医工融合中的生物力学前沿问题

S15

主席：季葆华

主席：李德昌

2020 年 11 月 21 日 星期六 13:00-16:30		
时间	**演讲者姓名和单位**	**演讲题目**
13:00-13:20	**杨 慧** 西北工业大学	特殊环境免疫力学生物学
13:20-13:40	**林 敏** 西安交通大学	整合素介导细胞力学感知的分子机制
13:40-14:00	**冯 原** 上海交通大学	基于磁共振成像的软组织生物力学测量、建模与介入
14:00-14:20	**牛文鑫** 同济大学	中国传统健身运动的康复生物力学
14:20-14:50	茶 歇	
14:50-15:10	**于 申** 大连理工大学	基于医工结合的上气道与耳的结构、功能与疾病的生物力学研究
15:10-15:30	**郝石磊** 重庆大学	脑出血后脑损伤的力学机制与治疗
15:30-15:50	**姚 杰** 北京航空航天大学	膝关节髌骨转动轴的在体测量与轨迹分析
15:50-16:10	**高志鹏** 太原理工大学	完整角膜对生理眼压的变形响应

主席：季葆华

Email: bhji@zju.edu.cn

浙江大学求是特聘教授，博士生导师。长期从事生物材料、细胞与分子力学等领域的研究工作。在 PNAS、PRL、JMPS 和 Biophys. J 上发表学术论文 100 余篇。现为中国力学学会理事，中国力学学会青年工作委员会副主任、中国力学学会微纳米力学工作组副组长、中国力学学会生物力学专业委员会委员；担任国际期刊《Molecular & Cellular Biomechanics》 副 主编。曾入选北京市科技新星计划（2006），教育部新世纪优秀人才支持计划（2009），获国家杰出青年科学基金（2010）。入选科技部中青年科技创新领军人才（2016）；国家“万人计划”科技创新领军人才（2017）。获中国力学学会青年科技奖（2009），中国力学学会科学技术奖自然科学奖二等奖（2017）。

杨慧

Email: kittyyh@163.com

西北工业大学生命学院教授、博士生导师、副院长。获第十五届中国青年女科学家奖（2019）、国家自然科学基金优秀青年基金（2017），国防科工局“空间生物实验模拟技术国防重点学科实验室”副主任、西北工业大学“特殊环境生物力学与医学工程研究中心”主任，兼任中国力学学会 / 中国生物医学工程学会生物力学专业委员会委员、美国免疫学会（AAI）会员、多个 SCI 期刊副主编和编委、医用生物力学等国内期刊编委以及中国载人航天工程、军委科技委生物交叉领域专业组成员等。近年来主要围绕特殊环境人类健康和生命保障关键问题，面向国家航空、航天和航海等领域重大战略需求，开展特殊环境（失重、超重、辐射、磁场、冲击、振动、密闭环境等）人体健康智能感知与实时监测、人员健康保障与防护技术和装备、分子医学与生物诊疗工程等方面的研究工作。

冯原

Email: fengyuan@sjtu.edu.cn

上海交通大学生物医学工程学院医学影像先进技术研究院副教授。主要研究围绕磁共振成像与生物力学的融合展开，主要内容包括磁共振弹性成像、磁共振介入成像、脑外伤和磁共振引导的介入治疗。目前发表期刊论文 25 篇，中国发明专利授权 4 项，美国发明专利授权 3 项，另有 8 项中国发明专利和 1 项美国发明专利在审查中，已在国产联影磁共振扫描仪上，实现了磁共振弹性成像的临床应用。

主席：李德昌

Email: dcli@zju.edu.cn

浙江大学副教授，博士生导师。主要从事分子生物力学方向研究，关注与人类重要疾病密切相关生物分子的结构与功能关系及其相互作用，利用数值模拟和理论建模等手段结合单分子实验，定量揭示生物分子的动力学过程、结构及其功能关系，实现对生物分子功能的预测和调控，对疾病靶向治疗提供策略。包括：1. 单分子力谱方法；2. 生物分子的结构与功能关系；3. 多尺度计算模型；4. 纳米复合材料优化设 计。 已 在 PRL、Nature Comm、Adv Mater、Nano Lett、Biophys J 上发表论文 30 余篇。

