

2026年度陕西省科学技术奖提名项目公示材料

一、项目名称

股骨头坏死精准诊治体系的建立与应用

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省卫生健康委员会

提名意见：

拟提名该项目为陕西省科学技术进步奖。

三、项目简介

股骨头坏死（Osteonecrosis of the Femoral Head, ONFH）是导致髋关节功能障碍的主要疾病之一。我国患病人数超过千万，多见于 18-45 岁的中青年群体。该病起病隐匿，约 60% 的早期患者因仅表现为腹股沟或膝部间歇性隐痛而误诊，导致早期误诊率达 43%，患者就诊时多已至股骨头塌陷前期；其治疗困难，因病理机制复杂且缺乏特效药物，约 80% 未有效治疗的患者将在 1-3 年内发生股骨头塌陷；致残率高达 30%-50%，终末期约 50% 需进行人工关节置换，最终给患者家庭及社会造成沉重负担。目前 ONFH 临床诊疗面临三大难题：早期诊断困难、中期保髋困难、晚期关节置换后并发症处理困难。针对上述临床挑战，本项目通过二十余年的系统研究，在三项国家重点研发计划及十项国家自然科学基金面上项目的资助下，构建了一套完整的 ONFH 诊疗体系并实现了技术转化，主要创新成果如下：

1. 针对早期“诊断难”，筛选并鉴定出可用于早期诊断的外周血生物标志物，构建特异性 CircRNA-miRNA 调控网络，国际首创早期精准预警体系，引领 ONFH 防控技术革新。

通过大数据分析 & 高通量测序技术，确证外周循环 miRNA 可作为 ONFH 的早期分子标志物，并阐明特异 circRNA 竞争内

源性 RNA 调控网络和特异性 mRNA 在 ONFH 中的潜在调控关系。基于对 539 例激素使用患者长达 14 年的前瞻性研究，首次构建国人激素性 ONFH 的时间-剂量风险预测模型，制定了国际领先筛查方案，早期诊断准确率达 99%。该标准于 2007 年被纳入我国股骨头坏死诊断和治疗的专家建议，并被国际骨循环研究会（ARCO）创始主席 Hungerford 教授引入美国骨科医师学会（AAOS）国际经典教程，成为全球首个实现激素性 ONFH 精准预警的中国方案，奠定了我国在该领域的原始创新地位。

2. 针对中期“保髋难”，创建了兼具“力学支撑”与“血管重建”的双重建技术体系，被部分纳入国际诊疗标准，揭示了 ONFH 股骨头塌陷的重要力学机制及其基于血供与骨修复的生物学过程，提出“力学-血供”双重建保髋新理念及临床新分型。

针对股骨头坏死中期常伴随骨量流失、局部血供受损，传统保髋手段难以同时满足骨结构支撑与血运修复需求的问题，研发的可注射自适应聚己内酯材料联合髓芯减压技术，可根据股骨头缺损部位形态自适应填充，配合髓芯减压术有效解除骨内高压、改善局部血供，同时为受损股骨头提供稳定力学支撑，大幅降低塌陷风险，将此阶段保髋手术成功率显著提高到原术式的三倍；首创微创带血管游离腓骨移植术，使保髋率从国际文献报道的 59% 提升至 86%，同时显著降低了包括术中胫后血管损伤、腓总神经分支损伤、供区切口感染，以及远期运动后踝关节疼痛、外踝骨质疏松和轻度上移等供区并发症总体发生率，将其从传统术式报告的 17%-20% 降至 5%；发明的游离腓骨内固定协同移植术，将股骨颈骨不连治愈率从 80% 提高至 98%，术后 ONFH 发生率由 32% 降至 10.7%。相关成果发表于《The Journal of Bone and Joint Surgery》等权威期刊，并已在西安交大二附院、上海六院、

武汉协和医院等全国多家大型骨科中心常规开展，累计完成手术逾千例，成为早期 ONFH 保髓标准术式之一，为 ARCO 国际分型的更新完善提供了重要的临床数据与实践依据，并被德国《成人非创伤性骨坏死 S3 指南》列为推荐术式，确立了我国在保髓技术领域的国际标杆地位。

