOF).

Results: Driving sources for biohybrid micro-robots include mammalian primary cells, cell lines, insect dorsal vessel tissue, microorganisms, among others. The extracellular materials include bioinert polymers, bioactive hydrogels, artificial hydrogels, and tissue-harvested biomaterials. Biobots of different design can be controlled via physical or chemical stimulations to achieve single or multiple independent motions, which are classified into single-, double-, multi-DOF biobots.

Conclusion: Compared with common industrial and commercial robots, biohybrid micro-robots are advantageous in terms of miniaturization, biocompatibility, and high-power density, which allow them to be employed in scenarios like narrow spaced search/rescue, battlefield reconnaissance, as well as drug delivery/diagnostics. Admittedly, challenges exist in terms of ethics, nutrient transportation, lifespan, and the complexity level of biobots. It is nonetheless convincing that the worldwide interdisciplinary joint efforts will surely promote the continuous developments in tackling the abovementioned hurdles, and ultimately forming multifunctional biobots integrated with sensing, driving, and control in the not-so-distant future.

Key words: Biohybrid robots; living cells; extracellular material; control strategy; degree of freedom

Dynamic mechanical environments modulate macrophage phenotype

Yi Xiong、Yang Zhang
深圳大学

Objective: Macrophages and their phenotypes are crucial for tissue regeneration and remodeling [1]. However, how mechanical microenvironments modulate macrophage phenotype, especially phenotype reversibility, remains elusive [2, 3]. Hence, we designed and prepared a photodegradable hydrogel (PH) to investigate the phenotype reversibility of macrophages modulated by mechanical loss.

Methods 1. Fabrication and characterization of PH

The gels were prepared through free radical polymerization of (meth)acrylate-contained polymers, and the degradation kinetics of gels were verified by rheological tests.The cytocompatibility of gels was assessed using CCK-8 assay. Mouse bone marrow derived macrophages (BMMs) were seeded on gels. Gels were then treated with UV light at different time points, i.e., nontreated gels, 10 min UV-cured gels before macrophage seeding,

and 10 min UV-cured gels after macrophage seeding for 2 days, were defined as stiff, pre-soft, and stiff-to-soft groups, respectively. Macrophages were cultured for 2 days and 4 days, the pro-inflammatory cytokine TNF-α (M1 macrophage marker) and anti-inflammatory cytokine CCL17 (M2 macrophage marker) collected from the culture medium were detected by ELISA.

Results

The stiffness of gels was 15 kPa and then decreased to 6 kPa after 10 min of UV curing. Therefore, the 15 kPa-gel served as stiff gel and the 6 kPa-gel served as soft gel in the experiment. The PH had negligible cytotoxicity and was favorable for cell adhesion. BMMs exhibited high sensitivity to the stiffness of substrates, exhibiting different morphology on stiff and soft gels after 1 day of culture. After the gels turned from stiff to soft, the morphology of BMMs on the gels also changed. Moreover, the ELISA results demonstrated that in stiff and stiff-to-soft (before UV) groups, the secreted TNF-α was significantly higher than that of soft and stiff-to-soft (after UV) groups. On the other hand, the secreted CCL17 exhibited an opposite trend in the three groups. As cell morphology and secreted cytokines are the main markers of the macrophage phenotype, the above results indicated the M1 macrophages were polarized into M2 macrophages when the mechanical microenvironment changed from stiff to soft due to the PH degradation.

Conclusion: Our study confirmed the capability of dynamic mechanical environments to modulate macrophage polarization, which might offer us a potential strategy to aid in tissue regeneration.

Key words: Dynamic mechanical environment; Macrophage phenotype; Tissue regeneration

Single cell spatiotemporal analysis reveals cell fates and functions of transplanted mesenchymal stromal cells during bone repair

Chengyu Yang、Zeshun Li、Yang Liu、Runpeng Hou 、Minmin Ling、
Linhao Fu、Decheng Wu、Quanying Liu、Kai Li、Chao Liu
南方科技大学

Abstract: Mesenchymal stromal cells (MSCs) as a form of therapeutic have shown potential to enhance the healing of bone defect. However, the cell fate of transplanted MSCs, in terms of their local distribution and spatial associations with other types of cells were poorly understood. Here, we have developed a single cell 3D spatial correlation (sc3DSC) method to track transplanted MSCs based on deep tissue microscopy of fluorescent nanoparticles (fNP) and immunofluorescence of key proteins. Locally-delivered fNP-labelled MSCs enhanced tibial defect repair, increased the number of stem cells and vascular maturity in mice. fNP-MSCs persisted in the defect throughout repair. But only a small portion of transplanted cells underwent osteogenic differentiation; a significant portion has maintained their stemness. Our results would contribute to the optimization of MSC-based therapies. The sc3DSC method may be useful in studying cell-based therapies for the regeneration of other tissue types or disease models.

Key words： bone repair; stem cell therapy; long-term tracking; cell fate; 3D imaging

各向异性拓扑结构上共培养雪旺细胞和内皮细胞协同调节背根神经节生长行为的研究

郑田田、李贵才
南通大学

目的：周围神经损伤是目前临床上亟待解决的主要问题之一，自体神经移植物能够实现短距离周围神经损伤修复，但对于长距离神经损伤仍显不足，且来源有限。组织工程神经移植物是自体神经移植物的良好替代，但跟自体神经移植物相比还存在差距，因此亟需开发性能优异的组织工程神经移植物。本研究旨在探究各向异性壳聚糖 / 沙蒿拓扑结构和内皮细胞 (ECs) 和雪旺细胞 (SCs) 共培养的协同调节对背根神经节 (DRG) 行为的影响。

方法：本研究首先使用微图案化技术制备了具有各向异性拓扑结构的壳聚糖 / 沙蒿子基底，并用多巴胺对其表面进行修饰。通过形态学、润湿性、表面粗糙度和成分变化进行各种物理化学性能表征。然后将 SCs 以及 ECs 与 DRG 在各向异性拓扑化基底上进行共培养，对神经元生长及突起迁移和生长进行了评价。此外，通过测序和 qPCR 对分子机制进行初步探究。

结果：拓扑化 CS/AS 支架具有良好的亲水性，为细胞生长提供了适宜的环境。 细胞免疫荧光显示，SCs 和 ECs 共培养促进了 DRG 轴突生长，并为轴突定向提供了更强的指导，可有效防止轴突缠结和打结，从而可能抑制神经纤维瘤的形成。 此外，SCs 和 ECs 的共培养可以促进 NGF 和 VEGF 的释放，并通过 PI3K-Akt、MAPK 以及细胞因子和受体趋化因子途径上调与细胞增殖、髓鞘形成和骨架发育相关的基因。

结论：SCs 和 ECs 的共培养显着改善了 DRG 在各向异性拓扑支架上的生长行为，这可能为周围神经再生中神经移植物的发展提供重要基础。

关键词：雪旺细胞；内皮细胞；背根神经节行为；共培养；各向异性微拓扑

Injectable conductive gelatin methacrylate / oxidized dextran hydrogel encapsulating umbilical cord mesenchymal stem cells for myocardial infarction treatment

Ping Zhu
广东省人民医院

Objective: Umbilical cord mesenchymal stem cells (UCMSCs) transplantation has been proposed as a promising treatment modality for myocardial infarction (MI), but the low retention rate remains a considerable challenge. Injectable natural polymer hydrogels with conductivity ability are highly desirable as cell delivery vehicles to repair infarct myocardium and restore the cardiac function.

Methods: In this work, we developed a hydrogel system based on gelatin methacrylate (GelMA) and oxidized dextran (ODEX) as cell delivery vehicles for MI. And dopamine could be used as a reductant of graphene oxide (GO) to form reductive GO (rGO). By adjusting the amount of rGO, the con-ductivity of hydrogels with 0.5 mg/mL rGO concentration (≈10 −4 S/cm) was similar to that of natural heart tissue.

Results: In vitro cell experiments showed that the prepared hydrogels had excellent biocompatibility and cell delivery ability of UCMSCs. More importantly, GelMA-O5/rGO hydrogel could promote UCMSCs growth and proliferation, improve the myocardial differentiation ability of UCMSCs, and up-regulate the expression of cTnI and Cx43. Further in vivo experiments demonstrated that GelMA-O5/rGO/UCMSCs Hydrogel could significantly improve the ejection fraction (EF) of rats and significantly reduce myocardial infarct area compared to PBS

group, promote the survival of UCMSCs, enhance the expression level of cTnI and Cx43, and decrease the expression level of caspase-3.

Conclusion: The findings of this study suggested that the injectable conductive GelMA-O5/rGO hydrogel encapsulating UCMSCs could improve damaged myocardial tissue and reconstruct myocardial function, which will be a promising therapeutic strategy for cardiac repair.

Key words: GelMA; Oxidized dextran; Conductivity; Stem cell therapy; Myocardial infarction

一氧化氮在心脏瓣膜钙化中的作用研究

王志红、孙志婷、刘婧、冷希岗

中国医学科学院生物医学工程研究所

目的：人工心脏瓣膜钙化是导致其长期植入后衰败的重要原因，是耐久性人工心脏瓣膜研发的关键瓶颈。全面深入了解瓣膜钙化发生的背后机制，对于指导设计性能优良的抗钙化耐久性人工心脏瓣膜具有重要的理论指导意义。近期研究发现一氧化氮（NO）在血管钙化方面具有一定的抑制作用。然而关于 NO 在心脏瓣膜钙化是否发挥作用，报道较少。本研究目的为考察一氧化氮是否在心脏瓣膜钙化过程中发挥作用，为一氧化氮材料在抗钙化心血管材料中的应用提供理论基础。

方法：首先利用小鼠主动脉瓣膜钙化模型，通过外界给药（NO 供体）与给 NO 合成抑制剂（L-NAME）的方式，设置不同组别考察 NO 在主动脉瓣膜钙化发生过程中的作用。通过组织病理学、组织钙化定量以及 real-time PCR 等验证各组别的钙化水平以及钙化相关蛋白的表达情况。再者，研究利用体外细胞实验，具体考察 NO 对于瓣膜间质细胞（VICs）细胞功能的影响。最后研究利用大鼠皮下埋植实验考察了 NO 对于人工心脏瓣膜材料钙化发生的影响。

结果：动物实验结果显示给药 NO 供体，无论是预防还是治疗组，瓣膜钙化水平均有改善。给予 NO 供体组，动物的脂代谢降低；主动脉瓣组织中 Runx2、ALP、OCN、OPN、RANKL 等钙化相关基因的表达下调；同时主动脉瓣膜中巨噬细胞浸润减少、炎症因子 IL-1β、IL-6 和 TNF-α 的产生减少。细胞实验结果显示，外界给予 NO 供体，VICs 细胞的胞内氧自由基水平降低；钙化发生相关基因表达水平降低；巨噬细胞向 VICs 的迁移能力降低。而外界给予 NO 供体，人工生物瓣膜的钙化水平降低，说明 NO 在心脏瓣膜病理钙化与人工瓣膜钙化过程中均起作用。

结论：研究表明一氧化氮在心脏瓣膜钙化过程中具有重要作用。通过外界给予 NO 药物，或在人工生物瓣膜表面涂层 NO 药物、或利用可控释放 NO 的生物材料制备人工心脏瓣膜材料，有望解决人工心脏瓣膜钙化问题。该研究为抗钙化人工心脏瓣膜的开发提供了一种新思路。

关键词：心脏瓣膜；钙化；一氧化氮；瓣膜间质细胞

S17
中医诊疗装备创新与发展

特邀报告

自限性疾病的科学基础

刘承宜 *、段锐
华南师范大学体育学院

自限性疾病是西医的经典概念，西医无法治疗；中医可以治疗，但治疗停止后会复发。西医研究现实空间，已经进展到网络药理学。中医研究参数空间，未病测评学已经引入了大量的功能参数。本文根据心理物理学第一性原理 Weber-Fechner 定律（客观参数的对数对应于小脑的主观感觉）和 Noether 定理在参数空间讨论自限性疾病的科学基础。

N 个参数表征的复杂系统的 M 个时间点构成数据流，将 N 个参数按照功能相似分为若干参数组，分别计算每个参数组和所有参数的几何均值，分别定义为参数组结构时中和结构时中；将一个参数 M 个取值的几何均值定义为功能时中；每个数据分别横向除以参数组结构时中和纵向除以功能时中，所得数据流称为易流。易流相邻两个数据的定量差异（QD）的显著性阈值称为易模，引起相邻两个数据的 QD 超过易模的参数称为参数洞。没有参数洞的易流为数据流形。对于每个参数组，横向所有数据的和称为参数组结构和，每个数据除以参数组结构和定义为参数概率，参数概率的负值乘以参数概率以参数组结构和为底的对数并对所有参数求和称为参数组结构熵。所有参数组结构熵的算术均值称为结构熵。

1. Weber-Fechner 定律是人择原理的科学基础，如果小脑主观感觉差值守恒，对应的客观参数满足比值守恒；如果小脑的主观感觉比值守恒，对应的客观参数满足幂函数关系；信息是客观参数分布的小脑主观感觉，全同分布的信息熵就是玻尔兹曼定律。2. 结构时中可以定量整合复杂系统的所有参数。3. 自限性疾病患者的结构时中守恒，对应的对称性为共时性，阴阳现象是典型表现。4. 易流模型的每个参数组满足中医阴阳理论，参数洞引起阴阳失调，没有参数洞的参数对满足阴平阳秘。5. 天人合一构成的易流属于孤立系统，维持参数洞的自限性疾病病因打破孤立系统，结构熵不满足热力学第二定律；去除病因，结构熵满足参数空间热力学第二定律，疾病自愈。

疾病自愈满足热力学第二定律。

关键词：自限性；几何均值；熵；热力学第二定律；自愈

Dexamethasone-Loaded Injectable In-situ Thermal Crosslinking Hydrogel for Physiochemical Stimulation of Acupoint to Suppress Pain in Sciatica Rats

Wan Wei、Qiuhong Yang、Jing Hu、Huayuan Yang*

上海中医药大学

Objective: Background: With the widespread use of physicochemical stimulation of acupoints in the treatment of diseases, such as the sciatica, existing acupoint stimulation therapy still has some shortcomings. Dexamethasone (DXM) is still the main drug used in the treatment of sciatica. The physiochemical stimulation therapy of acpoints combined with DXM for the treatment of pain has also achieved good clinical results. However, the commonly used catgut thread has a rapid degradation time, requiring multiple injections and poorly controllable. There are still some patients who are allergic to it, so the development and application of other polymer materials is particularly important.

Purpose: The objective of this study was to observe the effect of dexamethasone (DXM) loaded Chitosan/β-glycerophosphate (CS/GP) thermal crosslinking hydrogels on chronic constriction injury of the sciatic nerve model (CCI) rats.

Methods: CS/GP hydrogel with and without DXM were compared in terms of physicochemical properties, release kinetics in vitro, and biocompatibility and analgesic effect on CCI model rats in vivo via mechanical pain thresholds, immunohistochemistry including P2X4 receptor (P2X4R) and p38 MAPK protein in the dorsal horn of the spinal cord by Western blot. Each hydrogel treatment group was treated by intramuscular injection at Zusanli (ST36) in SD rats. Biocompatibility was monitored by hematoxylin-eosin (HE) staining, and then the dorsal horn of the spinal cord was sampled on day 14 after surgery for Western blot.

Results: CS/GP hydrogel with DXM had comparable physicochemical properties and gelation kinetics in vitro. Release kinetics showed that the CS/GP/DXM hydrogel were able of sustained and stable release of DXM. The hydrogels loaded with DXM exhibited good biocompatibility. The rats in the CCI group were more sensitive to mechanical stimuli, but the drug-loaded hydrogel significantly relieved pain and reduced the expression of P2X4R and phosphorylated p38 MAPK in the dorsal horn of the spinal cord compared with the CCI group.

Conclusion: The CS/GP/DXM hydrogel could be considered as a treatment for physiochemical stimulation therapy of acupoints for sciatica rats.

Key words: hydrogel; pain-relieving; acupoint catgut embedding therapy (ACET)；physiochemical stimulation of acupoint

肠道菌群在慢病防控中的地位可能具有优先重要性

张成岗 *

北京中医药大学

目的：分析肠道菌群在慢病防控中的重要性。已知肠道菌群可帮助宿主消化食物、促进营养吸收、提高人体免疫力、减少有害菌感染等，与多种慢病密切相关，但肠道菌群与人体慢病的关系可能具有更深层意义上的重要性，急需深入探究。

方法：针对国内外相关领域的文献进行综合分析，结合使用自身进行深入研究，在提出“菌心说”科学假说的基础上，使用柔性辟谷技术进行反向验证，来判断肠道菌群对于人体健康和慢病发生发展与治疗转归的作用。从生命科学与生物医学领域逐渐发现“人是由人体和共生微生物尤其是肠道菌群组成的‘超级复合体’”切入，发现需要将人体共生微生物在生物医学工程与慢病防控中的重要性进行重点考虑。

结果：我们通过文献剖析和自身体验以及扩大进行临床研究发现，人体饥饿感是由肠道菌群赋予的，而并非是人体与生俱来的原生动力，即人体每天都需要进行的摄食行为源于肠道菌群在人体胃肠道黏膜的自发性、群体性繁殖其自身后代所导致的饥饿信号，这种行为与肠道菌群对人体胃肠道黏膜进行“感染”的方式和机理类似，其生物学动机和生物学基础在于肠道菌群通过分解其所在的局部环境（niche）的化学物质来获取碳源和氮源等营养成分以繁殖期自身的后代所致，即“饥饿与感染的产生信号具有同源性”，人体通过胃肠道神经系统和免疫内分泌系统等过程将此信号经“肠脑轴”上传至中枢神经系统，被大脑解读为“饥饿”信号，并驱动人体摄食，用以满足肠道菌群的饥饿冲动，避免人体胃肠道黏膜被肠道菌群所“感染”而导致病理性损伤如低血糖等，已通过柔性辟谷技术完成反向验证。结合学术界认为肠道是人体的“第二大脑”，肠道菌群可视为这个“第二大脑”的“神经元”，由此形成“菌脑”的概念，其状态正常与否，关系到人体饥饿信号源的正常与否。

结论：综上所述，肠道微生态的亚健康与慢病状态，是影响人体亚健康与慢病的关键因素之一，提示肠道菌群在慢病防控中的地位可能具有优先重要性，即“肠道菌群健康、人才能健康”。

关键词：肠道菌群；慢病防控；菌脑；菌心说；第二大脑

The monomer compound 2-chloro-1,3-dimethoxy-5-methylbenzene extracted and isolated from Hericium erinaceus has pharmacological effects against Candida albicans

Qian Zhang、chenyang Li*

深圳大学药学院

Objective: Candida albicans is both an innocuous symbiotic fungus to the human body and also a dangerous opportunistic pathogen. It can be invasive in immunocompromised hosts, leading to life-threatening systemic infections and bloodstream infections. In reality, there are few first-line treatment drugs accompanied by severe side effects and drug resistance after long-term continuous use, which become obstacles to clinical treatment of Candida albicans infection. Therefore, the development of new anti-fungal drugs is of particular interest to effectively combat Candida albicans infection.

In the early stage of our research group, we extracted and isolated small molecule 2-chloro-1,3-dimethoxy-5-methylbenzene from natural product Hericium erinaceus. During the activity screening, we found

the compound had no antibacterial effect on two representative bacteria, Escherichia coli and Staphylococcus aureus at high concentrations. It has specific anti fungal activity against Candida albicans and Cryptococcus neoformans, and it is not toxic to normal human gastric epithelial cells. Therefore, we further studied the anti fungal effect of the compound and found that the death of fungal cells caused by cell apoptosis and cell membrane dissolution,which is induced by 2-chloro-1,3-dimethoxy-5-methylbenzene.

Methods: Micro liquid-based dilution method
Minimum inhibitory concentration determination
Cell viability assay
Cell flow cytometry
Cell membrane fluidity test
DNA agglutination fluorescence staining experiment
RNA extraction and qRT-PCR
Reactive Oxygen Species Assay of Cells
Mitochondrial membrane potential detection experiment
Observe the cell wall of Candida albicans under scanning electron microscopy

Results: 2-chloro-1,3-dimethoxy-5-methylbenzene can change the density of Candida albicans flora;
The compound induce fungal cell death through apoptosis;
The compound cause cell death through DNA agglutination;
The compound can change the permeability of the cell membrane and destroy the cell membrane and cell wall of fungal cells;
The compound can change the mitochondrial membrane potential and increase the intracellular ROS content；
The compound causes cell death by disrupting oxidative phosphorylation.