林敏

Email: minlin@xjtu.edu.cn

西安交大生命学院教授，博士生导师。致力于细胞力学微环境构建、表征及力敏感受体介导的细胞力学生物学行为机制的实验及力学模型研究。主持国家自然科学基金、装备预研教育部联合基金等项目。在 Science Advances（封面论文）、Biophysical Journal（封面论文）、JMPS 等期刊上发表 SCI 论文 40 余篇（ESI 高被引论文 4 篇，10 篇 SCI 论文入选期刊封面 / 封底）；出版专著 1 部，英文专著章节 3 章，授权发明专利 3 项。H 因子 27，入选 2017 年 Nanoscale 期刊全球 Top 1% 高被引中国作者。获得国家自然科学奖二等奖；教育部自然科学奖一等奖；陕西高等学校科学技术奖一等奖；入选陕西省青年拔尖人才计划；获第十二届陕西青年科技奖；陕西省青年科技新星；西安青年科技人才奖；陕西省优秀博士学位论文等荣誉。

牛文鑫

Email: niu@tongji.edu.cn

同济大学医学院副教授，博士生导师，康复工程与生物力学课题组 PI，同济大学附属养志康复医院（上海市阳光康复中心）科教科副科长，康复医学转化研究中心副主任（主持工作）。研究方向为生物力学与康复工程，在肌骨生物力学、损伤防护与康复领域开展了相关研究。发表学术论文近 150 篇，出版专著 5 部，授权专利 7 项，曾获教育部博士生学术新人奖、教育部自然科学奖一等奖、黄家驷生物医学工程奖一等奖、上海康复医学科技奖一等奖、中国康复医学会科技奖一等奖。

于申

Email: yushen@dlut.edu.cn

大连理工大学工程力学系副教授。从事力学与医学交叉学科领域研究，研究方向主要有呼吸系统、听觉系统、平衡系统方面相关的生物力学问题。研究人体上气道和耳部结构、功能、环境三者之间的交互关系。负责和参与国家自然科学基金 5 项，获辽宁省科技进步二等奖、大连市科技进步一等奖，获发明专利 1 项，发表文章 60 余篇。

姚杰

Email: Astromilk@163.com

北京航空航天大学生物与医学工程学院助理教授，博士生导师，入选中国科协青年人才托举工程、北航青年拔尖人才培养等项目。在骨肌系统生物力学、康复工程生物力学等方面的研究成果获得临床应用，自主研发了膝关节运动分析软件和人体步态分析软件。以第一或通讯作者发表 SCI 论文 14 篇，参编 Springer 和 CRC 等出版的生物力学相关专著 6 本。

郝石雷

Email: shilei_hao@cqu.edu.cn

重庆大学副教授，博士生导师，主要从事生物力学和蛋白质科学方面研究。近 5 年在 J Controll Release, Mater Chem 等期刊发表 SCI 论文 30 篇。主持和主研国家自然科学基金、国家重点基础研究（973）计划、重庆市科技计划项目，重庆市脑科学协同创新中心引导项目等 10 余项。

高志鹏

Email: gaozhipeng@tyut.edu.cn

太原理工大学生物医学工程学院讲师，主要从事眼力学研究，重点关注角巩膜和眼外肌等软组织的力学行为。主持和参与国家自然科学基金 9 项，获 2019 年度山西省“三晋英才”称号。发表 SCI 论文 11 篇，参编《生物力学研究前沿丛书》之《眼耳鼻咽喉生物力学》分册。