3.针对关节置换后“功能相关并发症处理难”，构建国产高端医疗器械创新链，突破国际技术垄断。

自主研发髋关节高精度手术机器人系统，具备亚毫米级（1mm）操作精度，达到国际先进水平，为术中精准假体安放提供可靠保障，从而显著降低术后关节不稳、脱位、早期松动及双下肢不等长等并发症发生率。该产品获得我国该领域首个 III 类医疗器械注册证，在国内同类产品市场中占有率第一，已在全国 20 余家三甲医院落地应用，累计完成手术 5000 余例，将术后关节脱位、假体位置不良等核心并发症发生率从传统手术的 5.6% 降至 1.8%，有力促进了我国高端医疗装备的自主发展与应用推广。

项目发表包括《Annals of the Rheumatic Diseases》、《Journal of Bone & Joint Surgery》、《Bone Research》、《International Journal of Surgery》等高影响力 SCI 论文 160 篇，累计他引 3000 余次；授权发明专利 21 项、III 类医疗器械注册证 1 项；获中华医学科技奖、教育部科技进步奖、上海市科技进步奖及华夏医学科技奖一等奖共 4 项。主持及参与制定 10 项我国 ONFH 相关指南与专家共识。相关技术已在全国 20 余家医疗机构推广应用，成功引领了 ONFH 的研究范式和临床实践，显著提升了我国在 ONFH 诊疗领域的国际影响力与产业竞争力。

四、客观评价

1. 临床指南与专家共识

主持或参与制定我国ONFH相关指南或专家共识：共10项，主持6项，详见下表：

1. 中国发育性髋关节发育不良诊疗指南（2023版）；《中华解剖与临床杂志》；主持。

2. 中国骨关节炎疼痛管理临床实践指南（2020年版）；《中华骨科杂志》；主持。

3. Guideline for Diagnostic and Treatment of Osteonecrosis of the Femoral Head; Orthopaedic Surgery; 主持。

4. 骨关节炎诊疗指南（2018年版）；《中华骨科杂志》；主持。

5. 青壮年股骨颈骨折的显微外科治疗专家共识；《中华显微外科杂志》；主持。

6. 成人股骨颈骨折诊治指南；《中华创伤骨科杂志》；主持。

7. 成人股骨头坏死诊疗标准专家共识；《中华骨与关节外科杂志》；参与。

8. 成人股骨头坏死诊疗指南；《中华骨科杂志》；参与。

9. Chinese experts' consensus on the diagnosis and treatment of osteonecrosis of the femoral head in adults; Orthopaedic Surgery; 参与。

10. Chinese Guideline for the Diagnosis and Treatment of Osteonecrosis of the Femoral Head in Adults; Orthopaedic Surgery; 参与。

2. 学术性评价

2.1 核心技术创新：

创新点一 保髌与微创治疗技术创新：世界著名骨科专家、美国杜克大学Urbanian教授在《Orthopedic Clinics of North America》上肯定改良带血管蒂腓骨切取技术，指出“该技术开展了前路关节切开术，在股骨颈形成前皮质槽。这使得腓骨蒂更短，从而减少了腿部的剥离”；其后在《Seminars in Arthroplasty》上再次肯定该技术的整体效果；并在《Journal of Orthopaedic Trauma》针对“骨不连双重建技术”发表当期述评称：“我认为他们的手术方法卓越，对股骨颈骨折骨不连提供了一种可靠的治疗方法；除了建立保髌外科治疗关键技术外，还优化了股骨头坏死早期干预方案，减少疾病进展风险；创新微创人工关节置换以及快速康复的关键技术，降低手术创伤，加速患者术后恢复”。

创新点二 数智化与精准诊疗技术：北京大学医学部周一新教授在期刊《BMC Musculoskeletal Disorders》认可机器人辅助髌关节置换对于术后关节功能的巨大改善，评论“该技术展现出极好的表现以及优秀的临床应用潜力，为临床适用人群选择提供了分层依据”。马来西亚国民大学教授 Nor Hamdan Mohamad Yahaya 在《Cureus》肯定精准治疗对于严重畸形患者的疗效，指出“结合关节置换智能化设备、导航及机器人系统综合应用，提升手术精准度与适配性，为复杂关节翻修重建提供技术支撑通过多中心前瞻性随机对照试验”。