Conclusion: By destroying the oxidative phosphorylation of fungal cells and the mitochondrial respiratory chain, the compound increases the content of intracellular reactive oxygen, induces cell apoptosis, and ultimately promotes the death of fungal cells. In addition, lipid peroxidation caused by oxygen free radical reactions can lead to cell membrane degradation.The compound can also induce DNA agglutination of fungal cells, leading to fungal cell death. These results indicate that the compound can be a potential candidate against Candida albicans

Key words: Hericium erinaceus; Candida albicans; Anti-fungal mechanism

基于多通道卷积神经网络的糖尿病中医方剂预测模型研究

文天才 *

中国中医科学院中医药数据中心

目的：中医开具处方的过程是依据患者证候诊断、疾病诊断和症状体征等多维度信息进行决策，并形成由多个药物组成的方剂的过程，该过程实质上是基于多维度特征的多标签分类问题。但是，临床实际文本数据存在标准程度低、高维稀疏和多重共线等问题，本研究的目的是以糖尿病临床数据为例构建一套适应于中医临床真实数据的中医方剂决策模型，为建立中医智能辅助决策体系奠定基础。

方法：(1) 基于 GloVe 模型对中医文本语料库进行训练得到中医术语字向量，解决中医病历文本中的用语不规范、词语包含、数据高维稀疏等问题。并据此构建糖尿病证候诊断、合并疾病诊断和症状体征的词向量。(2) 以证候诊断、疾病诊断和症状体征词向量为特征，以药物为标签分别构建单通道、3 通道、4 通道的卷积神经网络和全连接神经网络模型，并训练得到 4 个独立的多维特征多标签分类模型，解决原始特征中共线性和信息效益不均问题。(3) 采用 Bagging 集成学习方法集成上述 4 个独立模型，提升糖尿病处方预测模型的整体效果。（4）使用 Top-k 和 Precision、Recall、IoU、F1 四个评价指标来评价模型对每条记录的预测结果，并求出上述评价指标在所有数据记录上的平均值作为对模型整体的评价指标。（5）结合模型预测概率阈值和 Precision、Recall、IoU、F1 四个评价指标训练得到预测模型的最优标签概率阈值。

结果：在 10928 条真实的中医药治疗糖尿病临床数据集上进行建模和对比实验，结果显示 4 个独立模型中 4 通道卷积神经网络优（F1=0.5036），集成模型优于所有独立模型（F1=0.5120），最终集成模型在糖尿病中药饮片上的预测结果与原始数据标签分布一致。

结论：多通道卷积神经网络可以充分获得多维特征内和特征间的核心信息，而集成模型可以进一步提高中医领域多维特征多标签分类问题的泛化性能。利用该模型可以很好地解决中医学领域中的基于多维文本特征的多标签决策问题。

关键词：多标签分类；卷积神经网络；集成学习；中医学；糖尿病

青年学者 - 青年优秀论文复赛

Investigating Prescriptions and Mechanisms of acupuncture and moxibustion for premature ovarian failure: An Association Rule Mining and Network Analysis Study

Ze-yun Yu[*1], Yuan-zhang Hu[*1], Ming-bo Li[1], Ting Liu[1], xiao-en Cheng[2], Xiao-ying Chen[#1], Ju Chen[#2]

Author affiliations

[1] The First People's Hospital of Yibin, Yibin 644000, China

[2] School of Medical Information Engineering, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610075, China

[*] Equal contributors.

[#] Correspondence: Xiao-ying Chen (E-mail:1601379060@qq.com. The First People's Hospital of Yibin, Yibin 644000. Tel:13990908845). Ju Chen (E-mail: 331207592@qq.com. Chengdu University of Traditional Chinsese Medicine, Sichuan, Chengdu, 610075. Tel:13882233912)

Objective: Exploring the rules of clinical acupoint selection of acupuncture and moxibustion in the treatment of premature ovarian failure (POF) by using data mining technology.

Methods: The literatures of treating POF with acupuncture and moxibustion were retrieved from electronic databases from the establishment of the database to January 1st, 2021, including CNKI, VIP, Wanfang, SinoMed, PubMed and Web of Science, the quality of the qualified literatures was evaluated with RoB 2 recommended by Cochrane, and establishing the acupuncture prescription database, Weka 3.8 software was used for statistical analysis to explore the rule of acupoint selection.

Results: 21 articles were included in this article, finally, it included 21 acupuncture prescriptions and 40 acupoints. And the total frequency of acupoints was 215, Guanyuan (RN4) acupoint was the most frequently used, and the bladder meridian of foot-Taiyang, conception vessel and spleen meridian of foot-Taiyin were the most frequently selected meridians. Crossing acupoints were most frequently used in special acupoints, and the most relevant acupoints were Guanyuan(RN4), Taichong(LR3), Dahe (KL12) and Tianshu(ST25), and the core acupoints were Guanyuan(RN4), Shenshu(BL23)and Sanyinjiao(SP6).

Conclusion: The study of acupuncture and moxibustion in the treatment of POF is still in the primary stage, and the quality of the articles included is not high. The acupoints of bladder meridian of foot-Taiyang, Conception vessel and the meridians of foot-sanyin are mostly selected, and the use of special acupoints, especially the crossing acupoints plays a key role. Furthermore, the selection of acupoints is mainly concentrated in the waist and abdomen as well as lower extremities.

Key words: premature ovarian failure (POF); acupuncture and moxibustion; rule of acupoint selection; data mining

基于共词和可视化分析的 ISO/TC249 中医药国际标准挖掘

胡远樟[1]，蒲月英[1]，张雪莉[2]，陈菊[3]，朱必刚[1]，余泽芸[1]，何雅兰[1]，温川飙[3*]

1（宜宾市第一人民医院 2. 四川省卫生健康信息中心 3. 成都中医药大学医学信息工程学院）

目的：通过对 ISO/TC249 现有中医药国际标准进行分析挖掘，梳理其工作流程及主题分布。方法：以主题词共现矩阵为基础，通过 Gephi 软件对结果进行可视化展示。结果：现有 95 项 ISO/TC249 中医药国际标准，其中 63.83% 的标准处于出版阶段，分类主要集中在药物、医疗设备两个领域（60.08%），通过构建包含 86 个节点、150 条边的中医药国际标准可视化图谱，挖掘出共现关系较强的 3 主题集，分别为（1）中药材的品种、质量与安全；（2）中医药现代化诊疗设备；（3）中医药信息系统。结论：ISO/TC249 的一系列标准填补了中医药 ISO 国际标准的空白，中医药 ISO 国际标准正成为中国参与国际治理的重要平台。

关键词：ISO/TC249；中医药国际标准；数据挖掘；可视化分析

智能型水凝胶在中医学的应用与展望

董国启[1] 杨华元[1#*]

[1]（上海中医药大学针灸推拿学院，上海 201203）

智能型水凝胶响应热、光、pH 值、磁场等多种理化元素，在生物医学领域中具有广泛的应用前景。本文通过对智能型水凝胶在生物医药领域中的应用，结合中医学的发展前景与器械领域的研究热点，对智能型水凝胶在中医应用上进行可行性分析，为中医学的发展与创新提供思路，以期推动中医发展，为人类健康做出新的贡献。

关键词：智能型水凝胶；中医学；应用；展望

人工智能技术在中医诊断领域应用述评

王俊文[1#] 叶壮志[1*]

[1]（中国中医科学院中医基础理论研究所 北京 100700）

[2]（中国印刷科学技术研究院 北京 100036）

本研究从技术落地应用的角度出发，描述和评论目前中医诊断领域常用的 AI 技术的应用历史、现状及与中医诊断需求之间切合程度等问题，包括专家系统用于智能辨证、图像诊断和望诊、自然语言处理和问诊、传感器和智能硬件用于闻诊、切诊等；分析和预测和描绘未来 AI 相关新技术在中医诊断领域应用的趋势，包括多模态信息融合的中医智能化思路、物联网拓展诊断信息边界、区块链 + 联邦学习破解隐私安全需求与数据协作共享矛盾，以及通用中医思维知识图谱助力智能装备辅助诊断。

关键词：人工智能；传感器和智能硬件；多模态信息融合；中医思维；辅助诊断

金红片治疗慢性浅表性胃炎的药效物质分析

石丹枫[1,2] 刘苓娴[1] 于洋[1*]

[1]（暨南大学药学院，广州 510632）

[2]（香港中文大学（深圳），深圳 518172）

慢性浅表性胃炎是消化系统的常见疾病，具有严重的病情恶化机制。金红片是一种中药方剂，对慢性浅表性胃炎有显著治疗作用。然而，其治疗作用的分子基础尚未阐明。在此，我们采用超高效液相色谱质谱分析来鉴定金红片中的化学成分。金红片中共鉴定出 96 种化学成分，其中 31 种化学成分与标准品进行比对确认。此外，我们应用网络药理学来说明其分子机制。采用基于“气”、“血”、“痛”和“炎症”四种症状的药理学网络进行生物信息学分析，确定蛋白靶标 MMP2、DRD2 和 AKR1B1 为金红片治疗慢性浅表性胃炎的关键靶点。此外，根据报道的抑制活性数据和结合模式分析，确定生物碱、黄酮类、有机酸的结构类型，包括绿原酸（10）、咖啡酸（13）、（-）- 紫堇碱（33）、(-)- 异绿原酸 (36)、异绿原酸 C (38)、异绿原酸 A (41)、槲皮素 -3-O-α-L- 鼠李糖苷 (42)、异绿原酸 B (47)、槲皮素 (63) 和山奈酚 (70) 倾向于对 CSG 表现出显著的活性。综上所述，我们系统地鉴定了金红片的化学成分，并根据与慢性浅表性胃炎相关的症状揭示了其分子机制。

关键词：慢性浅表性胃炎；金红片；超高效液相色谱质谱分析；基于病症的网络药理学分析；分子对接

基于高精度力传感技术的针刺手法力学特征定量研究

崔晗[1#] 饶晓丹[2] 钟卫正[2] 何玉成[1] 郑静儿[2] 黄杏贤[2] 姜乃夫[1#] 于海波[2] 杨卓欣[2] 李光林[1#*]

[1]（中国科学院深圳先进技术研究院人机智能协同重点实验室，深圳 518055）

[2]（深圳市中医院针灸科，深圳 518033）

针刺手法涵盖了针刺入组织内的综合作用力，多维度、高精度的针刺手法力学测量方法仍有待进一步发展。本研究构建了测量针刺作用力和力矩矢量的 6 轴传感装置，以真实还原针灸手法在组织三维空间的力学分布。研究采集了一名资深针灸师和一名实习针灸师的 7 种手法数据，包括捻转补法、捻转泻法、提插补法、提插泻法、平补平泻、烧山火和透天凉。结果显示，不同手法三维力 / 力矩曲线的相关性大部分小于 0.6，不同手法三维力 / 力矩的平均幅度和平均频率大多具有显著性差异。不同施针者行使同一手法时，力 / 力矩的平均幅度和平均频率指标也有显著性差异。本研究初步证明了高精度的 6 轴力 / 力矩传感装置能客观反映不同针刺手法及不同人针刺手法的力学特征，该装置将对针刺手法教学的客观化和针刺力效应机制研究起促进作用。

关键词：针灸；针刺手法；高精度力传感器；力 / 力矩定量分析

研究生 - 青年优秀论文复赛

罐疗的客观化研究与中医药国际化的关系

符美虹（研究生）刘堂义 *

（上海中医药大学针灸推拿学院中医工程学教研室，上海 201203, 中国）

目的：总结拔罐疗法作用机理及客观化研究进展，探究其客观化与中医药国际化建设的关系。方法：探讨罐疗的作用机制、量化研究及其国际化的进程。结果：罐疗作为一种在国际上普遍接受的传统疗法，对于其中的负压、温度及罐斑等方面的客观化研究，为其临床疗效提供可靠的科学依据，有利于进一步推动罐疗的国际化。

关键词：拔罐疗法；客观化；国际化

灸疗参数测定的研究进展

胡静 1 杨华元 1

[1]（上海中医药大学针灸推拿学院中医工程教研室，上海，201203）

灸疗是一种以热刺激为主的传统的中医外治法，其热量的传递受多方面参数的影响，明确各项参数对于量化灸疗，精准化施灸有着重要临床意义，同时对于模拟灸疗仪器的研发也有着深远影响。目前学者们对灸材、灸距、灸时、施灸手法、机体状态、环境等诸多因素进行探讨，并运用红外热像仪、热电偶、血流灌注仪等多种现代仪器对灸疗不同参数产生的热量传递和血流变化进行记录，以期用科学客观的标准衡量不同参数灸疗。近年，不同参数灸疗对体内产生的影响是学者们研究的新方向，热量如何在皮下传导并产生什么样的影响是新的研究重点。而皮下热量传导的研究将进一步科学阐述灸疗的有效性，对灸疗的推广和灸疗仪器的研发有着重大意义。

关键词：灸疗；参数测定；研究进展；

S18
主动睡眠健康

特邀报告

人工智能和大数据分析在远程睡眠医学中的应用

韩芳
北京大学人民医院睡眠中心
Email:Hanfang1@hotmail.com

人生的 1/3 在睡眠中度过，睡得好是健康的标志，睡不好是疾病的征象。在 2015 睡眠疾病国际分类中包括的睡眠疾病高达 90 种，涵盖“睡不着、睡不醒、睡不好”三大类。人群中超过 10% 的患者需要积极诊疗和干预。一门新兴的交叉学科—睡眠医学（sleep medicine）已经形成。2019-2030 国家健康行动计划已经将睡眠健康列为重要内容。 睡眠医学及研究的进展有赖于生物工程技术及计算机技术的发展。多道生理记录仪及无创呼吸机的发展就是集中体现。5G 技术商用化的普及必将为睡眠医学新模式的开展提供机遇。睡眠监测获得的大数据包括了电生理、影像、录像及基因和生化结果。 将以发作性睡病为例展示大数据分析在睡眠疾病病因、诊断领域的应用。近年来出现了不少针对睡眠领域的可穿戴设备，如何评价其应用价值是一个重要的科学问题。特别是在新冠疫情以来，远程睡眠医学发展迅速，在大数据采集人工智能分析的基础上，建立新医疗模式成为必然。

主动健康 - 从理念到模式

李祥臣
国家体育总局体育科学研究所
Email:lixiangchen@ciss.cn

生活方式疾病（如心脏病、脑血管疾病、肿瘤等）已成为人类主要杀手，发达国家纷纷采用生活方式干预的方案进行积极应对，我国也已把主动健康干预技术列入《十四五规划和 2035 远景目标》前沿原创新科技探索中，开展对主动健康理论关键科学问题的研讨是建立主动健康科学体系的基础性工作。主动健康作为一种未来健康医学模式，其核心理念是利用物理、心理等非药物手段对人体施加可控刺激，采用不同于疾病医学对抗式维持人体正常值范围，而是主动远离非正常值范围，寻找高效激发人体自组织力方法，从而达到消除疾病促进健康的医学模式。本报告主要探讨人类新健康观，科学量化定义人类健康态，对人体健康进行科学分层分级及相关关键技术。

专题口头报告

靶向刺激帕金森病患者 SNr 核团对其睡眠影响的初步研究

於慧龄[1]、关凌霄[1]、睢亚楠[1]、巴方[2]、李路明*[1]

1. 清华大学神经调控技术国家工程实验室

2. 加拿大阿尔伯塔大学

目的：探究靶向刺激 SNr 核团对 PD 患者睡眠的影响

方法：本次研究中，我们研究并记录了一位 STN-DBS 植入的 PD 患者的睡眠状况。实验中，我们分别在 130Hz、60us(高频刺激（HFS-V）) 和 80Hz、60us（低频刺激 (LFS-V)）下对腹侧触点进行治疗窗检测，选取最佳运动控制参数作为睡眠调控参数。同时，结合患者术前 MRI 与术后 CT 进行电极定位以及激活区域计算验证，上述参数参与 SNr 刺激。实验包括 7 次日间睡眠实验及 4 次夜间睡眠实验，其中，日间实验使用同时记录了 STN 的局部场电位（LFP）。在日间实验中，当同步心率记录下降 15% 时，将参数调整至 HFS-V，并在患者觉醒时调整回原始治疗参数。晚睡实验中，根据实时多导睡眠监测，在 N2 阶段调整到 HFS-V 或者 LFS-V，并且在其他睡眠阶段（N1、N3 及 REM）调回原始治疗参数。

结果：受试者运动状态在睡眠状态下不同刺激后无明显变化。在日间实验中，HFS-V 状态下患者睡眠时长较基线增加。根据 LFP 数据记录分析，在基线时，STN-LFP 数据左右脑通道能量分布较为对称，而 HFS-V 的参数下左右脑通道能量有明显偏侧性改变：右侧 STN 的 β 频段能量占比有所增高，而左脑通道则有所降低（$p = 0.004$）；而 θ 与 δ 的能量百分比在左侧 STN 中较高（$p=0.003$）。在夜间实验中，与基线刺激（76.2%，13.2/ 小时）相比，HFS-V（86%，5.8/ 小时）和 LFS-V（81.6%，8.1/ 小时）的睡眠效率和微觉醒次数均有所改善。同时，REM 睡眠绝对时长及相对占比均显着增加（26.4%，LFS-V；22.4%，HFS-V；16.3%，基线）。

结论：研究表明，STN-DBS 在睡眠期间对 SNr 的刺激对 PD 患者睡眠具有潜在改善作用。此外，上述结果对更精细化的睡眠调控提出了可能。

关键词：帕金森病；睡眠；脑深部电刺激；STN；SNr

鼾声数据分析

蔡亮明*[1,2]、杜民[1,3]、曾志成[1]、杨淑琴[1]、张永杰[1]、胡巧玲[1]、缪彬鑫[1]

1. 福州大学

2. 福建省医药技术医疗器械重点实验室 福州 350108

3. 国家科技部健康医疗器械国际科技合作基地

目的：通过鼾声特征来判断患者的呼吸情况，进而判断患者呼吸是否存在低通气情况，最后达到对 OSA 患者进行快速辅助筛查的目的。从而减轻睡眠技师负担。

方法：进行数据分析的前提是先获取得到相应自己想要研究的数据。本文所研究的鼾声的数据可以通过各大手机应用商店下载“鼾声分析器”这个 APP 进行录取，如图 1-2。设置好所需要的入眠时间与影响因素将手机放置能够精准测量鼾声的位置，等睡醒时结束录取，该 APP 会帮你获取你鼾声中的各种信息，方便未来进行数据的分析。而鼾声得分 Snore Score 数据在拿到的同时就已经打好，而根据钱昆老师的论文《鼾声相关信号自动检测与分类研究 _ 钱昆》中可以得出 [16]，当鼾声的评分 >50 时，该

检测人员患有疾病的风险较大。而获取的数据中的鼾声得分是根据检测人员的鼾声已经打好的评分。

结果：正常的被检测人员的检测准确率为 92%，召回率为 92%；而患病人员的检测准确率率为 80%，召回率为 80%。两者的 f1 得分分别为 92% 和 80%。

结论：本文通过对鼾声信号进行采集预处理，具体包括：采集开始时间的记录、采集结束时间的记录、打鼾时间的记录、鼾声占比的记录等检测。获取的鼾声数据进行数据的分析，通过数据分析的方法对鼾声的评分响度等一系列数据进行判断，辅助患者大致得知自己是否患有或者可能患有疾病的风险。鼾声部分，可以通过各大手机 APP 市场中的“鼾声分析器”APP 进行采集。在采集完成后保存在数据文件中。并且设计了一个基于 Python 的数据分析程序，先进行数据的机器学习和数据分析。能过做到通过获取的鼾声数据，通过鼾声的声音大小、鼾声占比等分析得出一系列数据，并且进行归类。用该程序对获取的鼾声片段进行深入分类，判断患者是否患有疾病。利用鼾声的信号能相对正确的判断是否患有 OSAHS 综合征，通过未来的不断改良，在对于医院研究与医生诊断以及“家庭医生”监护中有着较大的价值。

关键词：OSA 综合征；鼾声采集；低通气；数据分析

Single-channel EEG-based sleep staging in obstructive sleep apnea using a class-balanced deep learning method

Fan Li[1]、Shaowei Cui[1]、Hang Liu[1]、Rong Liu[1]、Fengyu Cong*[1,2]

1. 大连理工大学，电子信息与电气工程学部，生物医学工程学院

2. 大连理工大学，电子信息与电气工程学部，人工智能学院

Objective Sleep staging is essential for assessing sleep quality and calculating AHI. Yet, manual sleep staging is the major method in clinical science, although many automatic sleep staging methods have been proposed. Given the sleep structure difference of different severity of OSA, and class-imbalance nature of sleep staging task, this study proposed a class-balanced deep learning method in different level of OSA using single-channel EEG.

Methods The designed model takes many-to-one strategy as the model input. To explore time and frequency features of EEG signals, a branch structure is designed at the base of the model. In addition, the big datasets are firstly separated into different “data-pool”. Then, class-balanced strategy is adopted in the batch data training proceedings. The proposed model is trained and evaluated using four groups samples (normal, mild, moderate, and severe) from a public sleep research dataset. The mild, moderate, and severe OSA categories determined by AHI standard break-points of 5, 15, and 30.

Results The overall accuracy, F1-score, and cohen’s kappa (k) are used to evaluate the model performance. It is interesting that the obtained mean metrics decreased gradually with the severity of subjects increasing (mean metrics [overall accuracy, F1-score, cohen’s kappa] in each group. Normal: [0.863, 0.711, 0.798]; Mild: [0.855, 0.69, 0.773]; Moderate: [0.844, 0.666, 0.763]; Severe: [0.798, 0.571, 0.673]). The k values indicate the observed results in substantial agreement with the ground truth. In addition, considering method and group as two factors, metrics of stages W, N1, N2, N3, and R as dependent variables, two-way multivariate analysis of variance (MANOVA) showed that the interaction of method and group had a statistically significant impact on stages N1 and N3 ($p<0.05$). The classification accuracy of stages N1 and N3 were improved significantly based on the proposed method, especially in moderate and severe groups.

Conclusion Compared with the performances of the method without class-balance strategy, the proposed method showed the power in classifying N1 and N3 stages.

To the best of our knowledge, this is one of the few papers that explore sleep staging performance difference in different level of OSA patients. In addition, on the one hand, the method proposed in this study can solve the memory problem of big data methods, on the other hand, it can improve the performance of categories with small samples.

