

**项目名称：**人体关节及其替代的生物摩擦学基础研究

**提名单位：**西南交通大学

**项目简介：**

靳忠民教授是国际著名的生物力学与生物摩擦学专家，领导的自然与人工关节团队成员来自武汉理工大学、北京理工大学、中国矿业大学、上海大学、长安大学等高校的著名学者，是国内生物力学与生物摩擦学交叉学科的开创团队。团队在揭示人体关节及其替代的生物力学与生物摩擦学机理方面做出了突出的贡献，相关研究成果世界领先。

在人工关节磨损测试与建模方面：通过建立体外磨损模拟实验方法，研究了人体环境介质对典型植入体材料的化学组成、结构的变化和力学性能的影响规律。结合原子力显微镜技术在纳米尺度分析超高分子量聚乙烯（UHMWPE）磨粒的机械性能、三维几何轮廓以及表面形貌进行考察，并将不同类型磨粒以及聚乙烯基体材料的各种特性进行对比研究，揭示了植入假体的摩擦、磨损及腐蚀机理及其失效模式，阐明了人工关节在生物环境下的磨粒积聚规律、磨粒形态特征和迁移机制，揭示了微孔的润滑机理和 UHMWPE 的磨损机理，为获取“少磨损、低危害”新型植入体奠定了摩擦学理论和技术基础。

在人工关节的接触力学与润滑理论方面：推导了球面或准球面人工关节稳态与瞬态混合弹流润滑方程，提出了更有效的大规模数据处理技术、新的混合或薄膜润滑模型及一系列理论构架，推动了比水粘度还低的微薄膜状态下润滑性能的认识；提出了基于反滤波加平滑函数法的接触力学方法，发展了从宏观接触力学到微观接触力学的人工髌、膝关节有限元模型，其数据处理规模可达百万级网格密度，特别揭示了髌骨、股骨与人工关节耦合对关节面接触力的影响机理。

在人工关节生物力学与摩擦学耦合机理方面：首次建立了同时考虑人工关节摩擦学与骨肌系统生物力学的关节运动、关节受力和滑动面磨损的耦合模型，揭示了关节的运动与生物力学参数和关节表面的摩擦、磨损等生物摩擦学参数的耦合机理，建立了运动功能和关节面耐磨性能的协同优化方法，揭示了假体材料、设计、医生手术安装及病人步态对生物力学环境及人工关节服役状态的影响机制。

在自然与人工关节在体生物力学环境解析方面：通过建立骨肌多体动力学模型和三维有限元模型，提出人体关节宏微生物力学耦合仿真方法，深入评价了人体生理活动下骨骼和关节在在体生物力学环境下的力学性能和运动功能，结合关节摩擦磨损研究，揭示了宏观人体骨肌多体动力学、微观关节接触力学和关节摩擦磨损间的相互作用，为人体关节及人工植入物在体骨肌力学环境下的生物力学研究提供了途径。

项目相关研究带动了我国人工关节与骨科植入物的发展,并获得英国机械工程学会 Thomas-Stephen 奖、国际摩擦学铜奖及中国机械工业科学技术奖(二等奖)等多个奖项。相关成果广泛应用于人工关节产品的设计中,为提高人工关节摩擦学性能和延长人工关节使用寿命提供了理论基础,为人工关节企业进行产品研发和评估提供了重要的理论与实验依据,创造了巨大的经济效益和社会价值。