特殊环境免疫力学生物学

杨慧
西北工业大学生命学院
西北工业大学 特殊环境生物力学与医学工程研究中心
Email: kittyyh@nwpu.edu.cn

摘要正文：在航空航天航海等工程领域，失重、冲击、高过载、振动或密闭等特殊力学环境会对人员的生理功能和重要组织器官造成损伤，导致机体免疫修复功能紊乱或抑制。因此，特殊力学环境对机体免疫系统（细胞）结构—功能的影响及其长期效应的力学生物学机制成为航空航天航海医学的关键科学问题。前期针对国家航空、航天和航海等领域特殊环境人员健康和生命保障重大战略需求，基础研究与工程应用并重，开展特殊环境对人体生理功能的影响、人体健康监测与感知、损伤修复与防护技术及装备，以及特殊密闭舱室环境实时监控技术等方面的交叉学科研究工作。（1）建立了地基模拟空间失重、超重环境、模拟航空冲击、高过载、振动等环境、模拟密闭舱室环境下动物和细胞的实验加载平台和装置，结合组学与生物信息学技术，高通量筛选并明确了免疫细胞受特殊力学环境影响的关键调控分子和主要调控网络；揭示了特殊力学环境下人体重要组织器官损伤与免疫修复机制，建立了生物力学预测模型，实现了定量化损伤监测与评估预测。（2）构建了体外三维细胞力学微环境并实现精确调控，揭示了三维微环境对细胞功能的调控及其分子机制；建立了力 - 化学耦合的细胞生物力学模型，实现了定量表征体外力学微环境对细胞结构与功能的调控作用及其机制。（3）建立了特殊力学环境下免疫细胞有限元分析方法，结合生物学实验，验证了细胞有限元模型的准确性与可靠性，揭示了特殊力学环境下免疫细胞骨架结构和应力分布规律，阐明了免疫细胞结构变化与其功能变化的相关性，为分析免疫细胞力学特性变化与其生物学功能改变之间的相关性，提供了重要的力学分析新模型。未来我们将继续围绕国家载人航天、载人探月、大型飞机、歼击机、深潜站等航空航天航海重大工程中人员安全保障关键技术需求和航空航天航海等特殊环境对人体结构 - 功能的影响及其长期效应的力学生物学关键科学问题，将力学、生物学、医学、物理学和材料学等学科进行交叉融合，在机体 - 器官 - 细胞 - 分子多层次探讨特殊力学环境影响生命活动的力学生物学规律，为解决航天员、飞行员、深潜员等人员的健康保障问题、建立未来空间站、载人探月等重大工程的生命保障系统等提供力学生物学依据，为推动我国航空航天航海事业的发展和地面人群重要疾病的防治提供生物力学的解决方案。

整合素介导细胞力学感知的分子机制

林敏
西安交通大学，生命科学与技术学院
Email: minlin@xjtu.edu.cn

摘要正文：整合素是细胞膜上一类最重要的力敏感黏附蛋白。细胞骨架的收缩可以通过整合素，以张力形式作用于细胞外基质上，进而调控细胞行为。然而，细胞通过整合素将力学刺激信号转导为生化信的分子机制鲜为人知。通过耦合整合素分子的激活 / 聚集动力学过程、整合素分子键的断裂解离及其内部黏着斑激酶（FAK）磷酸化这三个过程，建立了整合素团簇依赖的细胞力学信号转导模型，刻画了不同的细胞外基质刚度与不同种类细胞 FAK 磷酸化水平的量化关系，并得到了实验验证，进而从细胞骨架牵张力作用下，基质刚度依赖的 FAK 磷酸化水平差异的分子机制。在此基础上建立了基于黏附分子键力学理论的细胞力 - 化学耦合模型，分析了整合素与炎症因子协同作用对牙周膜干细胞成骨分化影响的动力学过程，预测了信号通路中关键调控分子的存在。研究成果为进一步开发以整合素为靶向分子的药物提供了理论基础。

基于磁共振成像的软组织生物力学测量、建模与介入

冯原
上海交通大学
Email: fengyuan@sjtu.edu.cn

摘要正文：生物软组织的生物力学特性与人体疾病诊断和治疗密切相关。磁共振成像具有无创、对比度好、可功能成像的优势。采用磁共振成像方法对软组织的生物力学特性开展在体测量，可以为疾病诊断和预后评估提供重要信息。本研究基于临床 3T 磁共振成像平台，研制了电磁式弹性成像系统，解决了临床应用简易便携的需求，克服了现有气动系统频率测量精度的限制，实现了在体软组织生物力学特性的测量。个体化建模和图像引导对生物力学模型的临床应用具有重要意义。本研究基于磁共振影像实现组织器官的快速建模，并采用机器学习方法实现了高分辨率的快速计算。研发了磁共振快速成像技术，实现了图像实时引导的介入，对结合个体化模型开展治疗具有重要临床意义。

中国传统健身运动的康复生物力学

牛文鑫
同济大学医学院；同济大学附属养志康复医院
Email: niu@tongji.edu.cn

摘要正文：近年来，世界康复医学界聚焦中国传统健身运动，开展了大量临床研究，发掘了太极拳、五禽戏、八段锦等功法的临床康复疗效，但是对其康复机理认识不充分。本团队应用运动学和动力学测试、逆向动力学分析、有限元仿真等方法，对太极拳和五禽戏开展生物力学研究，并结合脑功能分析和临床试验，解释传统健身运动的康复机理。研究聚焦传统健身运动力学安全性和有效性两个关键问题，解决了在膝关节炎患者练习太极拳的争议问题，为太极拳治疗髋关节炎临床试验指明了方向，为踝关节损伤患者练习太极拳提供了科学建议，比较了五禽戏动作与临床推荐的康复疗法的力学作用。同时，基于传统健身运动的力学和脑功能机制，通过改造太极拳和五禽戏动作，为患者提供个性化运动处方。