Key words Class-balanced training; deep learning; EEG, OSA; sleep staging

Connectivity dynamics mediates the association between chronotype and aggressive traits

Huimin Duan[1,2]、Yun Tian[1,2]、Haien Wang[1,2]、Xu Lei*[1,2]

1. Sleep and NeuroImaging Center, Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China
2. Key Laboratory of Cognition and Personality (Southwest University), Ministry of Education, Chongqing 400715, China

Objective The aim of this study was to investigate how the connectivity dynamics mediates the association between chronotype and aggressive traits.

Methods The Chinese version of Buss-Perry aggression Questionnaire (BP) was consisted of four dimensions: impulsivity, physical aggression, anger and hostility. The reduced version of Morningness-Eveningness Questionnaire (rMEQ) was used to evaluate individual preferences for chronotype. The lower the score, the more incline to evening type. Testing consisted of an ~8 min of resting-state functional magnetic resonance imaging (rs-fMRI), 3-minute psychomotor vigilance tasks (PVT) before and after rs-fMRI respectively, an Amsterdam resting-state questionnaire 2.0 (ARSQ) , a BP and a rMEQ. All of this were applied to 1500 participants (480 male, 49 gender uncertainty, 20.24±1.01 years).

The functional brain data was decomposed into 100 components, and 54 were identified as intrinsic connectivity networks (ICNs). Then we used a sliding window (width = 22 TRs = 44 s) shifted by 1 TR, resulting in W = 207 windows. The k-means clustering algorithm was carried out to the set of all subject exemplars along with the city distance metric. The optimal number of clusters/states k = 2 was determined by the silhouette criterion. Correlations between the dFNC properties (number of transitions, mean dwell time and fraction time of states) and PVT performance and subdimensions of ARSQ were calculated to explore the possible significance of clusters. Consequently, the correlation between dFNC properties and chronotype and aggression were computed. Further, the mediation analysis was performed using Lavaan 0.6-8 in R.

Results As for the mediation analysis, the reported coefficients were unstandardized. The chronotype negatively predicted the total score of aggression (95%CI [-1.030, -0.570], r=0.802), and its relationship was still significant when the mediator was included. And that mediator is the mean dwell time of state 2 (95%CI [-0.066, -0.002], r=0.029), which was featured with stronger within-network connectivity and weaker between-network connectivity. In further analysis, the fraction time of state 1 (95%CI [-0.027, -0.004], r=-0.013), fraction time of state 2 (95%CI [-0.026, -0.004], r=-0.013) and mean dwell time of state 2 (95%CI [-0.031, -0.006], r=-0.016), respectively mediates the prediction of impulsivity by chronotype (95%CI [-0.191, -0.028], r=-0.113). The mean dwell time of state 2 (95%CI [-0.026, -0.004], r=-0.013) mediates the prediction of physical aggression by

chronotype (95%CI [-0.242, -0.074], r=-0.157).

Conclusion In sum, the higher the degree of evening type, the higher the aggressive inclination, and the properties of dFNC underlies this association.

Key words dynamic functional network connectivity (dFNC); chronotype; aggression; impulsivity

渐进式催眠放松法联合重复经颅磁治疗失眠症的效果观察

刘俊平、鲁雅琴 *、猴毛毛、王紫胭

兰州大学第一医院

目的：观察渐进式催眠放松法联合重复经颅磁治疗失眠症的临床疗效。

方法：将我院 2020 年 1 月 -6 月康复医学科收治的失眠症患者 40 例，随机分为观察组（n=20）和对照组（n=20），观察组男性 10 例，女性 10 例，对照组男性 8 例，女性 12 例。所有患者均符合《中国精神障碍分类与诊断标准》(第 3 版) 关于失眠症的诊断标准。对照组采用 rTMS（每天 40 个序列，1 次连续给予），20min，1 次 /d，连续治疗 10 天；观察组采用 rTMS+ 渐进式催眠放松法（30~45 分钟 / 次，2 次治疗间隔 5 天），比较 2 组治疗前后 PSQI 评分、HAMD-24 评分及 HAMA-14 评分。

结果：治疗前观察组和对照组的 PSQI 评分比较差异无统计学意义 (P ＞ 0.05) ；治疗 10 天后，观察组和对照组的 PSQI 评分均低于治疗前 (P ＜ 0.05) ；治疗前观察组和对照组的 HAMD-24 及 HAMA-14 评分比较差异均无统计学意义 (P ＞ 0.05) ；治疗 10 天后，观察组和对照组的 HAMD-24 及 HAMA-14 评分均低于治疗前，且观察组 HAMA-14 评分低于对照组，差异均有统计学意义 (P ＜ 0.05) 。

结论：患者经重复经颅磁治疗治疗及经渐进式催眠放松法联合重复经颅磁治疗治疗后 HAMA-14 及 HAMD-24 评分均明显下降，但渐进式催眠放松法联合重复经颅磁治疗失眠症患者疗效较好，能够明显改善 PSQI 评分，降低 HAMA 焦虑量表、HAMD 抑郁量表评分，尤其是 HAMA 焦虑量表评分。

关键词：渐进式催眠放松法；重复经颅磁；失眠症

基于 LSTM-Ladder Network 的自动睡眠分期

李瑞晨、王蓓 *

华东理工大学

目的：睡眠分期对诊断睡眠相关疾病有至关重要的作用。自动睡眠分期可以减轻繁重且耗时的手工分期过程。但是，由于个体差异或记录条件的差异，自动分期模型在处理新数据集时的性能尚不够理想。

方法：提出一种基于 LSTM-Ladder Network 的分类模型，构建编码器获取有标签数据的潜在特征，并在最高层添加分类层输出模型的预测结果，通过解码器对新数据编码后的潜在特征重构并最小化重构损失，使编码器输出的特征与新数据更加匹配，提高分类模型对新数据的分类表现，同时减轻模型在高层网络下保存细节过多和梯度消失的问题。此外，考虑到睡眠数据的时间序列关系，在编码器与解码器中采用 LSTM 层，并在分类层之前引入注意力机制进行基于权重的筛选，提高对时序结构的学习能力，使模型能够在有标签数据有限的情况下对睡眠进行有效分期。

结果：在 Sleep-EDFx 数据集上对模型进行了评估。与基本的梯形网络相比，本文所提出的 LSTM-Ladder Network 模型的平均测试准确率提高了 6.7%。通过多种验证方式，利用个体一晚的无标签数据

参与无监督学习时测试准确率相比不采用无标签数据时提升了 1.8%，采用两晚的无标签数据进行学习时提高了 2.2%，并且 S1 期的 F1 值提升了 21%，REM 期的 F1 值提升了 7%。

结论：结果表明，在同一个体的无标签数据逐渐增多时，分类模型将于个体数据更加匹配，以此提升模型性能，并且 LSTM 与注意力机制能够较好的减轻类别不平衡造成的影响。

关键词：半监督学习；Ladder Network；睡眠分期；长短时记忆网络

研究生 - 青年优秀论文复赛

基于多视图卷积神经网络的半监督睡眠分期

刘虹梅[1]（研究生） 张远[1*]

[1]（西南大学电子信息工程学院，重庆 400715）

睡眠分期是评价睡眠质量的必要基础，现阶段的工作大部分采用全监督学习和单一维度视图信息进行睡眠分期，这不仅需要技师进行大量的睡眠数据标注还可能因特征提取不充分而导致睡眠分期精度受限的问题。本文利用半监督学习策略，实现对无标注数据的学习；同时提出多视图融合卷积神经网络分别提取时域信号特征和空域信号特征，实现多视图特征提取；再通过特征融合机制实现多特征融合；最后级联的分类器对融合后的特征进行睡眠分期。本文将提出的模型与全监督模型进行了对比评估，在 DOD-H 和 DOD-O 两个公开数据集中，半监督学习的精确值分别为 80%(k=73%) 和 77%(k=66%)。实验结果表明，提出的模型能从临床数据集中自动学得多视图的时空特征，并取得媲美全监督模型的睡眠分期结果，同时可以减少技师标注数据的工作量。

关键词：睡眠分期；半监督学习；多视图；卷积神经网络

基于深度学习的睡眠自动分期训练数据重新分段方法

申岩（研究生）[1,2] 李凡[1,2] 王悦晨[1,2] 刘航[1,2]

[1]（大连理工大学生物医学工程学院，大连 116024）

[2]（辽宁省集成电路与生物医学电子系统重点实验室，大连 116024）

睡眠分期一直是研究睡眠的一个重要方向，基于深度学习的睡眠自动分期方法是近年的主流方法之一。训练数据将直接影响神经网络的准确性，而普遍做法是直接使用 30 秒一帧的固定分段数据。但是一个数据帧很可能存在多个睡眠期，这种数据帧的数据特征是由混合睡眠期的数据提取出来的，因此不能清晰的区分各个睡眠期。由此数据帧训练神经网络，会降低网络区分各种睡眠期的能力。本文针对训练神经网络的睡眠脑电数据，提出了一种基于时间序列异常检测的睡眠数据重新分段方法，可以让每个数据帧中实际含有的睡眠期更少，从而训练得到准确率更高的神经网络。利用 SHHS1 数据集和 Sleep EDFx 数据集进行的实验结果表明，经重新分段的数据帧训练得到的神经网络在对传统 30 秒一帧的睡眠数据进行分期时，准确率分别为 89.3% 和 85.8%，优于用原始训练数据得到的神经网络。

关键词：睡眠分期；脑电信号；异常检测；神经网络

基于多层次神经网络的睡眠分期——探究眼电信号中脑电成分对睡眠分期的影响

朱航宇[1] 沈凝[1] 周威[1] 陈晨[2*] 陈炜[1,2*]

[1]（复旦大学，信息科学与工程学院，智慧医疗电子中心，上海 200433）

[2]（复旦大学，人类表型组研究院，上海 201203）

眼电图（EOG）信号由于其采集便利，目前广泛的应用于睡眠分期的研究。部分研究仅利用 EOG 信号进行睡眠分期可以获得和脑电图（EEG）信号相近的结果。然而由于 EOG 和前额叶 EEG 采集位置相近，采集信号形态相似，所以并不清楚 EOG 信号可以用于睡眠分期是因为其中混杂着部分 EEG 信号还是 EOG 信号本身就可以用于睡眠分期。本文探究了 EOG 信号可以进行睡眠分期是否因为其混杂着部分 EEG 信号。本文先利用盲源分离算法提取纯净的前额叶 EEG 信号，再将 EOG 信号和纯净的前额叶 EEG 信号进行处理，得到了混杂着不同程度的 EEG 信号的 EOG 信号和纯净的 EOG 信号，最后将两种 EOG 信号送入多层次的神经网络进行五分类自动睡眠分期。多层次神经网络包含两个部分：用于特征提取的多尺度卷积神经网络（CNN）以及用于序列学习的递归神经网络（RNN）。本文使用了蒙特利尔睡眠研究档案（MASS）公共数据集进行试验，最终使用混杂部分 EEG 信号的 EOG 信号以及纯净的 EOG 信号的自动睡眠分期结果分别为 0.807 和 0.800。结果说明纯净的 EOG 是可以进行睡眠分期的，而且准确率尚可，EOG 信号中混杂的 EEG 信号可以提高最终睡眠分期的准确率。

关键词：睡眠分期；神经网络；眼电信号；脑电信号

基于残差学习和多粒度特征融合的睡眠分期

张岩[1,2,3]（研究生）段立娟[1,2,3*] 王长明[4,5] 李梦颖[1,2,3] 王泽宇[1,2,3] 尹悦[1,2,3]

[1]（北京工业大学信息学部，北京 100000）

[2]（可信计算北京市重点实验室，北京 100000）

[3]（信息安全等级保护关键技术国家工程实验室，北京 100000）s

[4]（首都医科大学宣武医院神经外科，北京 100000）

[5]（类脑智能临床转化研究中心，北京 100000）

睡眠分期是诊断和治疗疾病的重要方法之一。然而，医师标注睡眠分期要花费大量时间，因此计算机辅助分期是必要的。已有的深度学习睡眠分期算法通常基于局部学习的思路，而学习局部方差较大的信息缺乏有效性和鲁棒性，因此无法挖掘全局信息和局部信息之间的关联性。针对此问题，我们提出了一种基于残差学习和多粒度特征融合的睡眠分期算法。多粒度特征残差学习模块利用权重不共享的三个分支网络提取输入数据的多粒度特征，以此增强特征的粒度多样性。该模块的每一分支都是以残差块为基础单元进行搭建的，因此网络性能不会随着层数的加深而下降。进一步，注意力感知融合模块被用来对不同粒度的特征进行网络感知权重分配。在 SLEEP-EDF 公开数据集和项目合作单位自采数据集上的实验证明，提出的模块能够有效提升网络架构的分类性能，能达到 85.4% 的准确率。

关键词：深度学习；残差学习；多粒度特征；特征融合；睡眠分期

一种利用多分支特征提取的单通道脑电睡眠分期方法

张炎 杨云*王泽深 陶雨洁

[1]（云南大学软件学院，昆明 650500）

当前的睡眠阶段分期，是通过人工观察脑电波 EEG 图来进行判断。需要筛选大量数据，筛选判断的工作极其繁重、耗时、而且具有很强的人为主观性。所以存在很高的错误率。因此，自动睡眠分期对于睡眠研究和睡眠障碍诊断是亟待解决的问题。所以基于此问题，我们提出了一种新的睡眠分期模型。利用单通道脑电信号的分期方法，根据 EEG 信号自动进行睡眠阶段分期。

主要思想是将原始脑电信号直接应用于神经网络模型，不涉及特征提取 / 选择。本文采用了一个双分支模型。结合 CNN 和 Transforemer 特征提取器的优势。将双分支提取出来的特征进行深度融合。以此提升分类效果。我们采用自监督的注意力机制更好的关注时间序列的特征。提高分类模型的准确性，特别是对于睡眠的 N1 阶段的分期准确率相较于以往的不涉及特征提取和选择的分期方法有很大的提高。

研究中使用了 PhysioNet 睡眠欧洲数据格式 (SEDFEDB) 数据库。最后的睡眠分期性能有很大的提升，准确率为 85.28%，MF1 值为 79.56%，N1 阶段分期的 F1 值为 49.70%。相比于过去的方法有很大提升。

关键词：EEG；睡眠分类；自注意力；单通道

S19
血液净化工程创新论坛暨人工器官

特邀报告

心脏超声辅助定位上腔静脉带隧道带涤纶套导管尖端位置的临床研究

高民 *、韩雨晨
东南大学附属中大医院

目的：探讨心脏超声检查辅助定位上腔静脉带隧道带涤纶套导管（TCC）置入术中导管尖端位置，以利于导管尖端准确到达右心房中上段。

方法：前瞻性随机对照研究，纳入 2020 年 6 月至 2021 年 6 月住院的准备上腔静脉 TCC 置入手术的血透患者 63 例，随机分为常规组 32 例和心超组 31 例，常规组手术方法为，术前根据 DR 胸片或胸部 CT 定位患者右心房体表位置，并根据患者体表的右心房定位点，用测量尺计算所需的 TCC 长度、颈内静脉穿刺位置、皮下隧道位置、皮肤入口位置等，术中按照 TCC 厂家说明书和国家 2020 血液净化标准操作规程完成手术操作，术后完成胸片检查以明确 TCC 尖端位置，若 TCC 尖端未达到或超过右心房中上段，则根据胸片进行调整手术；心超组手术方法为，术前与常规组相同，术中按照常规完成手术操作，并在 TCC 置入操作中用心脏超声探头取剑突下切面进行导管尖端的探查，并根据心脏超声探查结果调整导管尖端位置到右心房中上段，术后术后拍摄胸片留作记录。手术第二天两组患者的 TCC 均用于血透治疗。收集和记录两组术前的基础临床资料、血常规和血生化等检验指标、术中心脏彩超截图、术后胸片资料、并记录第二天血透治疗中导管血流量能稳定到达 250ml/min 的例数。

结果：两组术前的基础临床资料、血常规和血生化等检验指标等无统计学差异；心超组与常规组相比，术后胸片显示 TCC 尖端能到达右心房中上段的例数（31,20）、第二天血透治疗中导管血流量能稳定到达 250ml/min 的例数（30,21）均较高，差异有统计学意义（$P < 0.05$）。

结论：上腔静脉 TCC 置入术中使用心脏超声探头取剑突下切面可以准确探查 TCC 尖端位置，辅助术者调整导管尖端准确到达右心房中上段，以利于血透中导管血流量达到血透治疗要求，且较常规术后胸片拍摄更方便、及时、准确。

关键词：心脏超声；带隧道带涤纶套导管；导管尖端；定位

专题口头报告

基于人体冠状动脉芯片的动脉粥样硬化发病机制研究

赵鹏 *、段乔健、孙钰、杨俊丽
重庆大学

目的：设计并构建了基于 3D 细胞培养的体外模型——人体冠状动脉芯片，结合微流泵作为机械刺激模拟低涡流剪切力对冠状动脉血管壁细胞进行综合研究。

方法：对人冠状动脉内皮细胞进行不同强度和不同时间的低涡流剪切力刺激，利用单细胞 RNA 测序、荧光显微镜、蛋白质免疫印迹、多因子检测 ELISA 等测定处理前后单细胞 RNA 表达变化、细胞形态、蛋白表达和细胞因子释放；同时考察人冠状动脉平滑肌细胞增殖情况和胞外基质蛋白表达变化。

结果：内皮细胞经低涡流剪切力处理后，单细胞 RNA 测序结果显示内皮细胞出现了新型炎症内皮间质转化细胞亚群，表现出典型的细胞形态改变，内皮标志物表达减少和间质标志物表达增多，且释放大量炎症细胞因子，以 RANTES 释放最为显著。而且，周围平滑肌细胞出现增殖和胞外基质蛋白重塑。

结论：这些结果显示，基于新型体外 3D 共培养微流控芯片技术可以用于研究机械作用对人体细胞影响，实现机械刺激和细胞间相互作用协同调控，可推广用于体外药物筛选和多种细胞相互作用研究，也可进一步模拟人体内更复杂的生物系统。

关键词：低涡流剪切力；器官芯片；微流控

终末期肾病患者透析通路质控指标及疾病负担的初步调查

刘利芬[1]、王颖[2]、胡燕[2]、陈之淳[2]、胡蓉蓉[2]、刘炳岩 *[2]
1. 景德镇市第一人民医院
2. 中国医学科学院北京协和医院

目的：初步了解终末期肾病（ESRD）患者透析通路相关的部分质量控制指标及疾病负担。

方法：入组标准：2018 年 3 月至 2021 年 9 月于北京协和医院进行网络预约就诊的患者，就诊目的为透析通路建立或透析通路并发症诊治，排除标准：无法配合电子问卷调查的患者。信息采集：发放电子问卷调查，了解其疾病过程、透析经历、透析通路建立及维护经历，对于明显偏离数据与患者进行电话核实，最终结果进行汇总、统计描述。

结果：研究期间共获得有效问卷 381 份。患者来源主要为北京及北京周边的河北、内蒙古及东北三省等地区。肾脏原发病前 3 位依次为糖尿病肾病、慢性肾小球肾炎、高血压肾损伤，16.5% 的患者初次就诊时即为尿毒症。首次透析使用的血透通路类型自体内瘘（AVF）占 24.6%，隧道式透析导管（TCC）占 10.3%，临时透析导管（NTC）占 64.5%。建立 AVF 时间在透析开始 1 年前、1 月 -1 年前、透析前后 1 月内、透析开始后 1 月以上者分别为 5.2%、34.6%、35.6%、24.6%。对于透析龄 3-12 个月、1-2 年、2-5 年、5 年以上的患者，年均透析通路操作次数分别为 3.52±1.89，1.92±1.11，1.04±0.85，0.45±0.29。

结论：本组患者数据表明，AVF 建立时机偏晚，首次透析通路类型仍以中心静脉导管为主；透析患者透析通路操作频率较高，尤其是透析初期。加强 CKD 患者的早期干预、通路规划，仍是改进透析通路工作质量的关键，透析通路建立及并发症处理技术需要进一步普及。

关键词：透析通路；质量改进；疾病负担

心室辅助装置领域的发明专利分析

张婷、徐东紫、欧阳昭连 *

中国医学科学院医学信息研究所

目的：通过对心室辅助装置领域发明专利分析揭示技术创新态势。

方法：本研究选择智慧芽专利数据库，以“心室辅助装置”为主题词进行检索，采用专利计量分析方法，对心室辅助装置（ventricular assist device，VAD）领域发明专利进行分析，从技术创新时间趋势、技术创新热点、技术创新国家 / 地区、主要竞争对手等角度揭示心室辅助装置领域的发展态势。

结果：全球 VAD 领域共有发明专利申请 1197 组（共 2553 件），2010~2019 年发明专利申请量年复合增长率 7.19%。全球技术创新聚焦于血泵设计、植入技术、改善流体力学、控制与监测系统。美国在 VAD 领域的发明专利申请量（513 组）和授权量（256 组）均处于全球第一位，全球占比均超过 2/5，中国发明专利申请量（114 组，9.52%）和授权量（46 组，7.46%）处于全球第二位，与排名第一位的美国差距明显。国外主要专利权人有 12 个（发明专利申请量≥ 7 组），其中美国的机构最多，有 7 个；美国雅培在 VAD 领域共有发明专利申请 114 组，其中 59 组已获得授权，发明专利申请量与授权量均处于全球领先，在美国、欧洲、日本、中国等国家 / 地区均有相应专利布局；美国美敦力在 VAD 领域申请 76 组，其中 53 组已获得授权，在美国、欧洲、中国等国家 / 地区均有布局。中国专利权人与国外专利权人差距较为明显，中国医学科学院阜外医院是中国专利权人发明专利申请量（12 组）最多的机构。