**主要完成人情况:**

排名	姓名 职称	工作单位	完成单位	对本项目重要科学发现的贡献
1	靳忠民 教授	西南交通大学	西南交通大学	国内生物力学与生物摩擦学交叉学科开创团队的领导者,本项目实施过程的负责人。提出了将传统摩擦学原理、计算生物力学与生物组织工程学应用于自然与人工关节的研究思路,建立了多尺度、多物理的在体力学分析的理论框架,发展了基于骨肌多体动力学、接触力学、流体动力学、材料力学和摩擦学交叉的理论研究体系及数值模拟方法,从接触、润滑、摩擦、磨损等方面揭示了人工关节的材料、设计及制造等因素的作用机理。
2	袁成清 教授	武汉理工大学	武汉理工大学	本项目磨损测试与建模部分的主要完成人,代表作一的第一和通讯作者。通过建立体外磨损模拟实验方法,对人工关节典型植入体材料进行磨损模拟实验,综合评价了耐磨改性植入体材料在生物环境下的摩擦磨损性能,结合原子力显微镜技术的定量纳米力学性能测试模式在纳米尺度对 UHMWPE 磨粒的机械性能、三维几何轮廓以及表面形貌进行考察,并将不同类型磨粒以及聚乙烯基体材料的各种特性进行对比研究,揭示了植入假体的摩擦、磨损及腐蚀机理及其失效模式。
3	王文中 教授	北京理工大学	北京理工大学	本项目自然与人工关节的接触力学与润滑理论部分的主要完成人,代表作二的第一和通讯作者。建立了人工关节稳态与瞬态混合弹流润滑模型,发展了人工关节润滑问题统一求解理论框架、建立了一套稳定和高效的数值求解方法,揭示了不同模型处理人工关节润滑问题的差异性,为解决人工关节不同润滑状态的统一模拟和分析提供了有效手段,为已经开展的磨损预测模型、人工关节摩擦学系统计算机模拟试验分析平台的构建奠定了理论基础,为发展深入的理论模型提供了良好的理论与实践基础。

4	罗勇教授	中国矿业大学	中国矿业大学	本项目磨损测试与建模部分的主要完成人，代表作三的第一和通讯作者。研究了人体环境介质对典型植入体材料的化学组成、结构的变化和力学性能的影响规律，阐明了人工关节在生物环境下的磨屑积聚规律、磨屑形态特征和迁移机制。发展了钛金属陶瓷关节，揭示了微孔陶瓷的润滑机理和超高分子量聚乙烯的磨损机制。对典型植入体进行了仿生摩擦学设计，并对这些仿生植入体进行了生物摩擦学实验，为获取“少磨损、低危害”新型植入体奠定摩擦学理论和技术基础。
5	华子恺副教授	上海大学	上海大学	本项目生物力学与摩擦学耦合部分的主要完成人，代表作四的第一和通讯作者。建立了同时考虑人工关节摩擦学与骨肌系统生物力学的关节运动和关节摩擦学的耦合模型。通过建立骨肌系统层面、关节层面和界面层面的力学模型与体外实验方案，解析多尺度的在体力学环境。揭示了假体材料、设计、医生手术安装及病人步态对生物力学环境及人工关节服役状态的影响机制，阐明了关节力、运动等生物力学参数和关节表面的摩擦、磨损等生物摩擦学参数的耦合机理。
6	陈瑛贤工程师	长安大学	长安大学	本项目自然与人工关节的在体生物力学环境解析部分的主要完成人，代表作五的通讯作者。通过建立骨肌多体动力学模型和三维有限元模型，提出了人体关节宏微生物力学耦合仿真方法，深入评价了人体生理活动下骨骼和关节在在体生物力学环境下的力学性能和运动功能，结合关节摩擦磨损研究，揭示了宏观人体骨肌多体动力学、微观关节接触力学和关节摩擦磨损间的相互作用，为人体关节及人工植入物在体骨肌力学环境下的生物力学研究提供了途径。

**主要完成单位：**

西南交通大学、武汉理工大学、北京理工大学、中国矿业大学、上海大学、长安大学

**代表性论文（专著）目录：**

- [1]. Numerical surface characterization of wear debris from artificial joints using atomic force microscopy. Yuan, CQ; Jin ZM; Tipper, J. L.; Yan XP. *CHINESE SCIENCE BULLETIN*.
- [2]. Numerical lubrication simulation of metal-on-metal artificial hip joint replacements: ball-in-

socket model and ball-on-plane model. Wang, WZ; Wang, FC; Jin, ZM; Dowson, D; Hu, YZ. *PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART J-JOURNAL OF ENGINEERING TRIBOLOGY*.

- [3]. Microstructure analysis and wear behavior of titanium cermet femoral head with hard TiC layer. Luo, Y; Ge, SR; Liu, HT; Jin, ZM. *JOURNAL OF BIOMECHANICS*.
- [4]. A biotribo-acoustic testing method for ceramic orthopaedic biomaterials. Hua, ZK; Fan, YW; Jin, ZM. *TRIBOLOGY INTERNATIONAL*.
- [5]. Parametric study of patient-specific femoral locking plates based on a combined musculoskeletal multibody dynamics and finite element modeling. Fan, XJ; Chen, ZX; Jin, ZM; Zhang, QD; Zhang, X; Peng, YH. *PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART H-JOURNAL OF ENGINEERING IN MEDICINE*.