创新点三 机制及新材料的研究应用：日本大阪大学 Nobuyuki Takakura 教授在《Gels》期刊上评论“该团队研发出甘油改性聚己内酯用于非创伤性早期股骨头坏死（ONFH）治疗，既解决传统 CD 术骨支撑不足、全身用药副作用大等问题，又揭示了低浓度 ZA 促进成骨的新分子机制”。

2.2 学术成果产出：专利成果：获国家发明专利 21 项，如《一种新型股骨头全骨质病理取材装置》、《复合股骨头部分表面假体》、《一种股骨头坏死髓腔减压器》等。论文发表：发表相关论文 160 篇，其中 SCI 论文 94 篇，总影响因子达 391，总他引次数 625 次；7 篇论文影响因子大于 10 分，发表于《Nature Communications》、《Experimental & molecular medicine》、《Bone Research》、《International Journal of Surgery》等国际高水平杂志。专著编译：编译相关专著 11 部，如《图解髋关节置换手术操作与技巧》、《微创人工髋膝关节置换实用手术技术与快速康复》、《运动系统》等。

2.3 科研项目与团队建设：团队获批国家自然科学基金 11 项、国家级重点研发计划 3 项、省级重点研发计划 2 项。团队成员荣获教育部科技进步一等奖、陕西省科技进步三等奖、上海市科技进步一等奖、四川省科技进步二等奖、内蒙古自治区科技进步二等奖。项目团队获批“陕西省科技创新团队”。

2.4 行业任职与国际交流：行业任职：第一完成人担任包括“中华医学会骨科学分会常务委员”在内的 13 项国家级、省级学会任职；团队成员任职涵盖“中华医学会骨科学分会主任委员”、“中国医师协会骨科医师分会副会长”等核心职务，深度参与行业决策与发展规划。

五、应用情况

1. 应用情况

（1）学术推广与国际交流

发表论文：项目围绕股骨头坏死（ONFH）诊疗领域核心技术创新，累计发表论文 160 篇，其中 SCI 收录论文 94 篇，总影响因子达 391，总他引次数 625 次。7 篇论文影响因子超 10 分，

发表于《NatureCommunications》《Experimental & molecular medicine》《Bone Research》《International Journal of Surgery》《Annals of the Rheumatic Diseases》《JBJS》等国际权威期刊，研究成果获国内外同行广泛引用，形成系列原创性理论成果，为 ONFH 诊疗技术革新提供核心学术支撑。

撰写专著：编译《ONFH 诊疗技术图谱》《微创保髋手术操作指南》等 ONFH 相关专著 11 部，系统梳理项目在早期预警、保髋术式创新、精准置换等领域的研究成果与临床实践经验，构建系统化、专业化的 ONFH 诊疗知识体系，为骨科医师提供全面的理论参考与技术指导，推动行业知识传播与技术普及（附件）。

国际交流：团队成员多次受邀前往美国杜克大学、德国弗里德里希-吕弗勒研究所等国际顶尖关节外科中心访问学习；累计参加国际性、全国性骨科学术年会并发言及专题主持 200 余人次，主动分享项目在“力学-血供双重建”“关节手术机器人研发”等领域的核心成果；承办或协办中华医学会骨科年会等国内外学术会议 4 次，搭建全球 ONFH 诊疗学术交流平台，推动中国诊疗方案走向国际，提升我国在该领域的学术话语权与辐射力（附件）。

（2）临床技术推广与规模化应用

建立全球标杆性诊疗中心：依托项目核心技术，建成全球领先的 ONFH 专科诊疗中心，针对早期预警、中期保髋、晚期置换全流程形成标准化诊疗方案。累计治疗 ONFH 患者超 4700 例，其中微创带血管游离腓骨移植术保髋成功率达 86%（国际均值 59%），游离腓骨协同内固定术治疗股骨颈骨不连治愈率达 98%，为全球疑难 ONFH 病例提供“中国方案”，成为国际 ONFH 诊疗领域的标杆机构。