结论：全球 VAD 领域近十年发明专利申请活跃，血泵设计是专利申请最多的技术方向。美国和中国是技术创新最为活跃的国家。雅培、美敦力等全球领先企业在全球主要市场广泛布局专利。中国医学科学院阜外医院技术开发最为活跃，已具备一定技术开发规模。本研究通过对心室辅助装置领域的发明专利进行分析，从全球视角分析专利技术布局，揭示技术创新态势，从情报学角度为我国心室辅助装置领域的研发提供信息支撑。

关键词：心室辅助装置；发明专利；专利分析；技术创新

S20
类器官与器官芯片

特邀报告

纳米结构表面与循环肿瘤细胞在肿瘤类器官的应用

王鹏元

瓯江实验室

目的：本团队致力于癌症病患的精准医疗。利用独家专利的工程化培养技术，在体外快速扩增癌症病患稀少循环肿瘤细胞 (CTC) 形成肿瘤类器官，可作为肿瘤替身用于个性化的药物筛查。团队所开发的技术可针对不同癌症种类与需求在体外快速扩增 CTC，使数量达到临床检测与分子生物学分析的要求，目前涉及癌症种类超过 60 种，成功率达 90%。经过 4 年多的努力，我们已经对近 1000 多位病人进行个性化药物筛选，解决约 40% 晚期癌末病人无药可选的困境。

方法：本团队致力于癌症病患的精准医疗。利用独家专利的工程化培养技术，在体外快速扩增癌症病患稀少循环肿瘤细胞 (CTC) 形成肿瘤类器官，可作为肿瘤替身用于个性化的药物筛查。团队所开发的技术可针对不同癌症种类与需求在体外快速扩增 CTC，使数量达到临床检测与分子生物学分析的要求，目前涉及癌症种类超过 60 种，成功率达 90%。经过 4 年多的努力，我们已经对近 1000 多位病人进行个性化药物筛选，解决约 40% 晚期癌末病人无药可选的困境。

结果：本团队致力于癌症病患的精准医疗。利用独家专利的工程化培养技术，在体外快速扩增癌症病患稀少循环肿瘤细胞 (CTC) 形成肿瘤类器官，可作为肿瘤替身用于个性化的药物筛查。团队所开发的技术可针对不同癌症种类与需求在体外快速扩增 CTC，使数量达到临床检测与分子生物学分析的要求，目前涉及癌症种类超过 60 种，成功率达 90%。经过 4 年多的努力，我们已经对近 1000 多位病人进行个性化药物筛选，解决约 40% 晚期癌末病人无药可选的困境。

结论：本团队致力于癌症病患的精准医疗。

关键词：纳米结构；循环肿瘤细胞；类器官；药敏

基于结构色力学传感的肺泡器官芯片构建

祖岩 *、牛梦莹

国科温州研究院（温州生物材料与工程研究所））

目的：肺疾病严重威胁人类健康：如新型冠状病毒引起的肺炎、慢性阻塞性肺（COPD）等存在恶化速度 快、并发症多等特点。目前严重肺损伤多采用肺移植作为治疗方案，临床上缺少其他有效的治疗药物和 方法。在许多哺乳动物中已经观察到 II 型肺泡上皮细（Alveolar type 2，AT2）作为成体肺泡干细胞，可以增殖并分化为 I 型肺泡上皮细胞（Alveolar type 1，AT1），在肺损伤后形成新的肺泡。AT2 增殖分化调控是有效修复肺

损伤的新希望，但由于呼吸系统与心血管系统相互联系，AT2 处于气液界面下的动态环境中，研究模型复杂，其再生调控机制知之甚少；严重肺损伤后的原位修复仍然是临床治疗的重大挑战。弄清力学、化学等微环境影响 AT2 增殖分化的机制有望对肺泡原位修复提供理论基础。

方法：器官芯片是一种利用微加工技术，结合微流控芯片模拟器官水平主要功能的仿生系统，该技术突破细胞培养和模式动物等传统研究方式的限制，在控制细胞或组织生化及力学微环境等方面已被证实具有重要的应用前景。我们利用具有反蛋白石结构的薄膜材料将化学特性和机械特性的改变转化为易于检测的光谱变化，并将该力学传感薄膜结合到器官芯片中。

结果：成功构建了等双轴牵张作用下的 AT2 和血管内皮细胞共培养的气液界面；通过薄膜结构色变化实时观测牵张状态并通过荧光粒子进行细胞牵引力的测定。

结论：通过调控牵张强度及内皮细胞分泌的 MMP14 的浓度，牵张和内皮细胞协同作用下影响 AT2 的增殖分化。

关键词：结构色；肺泡器官芯片；力学传感

基于微流控内皮细胞培养模型的纳米颗粒入侵动力学过程研究

薛春东、那景童、曲恒超、胡思毓、覃开蓉 *

大连理工大学

目的：随着纳米医学技术的蓬勃发展，纳米颗粒被广泛应用于癌症、心血管疾病等重大疾病的诊断和治疗领域。血管内皮细胞是纳米颗粒由血液循环系统进入其他组织器官的第一道生理屏障，且其自身功能障碍与心血管疾病发生发展密切关联，成为评估纳米颗粒在体生物效应的重要靶标。鉴于动物模型或临床实验存在实时参数监测困难、风险大、成本高、周期长、伦理学争议等问题，而微流控细胞培养模型具有精确模拟细胞微环境且适于检测细胞及亚细胞层面的纳米颗粒输运的潜力，本课题拟搭建精准模拟在体血管血液流动环境的微流控内皮细胞培养模型，研究纳米颗粒入侵血管内皮细胞的多尺度动力学过程。

方法：首先，基于在体测量的血流动力学参数和流体力学原理，设计和构建可精准模拟真实血液流动环境且适于检测纳米颗粒运动的微流控内皮细胞培养模型；其次，结合单粒子追踪和粒子浓度测量方法，实验观测纳米颗粒入侵血管内皮的完整动力学过程，获取纳米颗粒在胞外、胞内及细胞摄取过程中的输运信息；最后，表征纳米颗粒在细胞及亚细胞层面的输运特性，分析真实血液流动对纳米颗粒多尺度输运的影响，并探索相关微观机制。

结果：构建可精准模拟血管生理流动环境且适于研究纳米颗粒入侵血管内皮细胞动力学过程的微流控内皮细胞培养模型；阐明生理流动对纳米颗粒入侵血管内皮动力学过程的调控规律；揭示生理条件下胞内纳米颗粒的扩散特性及相关微观机制；建立描述纳米颗粒入侵血管内皮细胞的多尺度动力学模型。

结论：本课题工作将不仅为纳米颗粒的人体输运研究提供可靠的微流控血管芯片模型，也为纳米药物评估提供更加可信的科学依据。

关键词：微流控芯片；血管内皮细胞；生理流动；纳米颗粒；多尺度输运

用于药理毒理评价的微流控器官芯片技术

张秀莉 *[1]、韩夏荷 [1]、罗勇 [2]

1. 苏州大学

2. 大连理工大学

目的：体外评价方法的仿生性对于提高药物发现的效率至关重要，高仿生评价方法不仅是药效学评价的需求，更是毒效学研究深入开展的基础。因此如何提高体外模型的仿生性一直是新药研究面临的重要问题。

方法：报告人利用微流控器官芯片技术，开发了系列模拟生理和病理不同条件下的体外模型，并将其应用于药物的药效和毒性评价。在肝芯片方面，利用微流控技术和仿生原理，按照肝体内的空间排布和比例，构建了一种包含 4 种发挥主要肝功能的肝细胞系、仿生血液和仿生胆汁的肝血窦芯片。比较了三种培养方式下地塞米松对肝细胞的损伤程度变化以及肝实质细胞和非实质细胞经地塞米松作用后毒性损伤程度大小。

结果：研究结果表明，不同剂量地塞米松能引起肝细胞活性（肝实质细胞与非实质细胞）不同程度的降低，且损伤程度与剂量呈正相关；经不同剂量浓度的地塞米松给药后不同培养方式下 IC50 值大小为：肝血窦芯片＞孔板单细胞≈芯片上单细胞，证明芯片模型中多种细胞类型的自分泌和旁分泌因子的相互作用维持肝细胞稳定，促进肝细胞的自我修复作用。除此之外观测到地塞米松给药后非实质细胞活性更容易受到抑制（内皮细胞 IC50=0.594mM、星状细胞 IC50=0.497mM 且于 0.1mM 时活性即受到明显抑制），说明非实质细胞于地塞米松药物损伤更敏感，评价其肝损伤特性时，需考虑其对非实质细胞的损伤剂量。

结论：此外报告人还开展了系列工作，如 1）构建了基于肝芯片、肾芯片和心脏芯片的毒效学评价平台，可实现候选药物不同器官的系统毒效评价。2）开展了不同微流控器官芯片对中药化合物的器官损伤评价研究，发现了化合物在生理状态下具有损伤、在病理作用下有保护作用的特性。3）利用肝器官芯片，初步评价了肝毒性药物可通过激活免疫细胞增强肝损伤的特性。

关键词：肝芯片；地塞米松的肝损伤；病理下的药效和毒效

医学导管超浸润复合涂层的仿生构筑

刘慈慧

南京师范大学

目的：自然界中的很多生物表面都具有独特的表面性质，比如自清洁的荷叶表面、可在雾天飞行的蚊子、在水面上行走的的水黾腿、滚动各向异性的蝴蝶翅膀等，生物体表现出的这些性质都与他们表面特殊的浸润性有关。但是，大多数超疏水材料的制备过程繁琐、制备材料过于昂贵、制备手段过于依赖大型仪器等缺点。受到贻贝的超级粘合剂和蚊子复眼的分层结构的启发，我们提出了一种通过自组装胶体纳米颗粒来构造类肠道功能超疏水表面的新方法。

方法：制备一种新颖的分级结构光子晶体薄膜。首先采用聚多巴胺对材料基底进行改性，增加胶体纳米粒子的黏附力。随后，将单层微米级的光子晶体膜自组装在液体表面上，并沉积在聚多巴胺改性的基板上。接下来，将单层纳米级光子晶体薄膜自组装在液体表面上，并沉积在制备的单层微米级薄膜上。最终，我们在液 - 气界面上制备了具有超疏水性的分级光子晶体膜。

结果：由于该分级结构膜是通过在液体表面上的胶体分级组装而形成，因此它们不仅可以沉积在平面基板上，而且可以沉积在曲面或球体上。由此我们可以实现在任意复杂的表面上构造超疏水分层胶体晶体。此外，为了制备具有 Janus 浸润性的 PU/P(NiPAAm-bis-AA) 反蛋白石薄膜，在制备的反蛋白石支架的上层引入了蜡烛烟灰。所制备的 Janus 薄膜上层具有超疏水性，下层因其有序的反蛋白石结构而具有鲜艳的结构色和超亲水性。

结论：该方法可以在任意复杂的表面上制备具有结构疏水性的分级光子晶体膜。同时，在复杂液体环境中独特的稳定性和结构颜色传感能力赋予该薄膜在面对外部的刺激时，不仅可以通过马兰戈尼效应诱导的定向迁移来应激响应环境变量的变化，而且还可以通过薄膜结构色变化来定量反馈外界的刺激信号。可以模拟肠道蠕动和消化能功能。

关键词：光子晶体；超疏水；分级结构；类肠道

血管器官芯片中血流动力学微环境的精准构建

李泳江、杨雨浓、那景童、曾效、覃开蓉 *

大连理工大学

目的：由血压、壁面剪切力和血管周向应力构成的血流动力学微环境是维持血管正常结构和功能的重要基础。异常的血流动力学微环境可引起血管结构和功能紊乱进而导致动脉粥样硬化等心脑血管疾病的发生和发展。因此，在血管器官芯片中精准构建在体血流动力学微环境对于探索心血管疾病的发生发展机制、预防和康复手段尤为重要。本研究基于微流控芯片技术搭建精准模拟血管血流动力学微环境的器官芯片系统，给出深度学习辅助的血流动力学微环境参数监测方法。

方法：通过融合影像学、血流动力学与深度学习技术获取在体血管血流动力学微环境参数；基于获取的在体真实血流动力学微环境参数，利用集总参数模型反演确定各元件参数值，指导设计精准模拟血管内生理流动的后负荷芯片系统；采用虹吸原理和振荡阻尼器设计无源恒流泵；结合自动控制原理构建能精准模拟生理血压波形的压力驱动系统；针对上述构建的微流控芯片内微流场的定量监测，提出了融合深度神经网络与标量图像测速原理确定微通道内微流场的反演方法。

结果：所设计的微流控芯片系统可精确构建血流动力学微环境，不仅可以精准模拟静息、运动干预、反搏干预条件下的血管压力、壁面剪切力和周向应变波形，而且可通过无源恒流泵实现对血管内皮细胞长时间、稳定的流动刺激加载。此外，融合深度神经网络与标量图像测速原理的微流场检测方法可以高效地、高精度地监测微通道流动微环境。

结论：本研究构建了精确模拟血液生理流动的血管器官芯片系统，为深入研究血流动力学微环境影响血管结构和功能，从而为理解心脑血管疾病的发生发展机制、探索有效预防和康复手段提供了微型、定量、客观的实验平台。

(国家自然科学基金面上项目 31971243；科技部重点研发计划 2020YFC2004400；辽宁省自然科学基金医工交叉联合基金 2021-YGJC-09)

关键词：血管器官芯片；微流控；血流动力学；微流场检测；微环境精准构建

肺器官芯片

黄棣 *

太原理工大学

目的:构建类肺泡三维多孔凝胶肺器官芯片，通过芯片控制单元，模拟人体肺部呼吸，实现独特的肺泡“扩张 - 收缩”周期运动及气液界面，验证 hAECs 在肺器官芯片中生长、黏附与细胞连接等情况。

方法：对 PDMS 进行表面处理后，与 GelMA 形成化学键合。采用疲劳试验检测 GelMA 与处理后 PDMS 表面的黏附情况。设计用于实现“扩张 - 收缩”周期运动的真空单向阀芯片控制单元。荧光共聚焦显微镜观

察肺器官芯片的气液界面情况，周期性“扩张 - 收缩”作用后，观察 hAECs 生长情况，采用活死染色评价肺器官芯片中 hAECs 的活死情况，通过细胞紧密连接蛋白 ZO-1 和 HE 染色观察细胞在周期性“扩张 - 收缩”作用前后变化情况。利用 ELISA 观察周期性机械作用对细胞炎症因子的影响。

结果：PDMS 经过表面处理后，PDMS 与 GelMA 粘附较好。疲劳测结果表明 GelMA 与修饰 PDMS 结合较好，无脱落现象。通过光镜观察到肺器官芯片内周期性“扩张 - 收缩”作用下细胞生长良好，周期性“扩张 - 收缩”作用 48 h 后，活死染色无明显差异；相比于在静止培养的 hAECs，进行周期性拉伸 - 收缩作用后的 ZO-1 蛋白于细胞膜表达更加明显。HE 染色结果表明，周期性“扩张 - 收缩”作用后，细胞在类肺泡孔隙表面黏附良好；细胞炎症因子 IL-8、IL-6、IL-1b、MCP-1 和 GM-CSF 蛋白水平变化无统计学差异。

结论：类肺泡三维多孔凝胶肺器官芯片可以实现肺的生理性周期性“扩张 - 收缩”作用和气液界面，细胞功能表达较好。本研究得到国家自然科学基金重点项目（11632013）资助。

关键词：三维水凝胶；肺泡模型；器官芯片

细胞（类器官）力学芯片研究进展

熊春阳

北京大学工学院

目的：细胞作为生命体的基本单元，需要生活在特定的微环境中，并受到微环境中多种因素（包括生物化学及物理因素）调控。越来越多的研究表明，机械力是机体生长发育、结构重建以及功能维持的重要因素，也与疾病的发生发展密切相关。

方法：我们将力学生物学思想和技术与微流控芯片结合，设计实现了各种细胞（类器官）力学芯片。

结果：利用细胞力学芯片，研究发现在倒 U 形刚度梯度基底上，乳腺癌细胞 MDA-MB-231 可沿垂直于刚度变化方向极化和迁移、而正常乳腺上皮细胞 MCF-10A 则无此表型，并受 ROCK/MLCK/ 肌球蛋白 IIA 介导的细胞收缩调控；利用力 - 电耦合微芯片，发现肿瘤细胞在电场诱导下，会产生极性和定向迁移。电诱导的极化形态和定向迁移也同时受力学信号调控，硬基底上的现象更为明显。发现细胞在电信号或刚度梯度信号诱导下能够分别表现出非线性的趋电性和趋硬性响应，且细胞的趋电性和趋硬性行为能够被相对独立的控制，使其呈现超极化或去极化的迁移状态。生化因子 TGF-β 能够通过促进肿瘤细胞的迁移，但会削弱其趋电性行为。抑制 GSK3-β 信号通路会削弱细胞的趋电性行为；利用类器官力学刺激芯片，发现循环机械刺激会激活 Wnt/β-Catenin 信号通路，促进肠干细胞的增殖，并显著上调其干性基因的表达，从而促进肠类器官的生长和更新。

结论：微流控技术既可以在体外精确构建细胞（类器官）的物理力学微环境，也可以实现对细胞（类器官）力学表型的高通量、精确检测，为力生物学与力医学基础研究与转化应用提供了强有力的工具。

关键词：细胞力生物学；力医学；微流控芯片；类器官

新型成体微血管模型用于微血管芯片研究

王栋 *[1]、宋秀玥 [1]、于亚丽 [1]、冷宇 [1]、牟洁 [1]、胥亚兰 [1]、祝海 [2]、李菁 [1]

1. 青岛大学医学部转化医学研究院

2. 青岛大学附属青岛市市立医院泌尿外科

目的：当前微血管芯片研究中使用的细胞一般是细胞系，如来自脐带静脉的血管内皮细胞、来自大脑的周细胞、或由多能干细胞分化而来的血管细胞。由于血管细胞存在广泛的组织异质性，大血管来源的血管内

皮细胞，及其与不同组织来源的周细胞的共培养模型，难以准确反映某一特定组织微血管的生物学特征。鉴于此，本研究旨在构建一个所有细胞来源于同一组织的成体微血管模型，以期更好地模拟成年个体微血管的生物学特征，推动微血管芯片研究发展。

方法：本研究以成年大鼠皮下疏松结缔组织为例，利用酶消化法从中分离微血管，在普通培养皿中进行培养，我们筛选了一系列培养基，对照组为商用培养基 EGM2MV。体外培养的微血管细胞经免疫荧光染色，激光共聚焦成像，统计分析微血管面积、长度和分支节点。进行转录组测序，研究微血管相关基因表达情况及调节机制。以猪肾脱细胞基质水凝胶为材料，利用定向冰模板法构建三维微血管模型。

结果：1、Medium-X 维持成体微血管形态。在普通培养皿中，大鼠成体微血管内皮细胞在商用培养基 EGM2MV 中以单层细胞形式生长。经过筛选一系列培养基成分，我们发现 Medium-X 使得成体微血管在体外维持其特有的管状形态和网络结构。

2、转录组学分析。转录组测序分析表明，Medium-X 相比 EGM2MV 更能促进血管新生相关基因表达，并抑制氧化和脂代谢相关基因表达。

3、同源周细胞与微血管内皮细胞共同生长。通过调节培养基成分，我们可以使得同源的周细胞围绕在微血管周围伴随其一起生长。

4、三维微血管模型构建。以猪肾脱细胞基质水凝胶为材料，我们利用定向冰模板技术构建了厘米级大尺度微血管模型。

结论：本研究构建了一个新型成体微血管模型，使得成体微血管内皮细胞在培养皿中以管状形式生长，形成网络结构，同时保留同一组织来源的周细胞。相比传统方法，该模型能更好地模拟成体微血管的生物学特征。该模型可与微加工技术结合，建立个体化的组织特异性的成体微血管芯片。

关键词：微血管；内皮细胞；周细胞；组织特异性；微血管芯片

3D Human Glioblastoma Tumoroid as a Tool for Evaluating the Deep-Tumor Penetration and Synergistic Anticancer Therapy of a Cascade Nanoreactor

Xilong Wu*、Yundi Wu、Fanfan Chen

海南大学

Objective: The therapeutic options for lethal brain tumor (glioblastomas, GBM) are limited. The majority of ROS (about 90%) in GBM cells come from mitochondria, and the level of GSH expression in mitochondria of tumor cells (up to 10 mM) is significantly higher than that in normal tissues. To mimic the brain tumor microenvironment, drug penetration and drug efficacy, we prepared a 3D human-derived GBM model (tumoroid).

Methods: In this work, tumor-targeted core–shell nanoassemblies were designed for synergistic therapy via a cascade of oxidative stress amplification and autophagy inhibition. The core is a cationic polypeptide-based block copolymer with side chains containing esters of benzene- boronic acid, which can load photosensitizer chlorin e6 (Ce6) and autophagy inhibitor through non-covalent interactions. The negatively charged outer shell is PEG-b-polylysine-graft-cis-aconite anhydride, which disintegrates in the acidic environment.

Results: The effective endosomal/lysosomal escape of nanoparticles may be as a result of the proton sponge effect of polycationic polymers and autophagy inhibition. The inner-layer particle located in mitochondria can oxidize boronic esters and consume GSH, which increases the accumulation of the ROS caused by C6-mediated

PDT. Blocking autophagy aggravates the toxicity of excessive ROS, which synergistically triggers tumor apoptosis or necrosis.