基于医工结合的上气道与耳的结构、功能与疾病的生物力学研究

于申
大连理工大学
Email: yushen@dlut.edu.cn

摘要正文：上气道与耳都是人体的门户型器官，直接与外界相接处，容易发生病变。而其结构具有尺寸狭小、结构精细，位置深埋等特点，很难进行无创性研究，同时又和功能的实现以及很多疾病的发生有着密切的关系。因此通过生物力学的研究，结合实验研究以及临床验证，可以成为对上气道与耳疾病传统医学研究的有益补充。本课题组建立上气道与内耳前庭系统的生物力学模型，对其功能的实现以及结构和功能之间的关系进行数值理论分析。然后对阻塞性低通气睡眠呼吸暂停综合征（OSAHS）、鼻窦炎、良性阵发性位置性眩晕（BPPV）、晕动病等几种典型常见疾病与结构之间的关系，以及相应的临床诊疗措施进行研究。基于医工结合的生物力学研究，可以从力学的角度对传统常见疑难疾病进行新的诠释，推动现有医学理论的发展，同时也可以辅助疾病临床诊断与治疗方案的定制，并开发具有辅助诊疗功能的医疗器械。

脑出血后脑损伤的力学机制与治疗

郝石磊
重庆大学
Email: shilei_hao@cqu.edu.cn

摘要正文：脑出血具有极高的死亡率和致残率，目前临床上尚缺乏有效的治疗措施。因此研究脑出血后脑损伤机制以及治疗新策略的开发，对于降低患者致死率，减轻功能障碍和改善神经功能具有重要现实意义。脑出血后血肿占位效应在临床早已得到共识，但其诱导的力学脑损伤尚不清楚。本团队首先构建体外静压力细胞模型，发现 40 kPa 压力作用下体外细胞活性显著的降低，体内由 50 μL 琼脂糖凝胶诱导的占位效应出现明显的组织损伤，进一步发现力学通道蛋白 Piezo-2 可介导静压力对周围神经组织产生损伤，并且占位效应与继发性脑损伤具有协同效应。此外，基于脑出血后脑损伤机制和角蛋白良好的生物相容性，设计了角蛋白原位凝胶和鼻吸入纳米粒用于治疗脑出血后的占位效应、铁超载和神经再生。

膝关节髌骨转动轴的在体测量与轨迹分析

姚杰
北京航空航天大学
Email: Astromilk@163.com

摘要正文：髌股关节运动异常常常伴随骨关节炎的发生，其中髌骨转动轴的空间位置在屈伸膝过程中动态改变，并且直接影响股四头肌对膝关节的力矩，可能与骨关节炎的发病机制有密切联系。为了阐明髌骨转动轴的改变规律，本研究通过核磁共振成像，测量并重建了髌骨的在体运动轨迹；采用离体标本实验验证了轨迹的精度；进而测量了 20 例健康受试者的髌骨转动轴。结果显示，在膝关节由伸到屈的过程中，转动轴呈现出 L 型的运动轨迹，并在 20° -90° 之间与通髁线趋于平行；尽管转动轴不断变化，转动半径却相对稳定在 0.6-0.8 倍通髁线之间。本研究所发现的髌骨运动规律可为进一步探讨膝关节骨关节炎的生物力学机制提供基础，也能为改进关节假体设计提供理论依据。

完整角膜对生理眼压的应变响应

高志鹏
太原理工大学
Email: gaozhipeng@tyut.edu.cn

摘要正文：屈光手术（如 LASIK、SMILE 等）是目前临床上常用的治疗近视的手段，术后患者角膜的曲率半径较术前在几何形态上发生变化。理论上为获得相同的矫正量，LASIK 和 SMILE 等不同手术后的角膜形态变化相同。但有关的有限元仿真分析发现 SMILE 手术有明显的生物力学优势，即在相同载荷工况作用下，SMILE 术后角膜的应变响应明显小于 LASIK 术。为揭示屈光手术前后角膜响应生理眼压的生物力学机制，我们课题组用自制的球形探针配合传统的材料试验机（Instron 5544）测试了完整离体猪角膜的压痕行为，分析了完整角膜在梯度眼压（从 20 mmHg 到 60 mmHg）作用下的力学行为，并利用球对称理论计算了完整角膜对不同生理眼压的应变响应，为进一步获得在体角膜力学性能提供可靠的方法和测量手段。