Conclusion: The aforementioned GBM tumoroids were used to investigate the deep-tumor penetration and therapeutic effectiveness of the double drug-contained nanosystems, and reveal the mechanism of combined autophagy inhibition and GSH consumption on the oxidative stress. This study provides data for a novel way for the development of ROS-based brain tumor therapy.

Key words: nanoassemblies; glioblastoma tumoroids; deep-tumor penetration; oxidative stress; autophagy

面向肝腺泡体外模型的微流体混匀器研究

马梁

浙江大学

目的：肝脏是人体最大的腺体之一，承担着合成、代谢、解毒等重要作用。外来物质包括营养物质、药物等，都要先通过肝脏代谢吸收，然后再进入到人体循环中。肝脏最基本的组成单位是六棱柱形状的肝小叶，最基本的功能单位是肝腺泡，由两个 1/6 肝小叶组成，其内部是具有营养物质浓度梯度的三个区域。在体外重现肝腺泡的浓度梯度能够为真实模拟药物在肝脏中的代谢与扩散提供有力的工具。如今的肝脏模型大多是通过生物 3D 打印获得的，而为了构建更为精确地肝脏体外模型，往往就需要配制多种生物墨水，将其打印到目标区域内，而相邻区域之间的变化不是连续的，与肝脏体内实际的情况不同。因此需要使用微流体混匀器以获得连续变化的生物墨水。

方法：为了更好地在体外复现肝腺泡的营养物质浓度梯度分布，本文通过流变学实验选用了适合浓度的水凝胶材料，并证明了其具有良好的生物相容性。并且结合肝腺泡的特点，设计三种不同形态的微流体混匀器，分裂再聚合式，螺旋式以及嵌入障碍式，并对其混匀效果进行仿真实验。设计合适的微流体混匀器来实现生物水凝胶材料的浓度的连续梯度变化，与现有的体外器官模型构建技术相结合，构建出更为复杂的功能化体外肝脏模型。

结果：开展了可实现浓度梯度分布的仿肝腺泡芯片的构建的研究。在分析了肝脏微结构以及肝腺泡实现方式的基础上，在仿真基础上选择了螺旋式作为微流体混匀器，设计了能够实现连续变化浓度梯度的肝腺泡模型打印方法并进行了肝细胞的打印。与市面上其他混合器相比内部表压更小，混合效率更高，响应速度更快。

结论：通过本项研究，我们构建出能够实现水凝胶连续变浓度梯度的微流体混匀器，为进一步研究药物肝脏相互作用提供了有效的平台。

关键词：微流控；肝腺泡模型；混匀；浓度梯度

分岔式胚胎干细胞球发育模型

陈柯洁[1]、覃开蓉[1]、Jianping Fu*[2]

1. 大连理工大学

2. University of Michigan

目的：人体胚胎干细胞（hESCs）能够被诱导分化为机体内几乎所有类型的细胞，并且能自发聚集形成

有规则的三维排布和空间结构。通过在体外构建适合的培养环境并施加生物化学刺激和物理刺激，有望在体外利用 hESCs 构建模拟人体组织、器官结构甚至部分功能的类器官，并将其应用于药物筛选和研究影响组织生长发育的机制机理。

方法:据此，本研究提出了一种基于锥形微槽阵列实现快速制造并长期悬浮培养 hESC 三维细胞球的技术，并实现了高效可控地构建模拟原肠形成初期、具有不对称羊膜囊结构的类胚胎组织（胚状体）；同时基于图像处理、非线性降维算法和生长轨迹预测算法实现了对胚状体染色图像的自动化、高通量地处理与分析，并根据离散时间点采样得到的胚状体图像实现了对组织生长过程中连续变化的形态和蛋白表达的预测。

结果：具体来说，通过优化三维胚胎干细胞球的初始尺寸和三维胶质培养环境，本研究实现了超过半数的干细胞球生长成为具有不对称羊膜囊结构的胚状体，而余下的生长成为对称的类中胚层组织或是类羊膜组织，为研究胚胎发育提供了足够的样本模型。然后通过分析生长过程中组织的染色图像，揭示了 hESC 中 Brachyury（T）蛋白的动态变化对打破组织对称性和促使细胞分岔式分化为扁平状羊膜囊细胞和圆柱状中胚层细胞的重要性。

结论：总体来说，本研究提出的胚胎干细胞球制造和培养技术具有良好的可控性和可拓展性，有望为体外研究早期人体胚胎发育过程和药物对胚胎发育的毒性作用提供可靠的体外实验系统。

关键词：胚胎干细胞；类器官；人工智能；组织生长与发育

人体肺器官芯片检测新冠病毒和炎症反应

陈早早 *、顾忠泽

东南大学

目的：器官芯片，又称为微生理系统，是在 U 盘大小的芯片上，制作迷你的人工器官，以实现对人体器官的模拟。器官芯片可以模拟人体内环境开展药物评价、疾病模型和基础医学领域等多方面的研究 [1-5]。针对 COVID-19 的疫情，本课题组构建了人体肺器官芯片，可供检测病毒感染以及病毒传播的仪器系统。

方法：本项目组利用组织工程的技术和手段制作了由人类细胞组成的肺器官芯片模型，以及可以控制器官芯片中液体传播的仪器系统。该模型不仅具有类似于人体肺泡和肺终末支气管的特有的组织和结构，同时具有生物功能性。我们同时构建了基于深度学习技术的图像识别算法，用于对肺器官芯片的细胞状态进行人工智能识别。

结果：我们检测到了比如肺泡上皮的通透性、分泌，肺内皮细胞通透性、炎症反应等等一系列重要的肺功能性参数，测量显示，该人工肺器官芯片具有相比拟的物理学特性和生物学特性。同时，我们开发的基于该肺芯片体系的检测技术，可在该系统内实时动态的观测以及定量检测病毒颗粒的传播以及与巨噬细胞、单核细胞等免疫过程相关的免疫应答。

结论：最后，通过口罩等防护装备的测试及其作用结果，展示了这样的人工肺器官芯片系统具备了可以检测新冠病毒感染，及其对抗手段的有效性以及药物的有效性的定量分析和评价。该方法还可以实时检测肺相关炎症反应的能力。通过深度学习技术，项目组实现了对感染芯片的 98% 的高识别率。综上，该系统和软件算法，可以对新冠病毒早期感染以及后续炎症反应进行实时预警和评价，体现了器官芯片的精密测量的功能。

关键词：器官芯片；组织工程；新型冠状病毒；感染模型

专题口头报告

分化可控的人类鼻粘膜类器官模型的建立

汪珂[1]、于言[1]、韩日[1]、王显文[1]、赵云腾[1]、唐浩程[2]、李刚*[1]

1. 南方医科大学南方医院

2. 广州医科大学第一附属医院

目的:利用患者来源的鼻粘膜组织，采用“扩增 - 分化”分段式培养气液界面培养法，建立分化程度可控，能够重现来源组织结构和功能的人类鼻粘膜类器官模型。

方法：采集手术切除的新鲜鼻粘膜和鼻息肉组织，将消化过滤采集的鼻粘膜上皮细胞分为连续培养和分段式培养，将消化过滤后获得的鼻粘膜细胞等分为持续扩增组（EO Group，Enlarge d Organoid Group）及扩增 - 分化组（DO Group，Differentiated Organoid Group），在体外含有细胞外基质蛋白以及 Wnt、R-sponding、NOGGIN 等干性维持细胞因子条件下分别在气液界面体系中进行体外 3D 类器官培养，通过 STR 检测鉴定类器官与来源组织的同源性 , 光镜、HE 染色、电镜、免疫组化染色比较两组类器官的生长和分化情况，通过 PAS 染色分析鼻粘膜类器官的分泌功能。

结果:14-21 天后，均能生长出直径、空泡状或实心球状 3D 类器官，基因组特征、细胞构成、组织结构、纤毛功能和分泌功能与来源组织高度一致。鼻息肉和正常鼻粘膜培养出的类器官，形态、功能均无显著差异。“扩增 - 分化”分段培养的类器官中纤毛细胞、杯状细胞数多于连续培养类器官。

结论：本研究首次采用“扩增 - 分化”分段式培养法，培养出能够在体外长期稳定生长，高度拟似来源组织形态和功能，且分化程度可控的鼻粘膜类器官，该模型具有易获取、低成本、高通量、人源化的特点，可用于呼吸道发育、损伤修复、肿瘤发生以及病原体感染传播等研究。

关键词：类器官；鼻粘膜；气液界面；分化培养；3D 细胞模型

类器官传感器评价肺癌类器官药物敏感性的研究

蒋得明[1]、潘宇祥[2]、邱勇[1]、朱宇瑄[1]、王平*[1]

1. 浙江大学

2. 之江实验室

目的：肺癌具有非常高的遗传和表型的异质性，导致了患者的不良预后。肺癌类器官能够保持患者的个体特征，在体外复制患者对不同药物的响应，在基础研究和个体化治疗中发挥了重要的作用。然而，肺癌类器官培养难度较大，用于肺癌类器官检测的手段相对匮乏。本研究旨在构建患者来源的肺癌类器官作为体外药效评价模型，并且开发新型的类器官传感器用于检测肺癌类器官对不同药物的响应，体外预测肺癌患者对不同药物的应答作用。

方法：首先从合作单位（浙江大学医学院附属邵逸夫医院呼吸科）处获得若干例肺癌患者的手术切除样本，从中培养得到肺癌类器官。使用免疫荧光技术对肺癌类器官的生物标志物（TTF-1，Napsin A，CK7，p63，CK5）进行鉴定。然后，设计加工了基于垂直对电极的类器官传感器，通过检测对电极间类器官与基质胶的整体阻抗值来计算肺癌类器官的活性。随后挑选了临床上常用的化疗药物顺铂、多西他赛和新型靶向药

物 AC0010 进行药效评价。

结果：免疫荧光结果表明，培养的肺癌类器官保留了源患者的个体特征。取自腺癌患者的肺癌类器官表达出较多的 TTF-1、Napsin A 和 CK7，不表达 p63 和 CK5，而取自鳞癌患者的肺癌类器官的表达情况则相反。同时，我们加工的类器官传感器能够检测到类器官的活性和受到药物作用后活性的抑制。传感器的测试结果发现，肺癌类器官具有较高的耐药性，且不同患者来源的肺癌类器官对同种药物的耐药性有所差异。值得注意的是，针对携带特定 EGFR 突变的肺癌类器官，我们证实了其对于靶向药物具有非常高的响应。

结论：本研究成功构建了多例患者来源的肺癌类器官，并且证实其保留了源组织的分子特征，具有不同的药物响应性。同时，我们设计加工了能够非侵入地、实时检测肺癌类器官活性的类器官传感器。新型的类器官传感器能够简便、灵敏地检测肺癌类器官对不同药物的响应，实现体外对患者治疗效果的可靠预测，未来有望在个体化治疗领域得到广泛的应用。

关键词：肺癌类器官；类器官传感器；药效评价

青年学者 - 青年优秀论文复赛

基于不同生物材料方法的体外癌症模型构建与机理研究

刘熙秋[1] 汤睿智[2*]

[1]（华中科技大学同济医学院药学院，武汉 430030）

[2]（武汉市中心医院，武汉 430030）

癌症发展是受微环境中多因素协同动态作用而产生的一系列细胞行为和功能变化的结果，但传统生物学研究方法难以实现微环境中各种物理生化因素的仿生模拟。本课题组利用层层自组装、3D 打印、水凝胶等生物材料方法模拟细胞外基质，构建了包括肝癌等体外模型用于癌症发生发展的机理研究。发现在基质模型中通过改变基质硬度或生长因子浓度可以完整呈现癌细胞的 EMT 全过程，通过改变基质硬度或粘度也可以控制肿瘤相关巨噬细胞极化方向。实现了通过负载特定的生长因子对癌细胞黏附、形态、迁移的有效控制，阐明了基质模型中的生长因子和力学信号传导联合作用在癌细胞 EMT 过程和能量代谢上的分子机理。本课题组的研究旨在实现细胞外基质的有效模拟和癌症体外模型的构建，为复杂微环境中研究癌症发生发展并揭示细胞 - 基质 - 活性分子之间的作用机制提供新方法。

关键词：体外癌症模型；仿生微环境；层层自组装；分子机理

研究生 - 青年优秀论文复赛

构建炎症性肠病芯片研究两岐双歧杆菌的特异性治疗作用

刘鋆（研究生）[1] 陆荣浩 [1] 田甜 [1*]
[1]（重庆大学生物工程学院）

肠上皮屏障功能障碍参与了多种炎症性肠病（IBD）的产生和发病机制，因此，旨在恢复受损肠道屏障的紧密连接功能的 IBD 治疗方法已被提出。补充双歧杆菌已被证明可以预防、缓解和治疗 IBD，但关于其进展和机制的研究因缺乏适当的体外模型而受到限制。在这里，我们构建了具有有氧－缺氧界面（AHI）的 IBD 肠芯片模型，并研究厌氧细菌两岐双歧杆菌（BB）对 IBD 的特异性治疗。在形成完整肠上皮结构的、具有 AHI 的肠芯片上，通过 TNF-α 和 LPS 诱导上皮屏障破坏的 IBD 症状，并研究 BB 对此症状的作用。通过测量经上皮电阻（TEER）、细胞旁通透性、RNA 测序和免疫荧光成像等方法，证明 BB 在肠上皮的定植能够防止 TNF-α 和 LPS 对肠上皮屏障的破坏，受损的肠上皮屏障也能通过 BB 治疗得到一定恢复。

关键词：炎症性肠病 (IBD)；肠上皮屏障；有氧－缺氧界面（AHI）；肠芯片；两岐双歧杆菌

Using sodium alginate scaffolds and hepatoma cells to bioprint artificial liver constructs

Weitong Pan Panmiao Liu*
Anesthesiology department, The First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou450000, China

Objective: As one of the top ten causes of death in China, liver disease continues to attract researchers' attention. Among them, the most efficient and effective treatment for end-stage liver disease and liver failure with high mortality is liver transplantation. The biggest obstacle to the popularization of liver transplantation in clinical treatment is the problem of liver source. In order to find a new way to solve the liver shortage, we can combine modern technology with the construction of tissues and organs, namely three-dimensional(3D) printing technology.

Materials and methods: Firstly, sodium alginate was selected as the skeleton material, and the alginate hollow scaffold was printed by 3D bio-printing technology, and its excellent mechanical properties were analyzed and verified. Then the fibrin bio-ink containing hepatoma cells (HepG2) was injected into the hollow tube of the alginate scaffold to record its viability, cell proliferation and function related indicators. Then the fibrin bio-ink containing hepatoma cells (HepG2) was injected into the hollow tube of the alginate scaffold to record its viability, cell proliferation and function related indicators.

Results: The results showed that the alginate saline gel scaffold was beneficial to the growth of cells, and the cells in the scaffold could maintain the function similar to that in human body, which also confirmed that the model could be successfully constructed and the three-dimensional microenvironment similar to that in vivo could be maintained in vitro.

Conclusion: The results of this experiment describe and analyze the 3D bioprinting technology in the

construction of liver tissue engineering structure and the establishment of intercellular connections in vitro liver structure, and lay a foundation for the future development of tissue engineering.

Key words: liver disease; sodium alginate; 3D printing; tissue engineering

基于曲面微腔的细胞球灌流培养

孙帮勇

重庆大学

研究背景：三维细胞培养较传统的二维细胞培养有诸多优势，三维细胞培养可以更好地模拟体内实际情况，细胞之间有更多的空间互作，会产生更多的细胞外基质，这些对药物筛选和疾病建模等研究有重要意义。传统的微孔板及微孔培养多数为静态培养，即隔天更换培养基或者每天更换一次培养基，一方面，培养基的更新是间歇性的，另一方面，培养基更换操作加大了科研工作者的工作量。因此，我们制造了一款基于曲面微腔的灌流微流控芯片，用于细胞球、类器官等三维培养。

目的：制造出曲面微腔的灌流三维细胞培养芯片，解决培养基更新问题，实现培养基的连续更新。

方法：利用数字雕刻机、激光雕刻机等将有机玻璃制作出带有微孔和管道的模板基片，再利用聚二甲基硅氧烷（PDMS）倒出模具，经双倒模后得到 PDMS 的阴模，在阴模具上倒入焦糖，干燥脱模后，经回流形成光滑曲面焦糖阳模，再经倒模后即得所需芯片的主要部分，将其键合上 PDMS 盖片后得到所需芯片。芯片经 Pluronic F-127 处理并消毒后便可用于三维细胞培养。最后将芯片接入微流控装置实现灌流培养。

结果：通过雕刻和回流成功制造了较为均一的、光滑的曲面微腔，实现了连续的灌流培养。与平底微孔相比，曲面微腔形成的细胞球更规则，均形成了一个较规则的细胞团，未出现同一孔有多个不规则细胞团的现象，与静态培养相比，灌流培养的细胞活性更强，后期生长更快。

结论：曲面微腔有助于形成单个较为规则的细胞团，灌流系统更有利于细胞球等三维细胞的生长。

关键词：三维培养；曲面微腔；焦糖回流；灌流培养

构建具有皮髓功能的肾上腺三维培养体系

郭雅婕[1, 2] 王逸夫[1] 郭冰倩[1, 2] 姜经航[1] 吕愉芳[1] 陈中元[1, 2] 郭毅[1] 蒋永华[1, 2] 莫曾南[1, 2*]

[1]（广西医科大学基因组与个体化医学研究中心，广西基因组与个体化医学协同创新中心，广西 南宁 530021）

[2]（广西医科大学再生医学与医用生物资源开发应用协同创新中心，南宁 530021）

目的：探索构建具有肾上腺特殊结构及功能的三维培养体系。方法：选取 2019-2021 年于广西医科大学第二附属医院的流产胚胎肾上腺组织，消化成细胞悬液，基质胶 (Matrigel) 包裹三维培养。在不同培养条件下：（1）DMEM/F12+10%FBS+5%HS+1XGlu；（2）无血清培养添加 FGF2；（3）无血清培养添加 FGF2，及添加 Wnt 信号通路激活因子 CHIR99021、R-spondin1。通过病理组织染色、荧光实时定量逆转录聚合酶链反应（qRT-PCR）、免疫荧光和透射电镜等方法检测相关基因或蛋白表达水平的差异，探讨其对于构建肾上腺三维培养体系的影响。 结果：(1) 添加 FGF2 生长因子，3D 培养球体直径明显较不添加组增加。(2) 添加 CHIR99021、R-spondin1，较仅添加 FGF2 组，球状体具有显著外层致密内层疏松的肾上腺特殊结构，更有利 3D 培养肾上腺立体结构的形成；(3) PCR 提示 3D 培养形成的球状类器官结构表达 *SF-1*、*CYP17A1*、*CYP11A1*、*CYP11B1*、*HSD3B2* 类固醇合成关键酶，以及 *Nestin, CHGA* 神经内分泌细胞关键基因。免疫荧光染色证实了 *NOV*、*CYP17A1* 蛋白在类器官球状结构的表达。(4) 球体结构的类器官表达黑皮质素 2 受体

(melanocortin 2 receptor, *MC2R*) 受体，在促肾上腺皮质激素 (ACTH) 刺激下，皮质醇分泌增加。(5) 除此之外，在 BMP4 的作用下，对神经内分泌细胞的成熟及儿茶酚胺类激素的分泌起到关键作用。结论：利用 Matrigel 构建细胞培养的三维骨架，通过添加 FGF2, Wnt 信号通路激活因子 CHIR99021、R-spondin1，以及在 ACTH、BMP4 作用条件下，构建了一种具有类固醇、儿茶酚胺类激素分泌功能的肾上腺三维培养体系，在为今后人类肾上腺疾病的研究奠定了细胞生物基础。

关键词：肾上腺；类器官培养；类固醇激素合成；表达调控

基于大脑类器官研究病毒感染诱导的 AD 相关神经病理和老药新用的表型挽救

乔豪文[1] 赵稳（研究生）[1] 郭谋建[2] 朱黎黎[1] 陈涛[1] 张振涛[3] 吴莹[2] 陈璞[1,3*]

[1]（武汉大学基础医学院生物医学工程系，武汉 430071）

[2]（武汉大学基础医学院医学病毒研究所，武汉 430071）

[3]（武汉大学人民医院神经内科，武汉 430050）

目的：I 型单纯疱疹病毒（HSV-1）感染是阿尔茨海默病（AD）的潜在危险因素。由于人类大脑和其他哺乳动物大脑之间的明显差异，现有感染模型的局限性阻碍了对 HSV-1 诱导的神经病理学的深入了解。

方法：我们利用多能干细胞来源的大脑类器官模型，研究 HSV-1 诱导 AD 相关的发病机制以及抗病毒药物在表型挽救中的作用。

结果：HSV-1 感染的大脑类器官在细胞和组织水平上概括了与 AD 发生和进展有关的多尺度神经病理学，包括多细胞 Aβ 沉积、反应性神经胶质增生、神经炎症和神经元丢失。此外，本研究确定了两种抗病毒药物（利巴韦林和伐昔洛韦）在 HSV-1 感染的大脑类器官中抑制 HSV-1 复制并挽救了与 AD 相关的神经病理表型。

结论：本研究提供了一种高保真人类相关的体外 HSV-1 感染模型，以重建 AD 相关的多尺度神经病理学特征，并发现与 AD 病毒假说相关的老药新用。

关键词：HSV-1 感染模型；阿尔茨海默病；AD 病毒假说；大脑类器官；老药新用

生物工程化构建均一性、功能性的人源诱导多能干细胞来源的肝脏类器官

徐晓冬 江善青 谷龙军 李彬 陈璞*

（武汉大学基础医学院生物医学工程系，武汉 430071）

多功能干细胞诱导的肝脏类器官是一种新兴的体外肝脏模型，其在研究肝脏发育、肝脏疾病机制和药物肝毒性方面展示出了巨大的潜力。然而，传统的肝脏类器官的构建是基于 Matrigel 胶滴法，该方法构建的类器官在形态、尺寸、成熟度等方面展示出了较大的异质性，且不易于进行原位成像。因此，在本文的工作中，我们提出了一种新的肝脏类器官构建策略。该策略结合了基于图案化技术的工程化方法与肝脏类器官培养技术，能够可重复和高通量的构建形态和尺寸均一的新型肝脏类器官。该方法构建的肝脏类器官具有与肝脏相似的细胞构成，表达成熟肝脏细胞标志物 ALB 和 HNF4-α，且具有肝脏特异性功能，包括糖原储存、脂质积累、白蛋白分泌和尿素合成。本文中所描述的新型肝脏类器官为肝脏疾病建模和相关药物研发提供了一个创新性的研究平台。

关键词：肝脏类器官；人源诱导多功能干细胞；图案化技术；均一性；药物研发

基于 hiPSC 来源的中脑类器官模型研究七氟醚促进多巴胺能神经元的提前分化

尚佳 (研究生)[1]，李彬 [1]，范涵 [1]，刘佩迪 [1]，杨隆秋 [2]，陈璞 [1]

1.（武汉大学基础医学院生物医学工程系，武汉 430071）

2.(黄石市中心医院麻醉科，黄石 435000)

目的：本研究利用人源性多能干细胞诱导的中脑类器官研究了长时间暴露于七氟醚对中脑发育的影响。

方法：本研究参考临床手术麻醉条件，将单层培养的 hiPSC 来源的底板细胞和培养第 8 天的中脑类器官暴露于 2% 七氟醚 2 小时或 6 小时，随后维持培养或继续分化培养，最后利用免疫荧光、PCR、EDU 染色、Tunnel 染色、转录组测序等实验方法研究：1. 不同时间的七氟醚暴露对底板细胞的增殖、凋亡；2. 对多巴胺能神经元的分化的影响；3. 对中脑类器官中增殖细胞及多巴胺能神经元分化能力的影响。

结果：1. 暴露于 2% 七氟醚 2 小时或 6 小时抑制底板细胞的增殖，增加底板细胞凋亡，2. 暴露于 2% 七氟醚 2 小时或 6 小时不影响单层底板细胞向多巴胺能神经元的分化；3. 暴露于 2% 七氟醚 6 小时抑制中脑类器官中细胞增殖，促进中脑类器官提前分化。

结论：本研究表明长时间暴露于七氟醚对中脑类器官中的细胞命运有持续的影响，促进中脑类器官的提前发育，暗示临床上孕妇长时间暴露于七氟醚可能导致胎儿中脑发育紊乱。

关键词：七氟醚；中脑类器官；多巴胺能神经元；神经分化；胎脑发育

基于高通量微孔阵列芯片构建均一性功能化的人源诱导多能干细胞来源的肝脏类器官

江善青 [1] 金梦龙 [1] 王振 [1] 谷龙军 [1] 徐晓冬 [1] 陈璞 [1*]

[1](武汉大学基础医学院生物医学工程系，武汉 430071)

目的：利用高通量微孔阵列芯片构建均一性且功能化的人源肝脏类器官。

方法：采用人源诱导多能干细胞分化的前肠胚细胞接种于琼脂糖微孔阵列中构建肝脏类器官并对其鉴定。

结果：琼脂糖微孔阵列芯片置于 48 孔板中有效且可重复地生成 9000 多个大小均匀的肝脏类器官，其均一性比传统胶滴法培养的肝脏类器官小 30%。并且生成的肝脏类器官高度表达肝脏特异性标志物，如 ALB、HNF4A、AFP 和 CK19，并显示出糖原合成和脂滴合成等肝脏功能。此外，微孔阵列芯片中的肝脏类器官经不同浓度的对乙酰氨基酚处理后有良好的量效关系，IC50 值与其他文献报道结果一致。

结论：本研究提供了一种高通量地构建均一性且功能化的肝脏类器官的方法，有望加速肝脏类器官在肝脏疾病的基础研究和药物临床前研究中的应用。

关键词：肝脏类器官；微孔阵列芯片；均一性；高通量；人源诱导多能干细胞

第三部分

黄家驷生物医学工程奖

2021-2022

中国生物医学工程大会暨创新医疗峰会

中国生物医学工程学会
“黄家驷生物医学工程奖”

“黄家驷生物医学工程奖”由中国生物医学工程学会建立，以首任理事长黄家驷学部委员的名字命名，旨在激励生物工程医学领域科技工作者开展原创性科学和技术研究，奖励在生物医学工程领域基础研究、技术发明和科技进步等方面所取得的杰出成果。

“黄家驷生物医学工程奖”每两年评选一次，目前已成功举办 4 届。累计参选人数达 500 余人，累计申报奖项 73 项，获奖项目 24 项。令人欣喜的是，获奖团队及其项目形成了与国家科技奖的成功对接，如 2014-2015 年度（首届）一等奖获得者李路明教授团队荣获 2018 年国家科学技术进步奖一等奖；2016-2017 年度（第二届）一等奖获得者程京院士团队荣获 2018 年度国家技术发明奖二等奖；2018-2019 年度（第三届）一等奖获得者郑海荣教授团队荣获 2020 年度国家科学技术进步奖一等奖等，充分彰显了学会学术奖励平台向国家举荐顶尖人才和项目的精准性及权威性。

2020-2021 年度“黄家驷生物医学工程奖”获奖项目

一等奖		
项目类型	获奖成果	获奖人及其单位
技术发明	荧光显微光学切片断层成像关键技术及应用	骆清铭（华中科技大学） 龚　辉（华中科技大学） 李安安（华中科技大学） 袁　菁（华中科技大学） 李向宁（华中科技大学） 江　涛（华中科技大学） 李宇昕（华中科技大学） 丰　钊（华中科技大学）
科技进步	迷走神经刺激关键技术、系统与临床应用	李路明（清华大学） 张建国（首都医科大学附属北京天坛医院） 郝红伟（清华大学） 姜玉武（北京大学第一医院） 栾国明（首都医科大学三博脑科医院） 袁　媛（清华大学） 马伯志（清华大学） 文雄伟（清华大学）
二等奖		
项目类型	获奖成果	获奖人及其单位
技术发明	基于超声瞬时弹性成像的无创肝纤维化诊断系统	罗建文（清华大学） 邵金华（无锡海斯凯尔医学技术有限公司） 孙　锦（无锡海斯凯尔医学技术有限公司） 何　琼（清华大学） 段后利（北京索瑞特医学技术有限公司） 白　净（清华大学）
技术发明	近红外脑功能成像系统开发及临床应用	樊瑜波（北京航空航天大学） 李增勇（国家康复辅具研究中心） 汪待发（北京航空航天大学） 李德玉（北京航空航天大学） 吕泽平（国家康复辅具研究中心） 梁　航（丹阳慧创医疗设备有限公司）
科技进步	基于微纳生物检测技术的智能诊断产品创新与应用	常　津（天津大学） 鞠熀先（南京大学） 李　彤（天津市第三中心医院） 刘　萍（博奥赛斯（天津）生物科技有限公司） 宫晓群（天津大学） 严　枫（江苏省肿瘤防治研究所（江苏省肿瘤医院）） 王汉杰（天津大学） 武晓丽（天津大学）

一等奖（技术发明类）



项目负责人：骆清铭

骆清铭，生物影像学家，中国科学院院士、中国医学科学院学部委员。现任海南大学校长、海南省科协主席、教育部高校生物医学工程类专业教指委主任，国家重大科研仪器研制项目（部门推荐）负责人。曾当选国际医学与生物工程院（IAMBE）、美国医学与生物工程院（AIMBE）、国际光学工程学会（SPIE）、英国工程技术学会（IET）、美国光学学会（OSA）和中国光学学会（COS）Fellow。

他长期致力于生物医学光子学和生物影像学新技术新方法研究，率领团队发明的显微光学切片断层成像（Micro-Optical Sectioning Tomography）系列技术成为“全脑定位系统”（Brain-wide Positioning System）的重要手段，开创了脑空间信息学（Brainsmatics）学科，创建了“亚微米体素分辨率的小鼠全脑高分辨三维图谱”，并“首次展示了小鼠全脑中单个轴突的远程追踪”。他在光学分子成像、激光散斑成像（LSI）及其与光学本征信号成像（ISI）的结合、荧光扩散光学层析成像（fDOT）与微型 CT 结合的双模态小动物成像、以及近红外（NIR）光学功能成像等方面也做出了创新性贡献。

骆清铭是教育部“长江学者奖励计划”特聘教授（1999），国家杰出青年科学基金（2000）、中国青年科技奖（2001）获得者，以第一完成人，其研究成果曾荣获国家自然科学二等奖（2010）和国家技术发明二等奖（2014），入选中国科学十大进展（2011）和中国光学十大进展（2022）。

荧光显微光学切片断层成像关键技术及应用

脑科学研究是理解自然和人类本身的“终极疆域”，脑连接图谱是脑科学研究的导航图。本项目发明了系列全脑精细结构特征光学表征新方法，揭示了荧光蛋白在塑性包埋过程中淬灭机理，解决了厘米尺度生物样本制备中背景荧光抑制和荧光信号保持的难题，发明了大体积三维高分辨荧光显微成像新方法，解决了全脑范围特定基因型单神经元完整形态高通量获取的难题，创制的精准荧光显微光学切片断层成像仪器 dfMOST 成为国际全脑介观神经连接图谱绘制的主导技术。

本项目获批发明专利 18 项，软件著作权 10 项。核心原创成果 2016 年发表于 Nature Communications，立即被 Nature Methods 作为研究亮点专题报道，Nature Reviews Neuroscience 评述“标志着小鼠脑高分辨、定量化、规模化的单神经元解剖学的崛起”，Nature Methods 评价“突破了过去在研究方法上的诸多限制”、“使用该技术获得的脑图谱毋庸置疑地成为整个神经科学界的宝贵资源，对于理解脑连接和脑功能具有重要价值”。2017 年 Nature 专文报道：“这种以工业化的形式大规模、标准化地产生数据，将改变神经科学已有的研究方式。与人类基因组计划中的高通量测序技术一样，高通量快速脑测绘技术将改变神经科学家理解脑内神经元如何联接的方式”。

一等奖（科技进步类）



项目负责人：李路明

李路明，1986 年进入清华大学机械工程系本科学习，1996 年博士毕业留校工作。博士，教授，长江学者特聘教授，国家杰出青年科学基金获得者，神经调控技术国家工程师实验室主任，清华大学航天航空学院院长，清华大学医工交叉研究院院长。围绕载人航天重大工程的需求，研制了航天员质量测量仪等 4 种设备，并实现在轨应用。他带领团队历时 20 年，研发成功应用于帕金森病治疗的系列全植入脑起搏器，发明了变频调控方法，为了帮助偏远地区的患者解决术后程控问题，发明了远程程控技术，已在全国 320 多家医院实现规模化临床应用，有 16000 多患者植入了他研发的产品，全系列脑起搏器于 2016 年获得 CE 认证，已经走出国门，在 4 个国家应用，并首次实现了国内规模化异地、国际跨境远程程控治疗，取得了重大经济社会效益和国际影响。他将脑起搏器打造为大脑的研究工具，在磁共振相容、同步记录等方面技术全球引领，脑起搏器也已经应用于抑郁症、阿尔兹海默症等临床研究，基于脑起搏器的脑机接口也取得了新的突破。脑起搏器的研究工作入选 2012 年中国高校十大科技进展，并以第一完成人在 2015 年获得北京市科技成果一等奖和首届黄家驷生物医学工程科技进步一等奖，以第一完成人获得 2018 年度国家科技进步一等奖。

迷走神经刺激关键技术、系统与临床应用

迷走神经刺激疗法通过植入电极刺激迷走神经，进而调控大脑及神经网络，国际临床上广泛用于治疗癫痫、抑郁等疾病，被称为方兴未艾的“电子药物”，但临床的应用的迷走神经刺激系统长期被国外垄断。

该项目从工程技术、临床技术和应用范式等方面自主创新，首创了新一代迷走神经刺激综合技术体系：

1. 发明了新型微型化技术方案，降低功耗和减小器件体积，应用一体化设计与制造技术研制了全球重量最轻的迷走神经刺激脉冲发生器。

2. 发现了电极材料物性及几何尺度差异大导致的疲劳断裂机制，发明了三维双曲环几何拓扑结构，开发了双性界面处理工艺，研发了高可靠迷走神经刺激电极。

3. 发明了软硬件结合的远程程控数据保护方法，国际首次建立了迷走神经刺激远程程控技术体系，实现了患者及时、充分而且便利、经济的异地远程随诊和程控。

研发的迷走神经刺激器已推广到全国 28 个省 / 自治区 / 直辖市的 200 余家医院，累计植入患者 3500 余例，成为临床应用的主流产品，取得了重大的经济效益和社会效益。

该项目获授权专利 79 项，获纽伦堡、日内瓦、首尔的国际发明展金奖各 1 次。主编专著《迷走神经刺激术》，发布“迷走神经刺激治疗药物难治性癫痫的中国专家共识”。形成了从疗法创新、技术发明、器械产业化到临床推广的完整路径。

二等奖（技术发明类）



项目负责人：罗建文

罗建文，清华大学生物医学工程系长聘副教授，博士生导师。长期专注于医学超声成像的方法研究，特别是超声弹性成像及心血管疾病与肝纤维化诊断新方法的研究。先后获国家海外高层次人才引进计划青年项目与国家优秀青年基金项目资助。作为项目负责人承担国家重点研发计划重点专项 2 项与国家自然科学基金项目 5 项。发表学术论文 300 多篇，包括在 IEEE TMI、Med Image Anal、IEEE TUFFC、IEEE TBME 等重要期刊上发表 SCI 论文 170 多篇。论文被引用 5900 多次，H 指数 40。40 多篇论文成为期刊高被引论文、封面、封底、编辑精选、年度亮点、年度最佳论文等。。担任 IEEE Trans Ultraso Ferroelectr Freq Control 期刊 Associate Editor，Ultrasonics 期刊与美国医学超声学会（AIUM）会刊 J Ultras Med 期刊编委，Faculty of 1000 的 Faculty Member，IEEE 生物医学工程分会（EMBS）生物医学与图像处理（BIIP）技术委员会委员，IEEE 国际超声年会（IUS）技术委员会委员。担任国内 10 多家学会分会副主任委员、常务委员、委员。在全球学者库 2021 年发布的超声医学领域中国专家国际论文学术影响力排名中，位列全国第 7 名。在斯坦福大学 /Elsevier 出版社发布的全球前 2% 顶尖科学家榜单（World's Top 2% Scientists）中，入围 2019 年度与 2020 年度科学影响力排行榜。入围全球学者库 2021 年与 2022 年发布的全球顶尖前 10 万科学家榜单。

基于超声瞬时弹性成像的无创肝纤维化诊断系统

我国有 4.4 亿慢性肝病人群。对肝纤维化进行早期诊断与治疗，可以逆转肝纤维化，避免肝硬化和肝癌发生。传统检测技术无法提供准确、便捷、可跟踪的肝纤维化早期诊断。

项目研发了亚太地区首台肝脏瞬时弹性成像系统，实现肝纤维化的无创、准确、定量、快速诊断，获得中国、美国、欧盟等 40 多个国家和地区的市场准入许可。灵敏度、特异性、准确性等指标与国外产品相当；首创 B 超、彩超影像引导，实现检测速度及成功率等指标超越国外产品。

取得了显著的社会经济效益和行业影响。国内外累计装机近 2500 台，覆盖 40 多个国家或地区。在国内细分市场份额超过 70%。累计检测 4000 万人，及早发现肝纤维化 600 万人，避免肝穿刺 50 万人，节约肝穿刺活检总体费用超过 15 亿元。获得了临床专家的广泛认可，进入多项国家卫生行业标准、临床诊疗指南与临床应用专家共识，被临床专家评价为“全球首台”具有影像引导功能的肝脏瞬时弹性成像系统，“国内首台肝脏硬度检测仪”，“大幅提升探头检测成功率和检测速度”，“成功率高于”国外产品，“稳定性显著高于”国外产品，“检测效能明显优于”国外产品，“具有极好的操作性能及令人满意的诊断性能”。该系统受邀参加 2021 年全国双创周，并接受李克强总理的视频连线巡视。

二等奖（技术发明类）



项目负责人：樊瑜波

樊瑜波教授、博士。北京航空航天大学医工交叉创新研究院院长、医学科学与工程学院院长，生物力学与力学生物学教育部重点实验室主任、生物医学工程北京高精尖中心主任。长江学者，杰青，国家自然科学基金创新群体带头人，科技部重点领域创新团队带头人。美国医学生物工程院（AIMBE）、国际医学与生物工程科学院（IAMBE）、世界生物材料学会（FBSE）会士。医工整合联盟理事长，国务院学位委生物医学工程学科评议组成员。北航生物与医学工程学院创始院长；中国生物医学工程学会前理事长、世界华人生物工程联合会（WACBE）前主席；曾担任民政部国家康复辅具研究中心主任、附属康复医院院长。

近红外脑功能成像系统开发及临床应用

近红外脑功能成像（fNIRS），亦被称为“戴在头上的功能核磁”，为自然状态下的高分辨脑成像带来新型技术平台。然而，由于近红外脑功能成像的高技术壁垒，长期以来，该领域存在缺乏自主知识产权装备、且已有进口装备存在通道数有限只能覆盖少部分脑区、临床应用方案较少，以及脑功能数据难以深入解读的局限。针对这些挑战，项目团队在多项国家课题的资助下，突破了超微弱、超宽动态范围近红外光谱检测，多通道多光谱并行高速探测等核心关键技术，研究推出了世界上首个超过 100 通道、获批国家药品监督管理局（NMPA）注册证的近红外脑功能成像设备，同时创造性地将小波变换多频段时频分析方法、动态贝叶斯推理方法用于近红外脑血氧信号，并研发了可视化、一站式近红外数据分析处理工作站，解决了当前 fNIRS 应用严重缺乏可用的数据分析平台的挑战。目前，项目授权专利 10 余项，支撑发表 SCI 论文 60 篇，项目成果已在 301 医院、北京宣武医院、上海华山医院、四川华西医院、清华大学、中科院系统、香港理工大学等 200 余家顶级医院与科研机构示范应用，极大推动了近红外脑功能成像技术在中国的临床应用，取得显著的经济和社会效益。

二等奖（科技进步类）



项目负责人：常津

常津教授，享受国务院政府特殊津贴专家，天津大学英才教授和博士生导师。现任天津大学生科院纳米生物医学研究所所长，天津市微纳生物材料与检疗工程技术中心主任，中国颗粒学会副理事长，中国生物医学工程学会纳米医学与工程分会主任委员，天津市生物医学工程学会理事长。分别于 1986 年和 1991 年于天津医科大学获得医学学士和硕士学位；1994 年于南开大学高分子化学研究所获得高分子化学专业理学博士学位，从师于中国科学院何炳林院士；1997 年于天津大学化工学院完成工学博士后研究工作。 1999 年于天津大学材料学院破格晋升为教授。2000 年以高访学者身份赴美国密歇根大学药学院进行合作研究两年。多年来主要从事纳米生物医学材料和技术在肿瘤和老年痴呆等重大疾病诊疗方面的基础和应用研究。已承担国家重点研发计划、863 重点项目、国家自然科学基金等项目 50 余项。在 Sci. Adv. 等国内外杂志发表论文 350 余篇，其中 SCI 论文 200 余篇，JCR 一区论文 90 余篇，IF>10 的论文 40 余篇，累计 SCI 影响因子 >1600。获得授权发明专利 40 余项，转让专利 12 项；主编和参编国内外学术专著 3 部；荣获天津市自然科学一等奖 1 项，天津市科技进步一等奖 3 项，黄家驷生物医学工程二等奖 1 项，被中国科协授予“全国优秀科技工作者”称号。

基于微纳生物检测技术的智能诊断产品创新与应用

该项目紧密围绕肿瘤和传染病等疾病早期诊断的重大需求，突破了疾病检测中灵敏度低、特异性差、操作繁杂、价格昂贵等瓶颈，形成了基于微纳生物检测技术的智能诊断产品体系。取得系列创新性成果。

1. 创制高性能微纳生物新材料：研发了高效富集和快速分离新材料、高催化活性拟酶新材料和高保真成像功能新材料。

2. 创建高效精准检测新技术：研发了基于纳米拟酶、纳米增强与核酸扩增的信号放大技术；提出了电场驱动加速免疫反应新原理和多信号分辨新理念。

3. 开发智能化诊断新产品：开发了针对肿瘤和传染病等疾病标志物的检测试剂盒，磁珠试剂分选和化学发光分析等核心器件，以及疾病标志物的智能检测设备与控制软件。

该项目获共获得授权国家专利 112 项，软件著作权 5 件，发表 SCI 论文 88 篇；获得医疗器械注册证 121 个，核心器件 34 个，智能检测设备与控制软件 6 种，用于 65 种标志物的检测。该成果相关产品已在全国 30 个省市数百家医院和体检机构推广应用，近三年累计销售额超过 6 亿元，新增利润超过 1.6 亿元，为患者节省超过 40% 的检测费用，为国家节省了大量医疗成本，具有显著的社会和经济效益。

附录：

2014-2015 年度（首届）“黄家驷生物医学工程奖”获奖项目

一等奖		
项目类型	**获奖成果**	**获奖人及其单位**
科技进步	脑起搏器研制及产业化	李路明（清华大学） 郝红伟（清华大学） 马伯志（清华大学） 姜长青（清华大学） 文雄伟（清华大学） 王伟明（清华大学） 胡春华（清华大学） 加福民（清华大学）
二等奖		
项目类型	**获奖成果**	**获奖人及其单位**
基础研究	间质 - 上皮细胞转换与细胞命运调控研究	裴端卿（中国科学院广州生物医院与健康研究院） 陈捷凯（中国科学院广州生物医院与健康研究院） 廖宝剑（中国科学院广州生物医院与健康研究院） 王　涛（中国科学院广州生物医院与健康研究院） 刘　晶（中国科学院广州生物医院与健康研究院） 李荣辉（中国科学院广州生物医院与健康研究院）
基础研究	微纳米尺度的生物医学工程	蒋兴宇（国家纳米科学中心）
技术发明	氧化钛复合涂层技术在药物洗脱支架上的研究与应用	黄　楠（西南交通大学） 冷永祥（西南交通大学） 王　进（西南交通大学） 杨　苹（西南交通大学） 陈俊英（西南交通大学） 孙　鸿（西南交通大学）
三等奖		
项目类型	**获奖成果**	**获奖人及其单位**
基础研究	生物医用高分子复合材料的形状记忆功能调控及其机理研究	周绍兵（西南交通大学） 郑晓彤（西南交通大学） 翁　杰（西南交通大学） 龚　韬（西南交通大学）

2016-2017 年度“黄家驷生物医学工程奖”获奖项目

一等奖		
项目类型	**获奖成果**	**获奖人及其单位**
基础研究	足踝损伤与康复的跨尺度生物力学研究	樊瑜波（北京航空航天大学） 张　明（香港理工大学） 宫　赫（北京航空航天大学） 王丽珍（北京航空航天大学） 孙联文（北京航空航天大学） 张德文（香港理工大学） 牛文鑫（北京航空航天大学）
技术发明	遗传性耳聋基因诊断芯片系统的研制及其应用	程　京（清华大学） 戴　朴（中国人民解放军总医院） 张冠斌（博奥生物集团有限公司） 邢婉丽（清华大学） 项光新（博奥生物集团有限公司） 高华方（博奥生物集团有限公司） 李彩霞（清华大学） 王　东（博奥生物集团有限公司）
技术发明	飞行员床垫式自然睡眠检测技术	俞梦孙（空军航空医学研究所） 杨　军（空军航空医学研究所） 吴　锋（空军航空医学研究所） 曹征涛（空军航空医学研究所） 成奇明（空军航空医学研究所） 周玉彬（空军航空医学研究所）
二等奖		
项目类型	**获奖成果**	**获奖人及其单位**
技术发明	立体空间透视融合微创导航系统	廖洪恩（清华大学）
技术发明	高性能人 - 机交互系统中的复杂信息处理与反馈调控	明　东（天津大学） 刘雁飞（天津天堰科技股份有限公司） 万柏坤（天津大学） 綦宏志（天津大学） 何　峰（天津大学） 许敏鹏（天津大学）
科技进步	高活性组织工程骨关键技术、产品研发与临床应用	许建中（中国人民解放军第三军医大学） 董世武（中国人民解放军第三军医大学） 罗　飞（中国人民解放军第三军医大学） 侯天勇（中国人民解放军第三军医大学） 余启焕（重庆富沃思医疗器械有限公司） 李湘杰（北京大清生物技术股份有限公司）

三等奖		
项目类型	**获奖成果**	**获奖人及其单位**
技术发明	新型准分子激光屈光治疗设备的自主研发及临床转化	陈　浩（温州医科大学附属眼视光医院） 刘党会（浙江温医雷赛医用激光科技有限公司） 胡　亮（温州医科大学附属眼视光医院） 王勤美（温州医科大学附属眼视光医院）
科技进步	软骨再生结合系统康复治疗关节软骨损伤的基础研究和临床转化	郭全义（中国人民解放军总医院） 彭　江（中国人民解放军总医院） 卢世壁（中国人民解放军总医院） 卢　强（中国人民解放军总医院）

2018-2019 年度“黄家驷生物医学工程奖”获奖项目

一等奖		
项目类型	**获奖成果**	**获奖人及其单位**
基础研究	高分子纳米载体的结构调控及生物医学应用	蒋锡群（南京大学） 胡　勇（南京大学） 武　伟（南京大学） 张乐洋（路博润特种化工制造（上海）有限公司） 丁　寅（南京大学） 郑先创（南京大学）
技术发明	全数字 PET 关键技术	谢庆国（华中科技大学） 肖　鹏（华中科技大学） 王卫东（中国人民解放军总医院） 张　博（湖北锐世数字医学影像科技有限公司） 梁　潇（华中科技大学） 奚道明（苏州瑞派宁科技有限公司） 华越轩（苏州瑞派宁科技有限公司）
科技进步	超导磁共振快速成像关键技术与应用	郑海荣（中国科学院深圳先进技术研究院） 梁　栋（中国科学院深圳先进技术研究院） 王超洪（上海联影医疗科技有限公司） 李　烨（中国科学院深圳先进技术研究院） 刘　新（中国科学院深圳先进技术研究院） 贺　强（上海联影医疗科技有限公司） 李国斌（上海联影医疗科技有限公司） 邹　超（中国科学院深圳先进技术研究院）

二等奖		
项目类型	**获奖成果**	**获奖人及其单位**
基础研究	基底节调控全面性癫痫的理论：来自脑成像和计算神经科学的证据	尧德中（电子科技大学） 罗　程（电子科技大学） 郭大庆（电子科技大学） 雷　旭（西南大学） 徐　鹏（电子科技大学） 董　立（电子科技大学） 夏　阳（电子科技大学）
技术发明	人体动脉近生理脉动流模拟关键技术及装置	樊瑜波（北京航空航天大学） 邹远文（四川大学） 贡向辉（北京航空航天大学） 李晋川（四川大学） 黄　艳（北京航空航天大学） 冯文韬（北京航空航天大学） 黄学进（四川大学） 王亚伟（北京航空航天大学）
技术发明	恒温扩增微流控病原体核酸检测芯片系统的研发及应用	邢婉丽（清华大学） 程　京（清华大学） 王　磊（博奥生物集团有限公司） 高占成（北京大学人民医院） 黄国亮（清华大学） 张　岩（博奥生物集团有限公司） 王国青（北京博奥晶典生物技术有限公司） 荆高山（清华大学）

第四部分

第十届单位会员名录

2021-2022

中国生物医学工程大会暨创新医疗峰会

理事单位会员名录

（按首字拼音排序）

安徽讯飞医疗股份有限公司
北京纳通科技集团有限公司
北京瑞星网安技术股份有限公司
北京天智航医疗科技股份有限公司
北京谊安医疗系统股份有限公司
东软医疗系统股份有限公司
华为技术有限公司
鲁南制药集团股份有限公司
上海联影医疗科技股份有限公司
深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司
腾讯医疗健康（深圳）有限公司
驼人控股集团有限公司

单位会员名录

（按首字拼音排序）

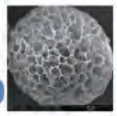
安徽骆华生物科技有限公司
北京百度网讯科技有限公司
北京大橡科技有限公司
北京品驰医疗设备有限公司
北京新泰医博管理咨询中心
北京致远慧图科技有限公司
东南大学苏州医疗器械研究院
复旦大学附属肿瘤医院
冠昊生物科技股份有限公司
广西精准医学科技有限公司
国药集团北京医疗器械有限公司
慧影医疗科技（北京）股份有限公司
江苏艾玮得生物科技有限公司
联仁健康医疗大数据科技股份有限公司
零壹人工智能科技研究院（南京）有限公司
美敦力（上海）管理有限公司
润方（北京）生物医药研究院有限公司
上海交通大学
上海交通大学医学院附属瑞金医院
上海美杰医疗科技有限公司
上海纽脉医疗科技股份有限公司
沈阳东软智能医疗科技研究院有限公司
四川金枣农业发展有限公司
苏州赛美科基因科技有限公司
天新福（北京）医疗器材股份有限公司
无锡祥生医疗科技股份有限公司
一诺转化工程实验室（深圳）有限公司
浙江捷昌线性驱动科技股份有限公司
中国科学院大学附属肿瘤医院（浙江省肿瘤医院）
中国科学院深圳先进技术研究院
生物医学与健康工程研究所
中以康联国际医疗科技有限公司
重庆市巴南区第二人民医院
追觅科技（天津）有限公司

CytoNiche
华 | 龛 | 生 | 物

高端细胞“智”造 —— 三维规模化扩增工艺

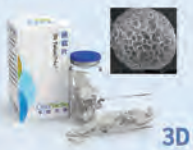


3D TableTrix® 细胞微载片



- GMP级别生产
- 弹性多孔结构, 比表面积大
- 3D仿生，可定制化
- 特异性降解技术
- 无菌片剂包装，无需预处理
- 已获得FDA DMF及CDE药用辅料资质

3D FloTrix® 工艺核心技术产品

核心技术产品	培养基及研发设备	细胞规模化培养装置	密闭式收获系统
 3D FloTrix® 扩增套装	 3D FloTrix® 三维干细胞培养基	 3D FloTrix® vivaSPIN VS 系列自动化生物反应器	 3D FloTrix® vivaEXO 外泌体收获系统
 3D TableTrix® 微载片	 3D FloTrix® Mini 科研级生物反应器	 3D FloTrix® vivaRock 一次性生物反应器	 3D FloTrix® vivaPREP 细胞收获系统

资质及权威报告

CDE药用辅料资质
（审批登记号：F20200000496；F20210000003）



FDA药用辅料资质
（DMF：35481）



中检院微载体残留、裂解液残留、细胞相容性等质量评价报告



药物安全性评价中心“微载体安评报告”



CytoNiche
华 | 龛 | 生 | 物

北京华龛生物科技有限公司
电话：010-62868280 13439945377
网址：www.cytoniche.com
地址：北京市海淀区益园文创基地B区1号楼208号

国药集团
SINOPHARM



成为批零一体、客户导向，高品质的医药健康产品及服务提供商

国药控股广州有限公司是世界500强中央企业中国医药集团、国药控股股份有限公司在中国南区的核心下属企业，成立于1952年，是中国南区具有影响力的药品分销及供应链服务提供商。

公司主营医药分销业务，依托深度覆盖南区的分销及配送网络，为国内外药品、医疗器械、耗材及其他医疗保健产品的制造商和供应商以及医院、其他分销商、零售药店、基层医疗机构等客户提供全面的分销、物流和其他增值服务。

同时，公司在广东广西主要城市以直营方式管理专业处方连锁药店网络，向终端消费者提供新药特药、慢病用药及大健康产品。

此外，公司积极推动业务转型升级，在医药、医疗等健康相关产业中融合供应链及互联网实现创新，探索多元化业务协同发展。

依托已形成的规模优势、客户资源、网络平台以及品牌地位，把握医疗体制改革的机遇，进一步巩固并提升市场地位，不断进取，努力成为具有行业影响力的医药健康产品和服务提供商。

企业使命

关爱生命·呵护健康

企业愿景

打造领先的国际化医药健康服务平台，让人们享有美好健康生活。

企业定位

批零一体、客户导向，高品质的医药健康产品及服务提供商。

核心价值观

责任·创新·合规·高效·共享



联系地址：广州市站前路22号医药大厦

医疗服务 Medical Service

打造面向医院客户的系列服务产品，建设专业的医疗服务品牌

国药集团 SINOPHARM

作为中国南区医药行业的生力军，国药控股牢牢把握医药健康领域、特别是医药流通行业涌现的新机遇，通过积极参与医改活动，不断探索新的服务模式，提升效率、提高质量，持续推动医药供应链各方创造新的价值。

医药改革、医疗改革和医保改革是深化医药卫生体制改革的重点。国药控股围绕改革重点梳理自身发展战略，积极探索、转型创新，充分发挥自身专业优势，从多方面进行了有益的尝试。积极开展供应链延伸服务、药品可追溯应用研究，在集团的领导下，自主研发了15套信息应用系统和17种配套的设施设备，致力于提升医疗机构的药品及器械的自动化和管理水平，较好地实现各方共赢。

国药控股秉承关爱生命、呵护健康的理念，致力成为中国南区具有影响力的医药健康整体服务提供商。我们将以进取的精神、专业的理念、先进的技术，为医改提供可借鉴的宝贵案例与经验，共创医药健康事业的美好明天。

1 医疗合作项目

- 合作医疗
- 移动医疗
- 院内物流
- 供应链延伸

2 医保合作模式

- 处方药管理
- 医保报销审核
- 营销商业合同
- 医药信息智能化分析平台

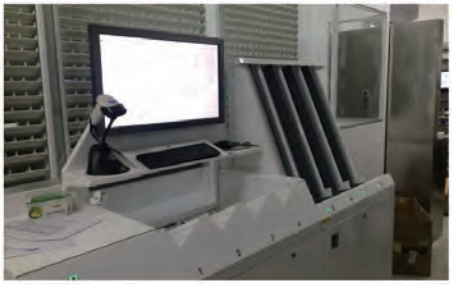
3 服务解决方案

- 医疗物资管理
- 临床药理实验
- 患者呼叫中心
- 特药解决方案

4 供应链升级

- 仓储管理配套
- 特药管理配套
- 冷链管理配套
- 器械耗材管理











安进公司

我们的使命：服务患者

安进公司致力于通过释放生物学潜力，造福全球患有严重疾病的患者。为了实现这个愿景，安进长期专注于人类创新药物的探索、研发、生产和销售， 并通过借助前沿人类遗传学等工具，力求揭示疾病的复杂性，洞察人类生物学的基本机制。

安进深信，创新、精准的药物在治疗重大疾病方面能提供巨大的临床获益，不仅惠及患者，同时也能缓解疾病所造成的社会和经济负担，而这正是安进战略核心的立足之本。

安进聚焦于有巨大医疗需求且远未被满足的疾病领域，利用自身在生物制药方面的先进经验，旨在为提升人类健康水平和生命质量做出杰出贡献。自 1980 年创立以来，安进现已成为全球领先的独立生物技术公司之一，为全球千百万患者提供创新药物，同时还拥有一批极具潜力的在研药物。

创新药物

安进业务遍布全球逾 100 个国家及地区，我们的药物已服务千百万重症患者。我们专注于六大疾病领域，覆盖心血管疾病、肿瘤、骨健康、神经科学、肾病以及炎症。我们为缺少有效疗法的疾病提供药物，或提供比现有疗法更优的治疗选择。

研发变革

洞察疾病的生物学机制是安进科研工作最本质的特征——这也是我们能够持续拥有强大在研产品线的保证。安进采用"生物学先行"的原则，使其科学家能够先探索疾病复杂的分子路径，继而在此基础上优化药物形态，确保药物的疗效和安全性。人类遗传学的发展进一步揭示出疾病的分子学原理。凭借子公司 deCODE Genetics 在该领域的领先技术，安进识别和确认人类疾病标靶的能力得以极大提升，从而具备了独特的竞争优势。

世界级的生产水平

安全可靠的生物药品生产确保了全球千百万重症患者的治疗，包括注射和静脉给药。作为全球生物制剂生产领军企业，安进拥有为患者提供可靠且高质 量药物的杰出表现。要保证每一批药物的质量，需要大量专业技能、丰富经验、严谨态度和敬业精神。在安进，严格的质量控制和为患者提供可靠的药物供应，与科学创新同等重要。

安进速览

总部
美国加利福尼亚州千橡城

员工
全球约 24,000 名

股票挂牌
纳斯达克股票代码：AMGN

董事长兼首席执行官
Robert A. Bradway

2020 年财务摘要
总收入：254 亿美元
产品销售额：242 亿美元
研发投入：41 亿美元

总部地址/电话
安进中心大道 1 号
加利福尼亚州 千橡城 91320-1799
总机：(805) 447-1000
投资者请洽：(805) 447-1060

重点疾病领域
心血管疾病
肿瘤
骨健康
神经科学
肾病
炎症

更多我们在研产品和疗法的信息，请访问 **www.amgen.com**。

AMGEN®

AMG Amgen Corporate CN 2021 02 018

我们的传承

凭借在重组 DNA 和分子生物学领域的先进经验，安进已成为生物技术领域最早的开拓者之一。自 1980 年成立以来，安进始终致力于为重症患者研发创新药物。我们的科学家通过发现疾病生物学路径中的关键特征，研发世界一流的创新生物疗法，同时帮助科学界加深对某些特定疾病进展的理解。我们也制造出了新的药物平台。自创立伊始，安进就明确了以科学和创新为公司的立身之本，四十载坚持如一，才成就了如今安进在全球生物技术领域的领导者地位。

安进基金会

安进基金会 (The Amgen Foundation) 旨在促进科学教育、激发年轻一代的创新精神、加强对安进员工生活工作所在社区的建设。迄今为止，基金会向地方、区域和国家级非营利机构捐款近 3 亿美元，以创新的方式回报社会。安进通过若干科学教育项目来激励和培养未来的科学家，包括“安进学者” (Amgen Scholars Program)，“安进生物技术体验” (Amgen Biotech Experience) 和“安进教师计划” (Amgen Teach) 等。更多信息，请访问 **www.AmgenInspires.com**。

造福全球患者

安进的药物帮助世界各地的患者。公司在下列地点有工厂或分支机构：

美国境内

加利福尼亚州（南旧金山，千橡城）
弗罗里达（坦帕）
肯塔基州（路易斯维尔）
马萨诸塞州（坎布里奇，沃本）
波多黎各（洪科斯）
罗得岛州（西格林尼治）
华盛顿特区

美国境外

阿尔及利亚	爱沙尼亚	韩国	沙特阿拉伯
阿根廷	芬兰	拉脱维亚	新加坡
澳大利亚	法国	黎巴嫩	斯洛伐克
奥地利	德国	立陶宛	斯洛文尼亚
比利时	希腊	卢森堡	南非
巴西	匈牙利	墨西哥	西班牙
保加利亚	冰岛	摩洛哥	瑞典
加拿大	印度	荷兰	瑞士
中国	爱尔兰	新西兰	泰国
哥伦比亚	意大利	挪威	土耳其
克罗地亚	以色列	波兰	阿拉伯联合酋长国
捷克共和国	日本	葡萄牙	英国
丹麦	约旦	罗马尼亚	俄罗斯
埃及			

投资者信息

本事实列表汇总摘要了安进向美国证券交易委员会报备的文件及其新闻稿中所披露的详细内容。本事实列表包含涉及重大风险和不确定因素的前瞻性陈述，相关讨论可在安进最新的 10-K、10-Q 及 8-K 表格中及网页 http://investors.amgen.com 上查询。本事实列表中的信息截至日期列于页末，安进无任何义务更新本文件中的任何信息。

AMGEN®

全球管理团队

Robert A. Bradway
董事长兼首席执行官

Victoria H. Blatter
美国政府事务高级副总裁

Judy Gawlik Brown
企业事务高级副总裁

Tia Bush
质量管理高级副总裁

Raymond Deshaies
全球研究高级副总裁

Steven K.Galson
研发高级副总裁

Murdo Gordon
全球商业运营执行副总裁

Jonathan Graham
执行副总裁兼法律总顾问

Peter Griffith
执行副总裁兼首席财务官

Nancy Grygiel
全球合规与商业道德高级副总裁兼首席合规官

Lori Johnston
人力资源执行副总裁

Robert Lenz
全球开发高级副总裁

Elliott M.Levy
研发策略及运营高级副总裁

Gilles Marrache
高级副总裁兼区域总经理

Jerry Murry
流程开发高级副总裁

Arleen Paulino
生产高级副总裁

David A. Piacquad
业务发展高级副总裁

Annalisa Pizzarello
绩效执行办公室高级副总裁

David M. Reese
研发执行副总裁

Esteban Santos
运营副总裁

Darryl Sleep
全球医学高级副总裁兼首席医学官

Susan Sweeney
全球产品战略及商务创新高级副总裁

Mark Taisey
全球注册事务高级副总裁

Ian Thompson
高级副总裁兼区域总经理

Michael Zahigian
高级副总裁兼首席信息官

AMG_Amgen Corporate_CN_2021_02_018

NOVARTIS

恩瑞格®
地拉罗司分散片

为健康安心祛铁
为成长一路护航



祛铁养身有效力，给成长稳稳的守护力

扫描二维码了解详情

MCC号EXJ2202272有效期2023-02-10，资料过期，视同作废。

恩瑞格®强祛铁，护器官，延生存
一线优选，一天一次，口服方便

- 显著降低铁过载地贫患者血清铁、肝铁浓度近30%
- 有效保护铁过载患者心脏、肝脏等重要器官
- 祛铁治疗可显著延长患者生存1.45倍

Haematologica January 2004 89: 1187-1193

恩瑞格®已进入国家医保目录，将惠及更多铁过载患者

国家医保基本目录2019

药品分类（代码）	其他治疗药（XV03） ·铁螯合剂（XV03AC） ·乙类
编号	92
药品名称	地拉罗司
剂型	口服常释剂型

恩瑞格®进国家医保目录前后价格对比



*实施2+6的赠药政策

简明处方

【药品名称】通用名称：地拉罗司分散片；商品名称：恩瑞格® (Exjade®)
【规格】(1) 125mg；(2) 250mg；(3) 500mg
【适应症】
·用于治疗年龄大于2岁的β-地中海贫血患者因输氧输血（每月浓缩红细胞的给予量≥7ml/kg）所致慢性铁过载；对于其它输血依赖性疾病所致的铁过载，本品中国患者的安全有效性数据有限，建议谨慎使用。
·也用于治疗10岁及10岁以上非输血依赖性地中海贫血综合征患者的慢性铁过载。
【用法用量】
• 输血依赖性铁过载
-起始剂量：本品的推荐起始日剂量为20mg/kg。
对于每月接受超过14mL/kg浓缩红细胞（即成人约超过4国际单位/月）输注，并需要减少铁过载的患者可以考虑起始剂量为30mg/kg/天。
对于每月接受低于7mL/kg浓缩红细胞（即成人约小于2国际单位/月）输注和需要维持体内铁平衡的患者可以考虑起始剂量为10mg/kg/天。
已经对去铁胺治疗有良好反应的患者，可以考虑初始的本品剂量相当于去铁胺剂量的一半。
-剂量调整：
在开始初始治疗后，建议每个月对血清铁蛋白进行监测，并根据血清铁蛋白的趋势，必要时每3-6个月调整本品的剂量。剂量调整应当按照5mg/kg至10mg/kg逐步进行，并必须根据患者的疗效和治疗目标（维持或降低体内铁负荷）进行个体化调整。如果每日30mg/kg 的剂量不能很好控制患者病情（如血清铁蛋白持续高于2500 μg/L，而且未显示出随时间下降的趋势），可以考虑使用高达40mg/kg的剂量。不推荐使用超过40mg/kg的剂量，因为使用超过该水平剂量的经验有限。
对血清铁蛋白水平已达到目标水平的患者（通常为500~1000μg/L），应考虑以5~10mg/kg的幅度逐步降低剂量以维持血清铁蛋白水平在目标范围。如果血清铁蛋白持续低于500μg/L，应当考虑暂停本品治疗。
• 非输血依赖性地中海贫血（NTDT）综合征
-起始剂量
推荐的起始日剂量为10 mg/kg。
-剂量调整
建议每个月对血清铁蛋白进行监测。治疗每3至6个月后，如果患者的LIC≥7 mg Fe/g dw或血清铁蛋白持续>2000μg/L且没有显示下降的趋势，并且患者对药物耐受性良好，可考虑按5至10 mg/kg的幅度增加剂量。不推荐使用超过20 mg/kg的剂量，因为在非输血依赖性地中海贫血综合征患者中尚没有应用超过该剂量水平的经验。
对于未检测LIC的患者，若血清铁蛋白≤2000μg/L，则剂量不应超过10 mg/kg。
对于剂量增至>10 mg/kg的患者，当LIC<7 mg Fe/g dw或血清铁蛋白≤2000μg/L时，建议将剂量降低至10 mg/kg或以下。
一旦达到满意的体内铁负荷水平（LIC <3 mg Fe/g dw或血清铁蛋白<300μg/L），应暂停治疗。当临床监测发现有慢性铁过载证据时，应重新开始治疗。
【禁忌】
•已知对活性成份或任何赋形剂过敏者。
•不得与其他铁螯合治疗合用，因为尚未确立这种合并使用的安全性。
•禁用于肌酐清除率<40mL/min的患者或血清肌酐>2倍相应年龄正常上限。
•一般状况差、高危骨髓增生异常综合征（MDS）患者或晚期恶性肿瘤患者。

【注意事项】
•因老年患者不良事件的发生率高，应慎用于老年患者。
•肾功能损害：如果血清肌酐进行性升高并超过了年龄所列应的正常上限，应当暂停使用本品。
•肝功能损害：本品不推荐用于重度肝损害的患者（Child-Pugh C）。
•血液系统疾病：如果患者出现不明原因的血细胞减少，应当考虑暂停使用本品。一旦找到了血细胞减少的原因，可以考虑重新开始本品治疗。
•胃肠道疾病：本品治疗过程中可产生胃肠道刺激。
•超敏反应：接受本品的患者已有罕见的严重超敏反应（如过敏反应和血管性水肿）的报告。大部分病例在给药后的第一个月内出现超敏反应。
•皮肤疾病：建议患者注意严重皮肤反应的体征和症状，并密切监控。如果怀疑出现任何严重皮肤不良反应，应立即停用且不得再使用本品。
•听觉和视觉：开始本品治疗前及治疗开始后定期（每12个月）进行听觉和视觉检测（包括眼底检查）。如果发现异常，可考虑减量或停药。
•其他：
-本品不能与其他铁螯合剂治疗合用，因为这种治疗的安全性未知。
-本品片剂含乳糖（每mg地拉罗司有1mg乳糖）。对有少见的遗传性半乳糖不耐受、严重的乳糖酶缺乏或葡萄糖—半乳糖吸收不良患者，不推荐使用本品。
-心功能不全是严重铁过载的一项已知并发症。
【药物相互作用】
•可减少本品全身暴露量的药物
-诱导UDP-葡萄糖苷转移酶（UGT）代谢的药物
-与考来烯胺的相互作用
-与经CYP3A4代谢的咪达唑仑及其它药物的相互作用
-与经CYP2C8代谢的瑞格列奈及其它药物的相互作用
-与经CYP1A2代谢的茶碱及其它药物的相互作用
-与白消安的相互作用
-与鲁特的相互作用
•其他
-本品不可与含铝的抗酸剂同时给药。
-本品与已知有潜在致溃疡作用的药物如非甾体类抗炎药、皮质类固醇同时给药，或口服双膦酸盐药物合并使用，以及在接受抗凝血药物治疗的患者中使用本品，可能增加产生胃肠道刺激作用的风险。
【不良反应】
非常常见：血肌酐增高。常见：头痛；腹泻、便秘、呕吐、恶心、腹痛、腹胀、消化不良；转氨酶升高；皮疹、瘙痒；蛋白尿。不常见：　焦虑、睡眠障碍；头晕；白内障、黄斑病；耳鸣；咽喉痛；胃肠道出血、胃溃疡（包括多发性溃疡）、十二指肠溃疡、胃炎、急性胰腺炎；肝炎、胆石症；色素沉着；肾小管疾病（范可尼综合征）；发热、水肿、乏力。罕见：视神经炎、失明；多形性红斑、嗜酸性粒细胞浸润和全身症状的药物反应（DRESS）。上市后经验：　发生频率未知：肾小管坏死、急性肾功能衰竭；肝功能衰竭；Stevens-Johnson综合征、超敏反应血管炎、荨麻疹、脱发、中毒性表皮坏死松解症（TEN）；超敏反应（包括过敏反应和血管性水肿）；胃肠道穿孔；血细胞减少；横纹肌溶解。

详细内容请参考恩瑞格®说明书

NOVARTIS 诺华

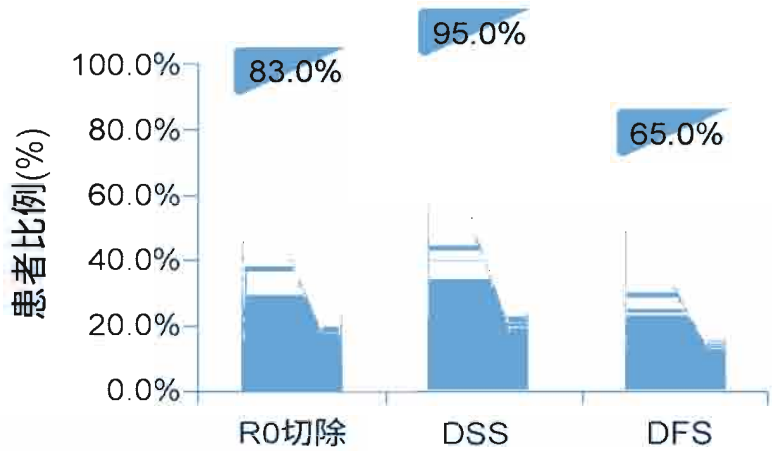
MCC号EXJ2202272有效期2023.02.10，资料过期，知而作废。

NOVARTIS 格列卫

降低风险，提高R0切除率

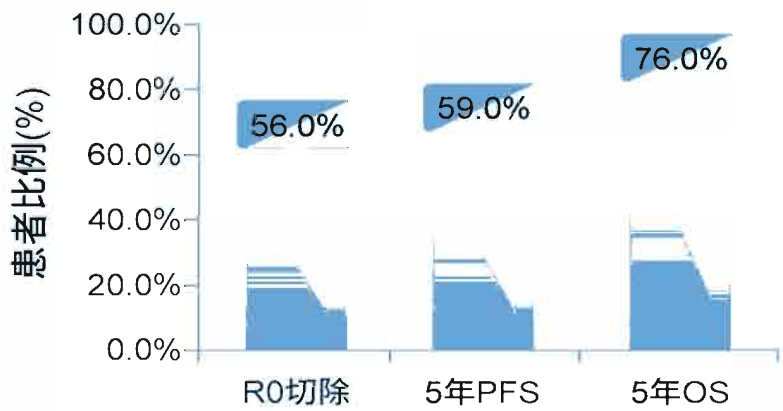
伊马替尼(格列卫®)——提高手术R0切除率，延长患者生存期

◆ EORTC STBSG研究[1]：伊马替尼(格列卫®)术前治疗，原发局限性进展GIST的R0切除率达83%



中位OS
104个月

◆ 荷兰研究[2]：伊马替尼(格列卫®)术前治疗，肝转移GIST的R0切除率达56%



R0切除患者的中位PFS
89个月

- 对10家欧洲癌症组织(EORTC STBSG)中2002-2011年间连续入组的161例局限性进展的GIST患者进行汇总分析[1]，患者术前接受伊马替尼(400mg/d)治疗。观察患者的R0切除率、DFS率、DSS率及OS等情况。
- 回顾性研究[2]，从1999年1月-2014年1月间荷兰国家组织学数据库(PALGA)中识别出接受肝转移切除术的GIST患者共计48例。其中30例(63%)患者接受术前伊马替尼(中位剂量400mg/d)治疗。观察患者的R0切除率、OS率及PFS等情况。

PFS：无进展生存期；OS：总生存期；DSS率：疾病特异性生存率；DFS率：无病生存率

1. Rutkowski P. et al. Ann Surg Oncol. 2013 Sep;20(9):2937-2943
2. Seesing MF. et al. Eur J Surg Oncol. 2016 Sep;42(9):1407-1413.

MCC号GIS21101275有效期2022-10-20，资料过期，视同作废。

本资料仅供医疗卫生专业人士个人学术参考，请勿分发或转发。

NOVARTIS 格列卫

GIST新版规范化外科治疗中国专家共识

伊马替尼——GIST靶向药物治疗的时机、剂量和时限

◆ GIST术前用药的剂量和时限

- 剂量：伊马替尼推荐剂量为400mg/d
- 时限：达到最大治疗反应后(通常6～12个月)可进行手术

◆ GIST术后辅助治疗的剂量和时限

- 不论何种基因类型，推荐伊马替尼辅助治疗的剂量均为400mg/d

胃来源的GIST(中危)	伊马替尼辅助治疗1年
非胃(主要为小肠、结直肠)中危GIST复发风险较高	伊马替尼辅助治疗3年
高度复发风险GIST	伊马替尼辅助治疗至少3年
发生肿瘤破裂	考虑延长辅助治疗时间

◆ 不可切除的或复发、转移性GIST的治疗

- 分子靶向药物是首选治疗，伊马替尼是靶向治疗的一线药物；
- 复发转移性GIST 进行外科干预后，术后尽早恢复分子靶向治疗

中国医师协会外科医师分会胃肠道间质瘤诊疗专业委员会，中华医学会外科学分会胃肠外科学组. 胃肠间质瘤规范化外科治疗中国专家共识(2018版). 中国实用外科杂志.2018;38(9):965-973.

ICC号GIS21101275有效期2022-10-20，资料过期，视同作废。
本资料仅供医疗卫生专业人士个人学术参考，请勿分发或转发。

鼎 科 医 疗
DK MEDTECH

关于鼎科

鼎科医疗成立于2015年，是一家专业从事血管介入医疗治疗产品研发和生产的高科技公司，坚持不断创新，追求卓越和高品质制造。

鼎科医疗致力于解决当下疾病问题的复杂现状，业务线主要布局于冠脉介入、外周介入及神经介入领域，并提供相应解决方案。有计划地研发了十余种各类产品，并拥有自主PCT知识产权，为中国患者提供了性能更优质的各类产品。

我们将精益求精于研发及生产的相应技术，与全球患者同步并肩，与生命同行。



外周球囊整体解决方案



D·Konquer™

外周球囊扩张导管

18/35系统兼备
规格齐全

D·Kaptain™

高压球囊导管套件

鞘+导丝一体化套件
最高RBP 26atm





D·Kutting™

外周刻痕球囊

可以过弯的
切割类球囊

Dissolve™ AV

刻痕药物球囊

国产创新
高压+刻痕+药涂



Dissolve™ AV

HP 外周切割药物球囊
Peripheral Scoring DCB

定向切割

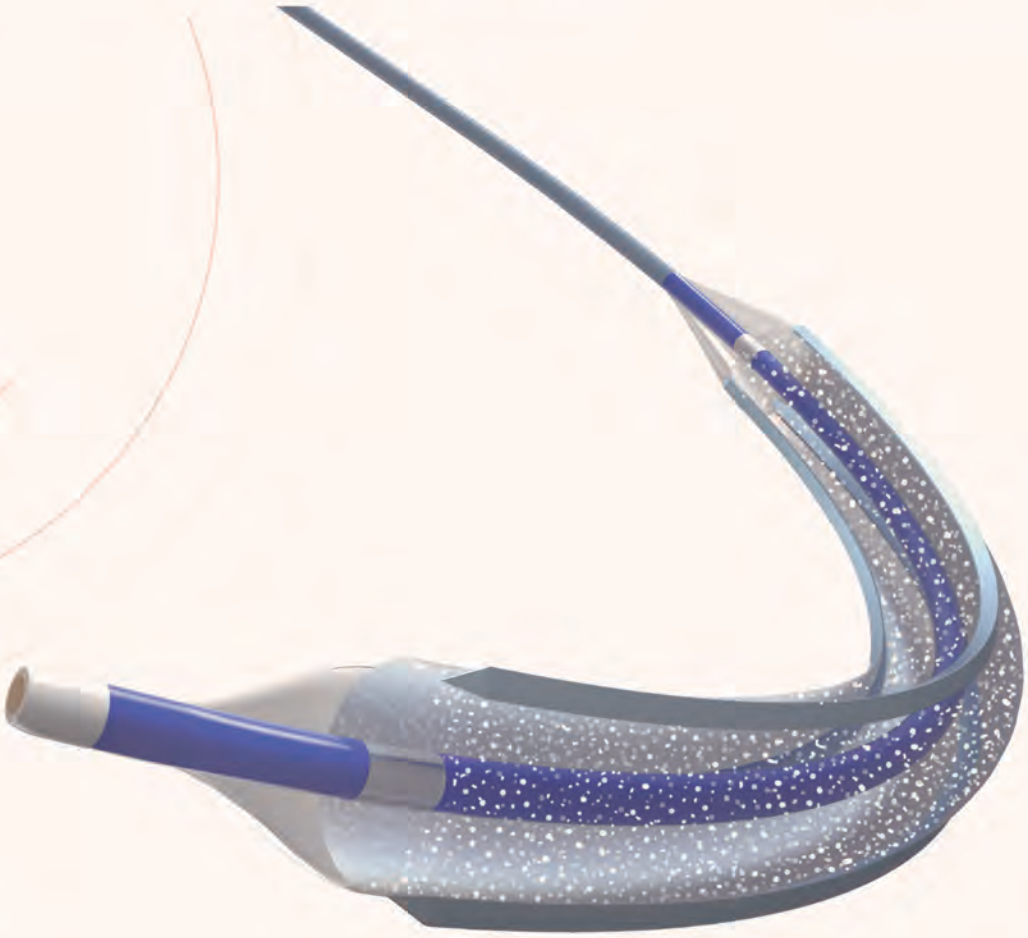
安全高效切割内膜

高爆破压

提高扩张成功率

药物涂层

提高远期通畅率



TIANLONG 天隆科技

吉因安

脊髓性肌萎缩症(SMA)

基因检测解决方案

准确定量SMN1第7、第8号外显子拷贝数
实现SMA携带者筛查和患者辅助诊断

NMPA CE

人运动神经元存活基因1
(SMN1) 检测试剂盒
(PCR-熔解曲线法)

32测试/盒





· 结果精准 ·

引物特异、结合熔解曲线分析

· 经济高效 ·

纯合及杂合缺失均可检测、检测通量高

· 操作便捷 ·

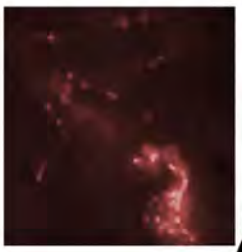
基于荧光PCR平台，结果自动判读

一次基因检测 一生安心相伴

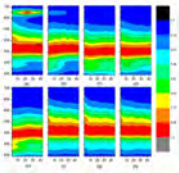
香港弗锐达科技有限公司

您身边的光电实验方案设计专家！

高速荧光成像



FLIM

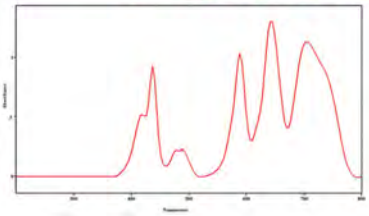






二区活体成像

拉曼荧光光谱



浩瀚的宇宙广袤无垠，月亮在苍茫之上不停的奔忙，尽情的挥洒汗水，点缀满天的繁星，努力渲染每一颗星星的光芒，与星星一起奏响光的乐章。

专业从事0-12um之间科学成像和光谱测试系统

TELEDYNE PRINCETON INSTRUMENTS
Everywhereyoulook
Part of the Teledyne Imaging Group

A.P.E. Research
NANOTECHNOLOGY

Lambert

企业微信

FreDor

联系电话：010-84920345

邮箱：fredorkevin@fredorscience.com

网址：www.fredorscience.com

See The Future!!!

Keep Steps Never Enough!!!

广东省医学科学院
GUANGDONG ACADEMY OF MEDICAL SCIENCES
广东省人民医院
GUANGDONG PROVINCIAL PEOPLE'S HOSPITAL



广东省人民医院
GUANGDONG PROVINCIAL PEOPLE'S HOSPITAL

广东省人民医院创建于1946年，历经几代省医人的不懈努力，已发展成为专科齐全、技术力量雄厚，医教研全面发展的著名大型三级甲等医院，医疗技术水平在国内外享有盛誉。

近年来，广东省人民医院在高水平医院建设的快速道上高速发展，高层次人才聚集，形成新的人才高地，学术队伍中有长江学者、国家杰青、国家优青、海外优青等优秀人才15人；近两年共获得5项省科技成果一等奖；国家自然科学基金项目2021年度立项数达80项，创历史新高，实现同比翻倍、两年三倍的突破。

未来的省医将继续从国际视野、战略高度、前瞻性规划和脚踏实地的精神，锐意进取、凝心聚力，不断推进高水平医院建设，描绘高质量发展战略新蓝图！

A++
国家三级公立医院绩效考核

80项
国家自然科学基金

13个
国家临床重点专科

34个
省临床医学重点专科

2个
临床医学博士学位授权一级学科点

27个
国家住院医师培范化培训专业基地

15个
国家级、省级杰出青年人才

6个
省级重点实验室

委省共建国家心血管区域医疗中心

扫码关注服务号

扫码关注订阅号

广州市中山二路106号

(020) 83827812

NIROPTICS
影 睿 光 学

苏州影睿光学科技有限公司
SUZHOU NIR-OPTICS TECHNOLOGY CO., LTD.

公司简介
COMPANY PROFILE

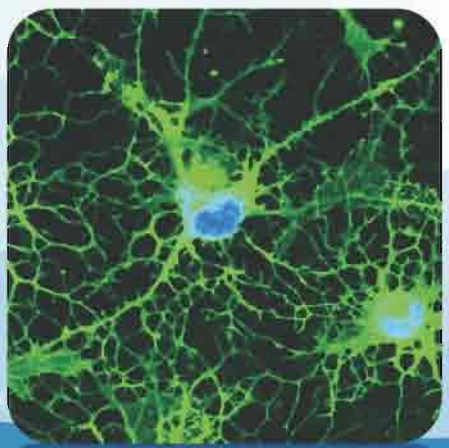
苏州影睿光学科技有限公司由海外回国创业优秀科学家团队于2014年创建，是一家专门从事近红外二区荧光影像研究的高科技公司，于2018年入选国家高新技术企业。在国际上率先开发了商业化近红外二区荧光活体成像系统、全光谱荧光活体成像系统、全光谱荧光显微镜，建立和发展了先进的近红外二区荧光探针和荧光成像技术平台，拥有一系列世界领先的自主知识产权，以及强大的数据处理和分析能力，为用户提供完整的科研产品及解决方案。


近红外二区荧光活体成像系统


全光谱荧光活体成像系统


X射线-全光谱荧光活体成像系统


全光谱荧光显微成像系统


微观-细胞成像


介观-脑部成像


宏观-活体成像

地址：江苏省苏州市工业园区林泉街399号
电话：0512-67245273
电邮：office@nir-optics.com

www.nir-optics.com