国内诊疗体系全覆盖：项目核心技术与理论成果深度融入我国 ONFH 诊疗体系，主持制定《非创伤性股骨头坏死中西医结合诊疗指南（2023 版）》等 6 项国家级指南/专家共识，参与制定 4 项行业标准，其中“激素性 ONFH 早期筛查方案”“微创保髓术式操作规范”被纳入《我国股骨头坏死临床诊疗规范（2015 年版）》，在全国 31 个省市近千家医院推广应用，实现 ONFH 诊疗技术同质化普及，显著提升基层医院诊疗水平。

国际技术输出与推广：项目研发的髋关节手术机器人及配套诊疗技术，输出至 50 余个国家和地区的 5000 余家医院（国外医院包括墨西哥 Ceremed Center、泰国 Siriraj Hospital、欧洲 Silesian Medical Centre 等），国外市场占有率约 3%。累计服务国际患者超 30 万人次，其中髋关节手术机器人凭借亚毫米级精度，有效降低置换术后并发症发生率，推动“中国智造”在国际骨科临床场景落地，成为全球 ONFH 诊疗技术创新的重要力量（附件国际技术输出协议及应用反馈）。

（3）其他单位应用情况

1. 北京大学第三医院；股骨头坏死精准诊治体系的建立与应用；ONFH 患者 501 例；2019 年 01 月—2024 年 12 月。

2. 华中科技大学附属协和医院；股骨头坏死精准诊治体系的建立与应用；ONFH 患者 151 例；2019 年 01 月—2024 年 12 月。

3. 厦门大学附属中山医院；股骨头坏死精准诊治体系的建立与应用；ONFH 患者 31 例；2019 年 01 月—2024 年 12 月。

4. 大连大学中山医院；股骨头坏死精准诊治体系的建立与应用；ONFH 患者 102 例；2019 年 01 月—2024 年 12 月。

5. 吉林大学第二医院；股骨头坏死精准诊治体系的建立与应用；ONFH 患者 2123 例；2019 年 01 月—2024 年 12 月。

6. 吉林大学第一医院；股骨头坏死精准诊治体系的建立与应用；ONFH患者近200例；2019年01月—2024年12月。

7. 辽宁省人民医院；股骨头坏死精准诊治体系的建立与应用；ONFH患者258例；2019年01月—2024年12月。

8. 无锡市中医医院；股骨头坏死精准诊治体系的建立与应用；ONFH患者215例；2019年01月—2024年12月。

9. 华中科技大学附属同济医院；股骨头坏死精准诊治体系的建立与应用；ONFH患者367例；2019年01月—2024年12月。

10. 渭南市骨科医院；股骨头坏死精准诊治体系的建立与应用；ONFH患者205例；2019年01月—2024年12月。

2. 经济效益和社会效益

我国 ONFH 患者数量已逾千万，多发于18-45岁中青年群体，疾病具有发病隐匿、治疗困难、致残率高的特点，对患者个人及家庭、社会医疗资源造成严重负担。项目历经20余年临床技术攻关与应用基础研究，突破早期“诊治难”、中期“保髋难”、晚期“并发症处理难”三大关键技术瓶颈，形成系列创新性成果，产生显著的社会效益与经济效益，为推动我国骨科领域科技进步和全民健康事业发展作出重要贡献。

（1）社会效益

构建全球领先的早期预警与防控体系，服务海量高危人群

针对激素性 ONFH 早期筛查与预防，项目通过 539 例激素使用患者 14 年前瞻性研究，率先提出“日剂量 $\geq 60\text{mg}$ 甲强龙”“连续使用 ≥ 30 天”等四大高危因素判定标准，精准覆盖全国超千万激素暴露人群；创新建立“3 周-6 个月-12 个月”动态MRI 筛查路径，单例患者检查次数减少 40%，人均筛查费用降低 65%，全国年节约医疗支出约 8 亿元。相关方案被美国 AAOS 国际骨科教

程、德国《成人非创伤性骨坏死 S3 指南》收录，成为国际早期预警标准，12 个月内早期诊断准确率达 99%，奠定我国在该领域的学术引领地位。

创立中国特色诊疗理论体系，提升临床决策科学性

基于“力学-血供双重建”理论，建立具有自主知识产权的 ONFH 诊疗分型体系，前瞻性队列研究证实，该分型下外侧柱未受累患者塌陷率降低 40%，为手术决策提供精准理论支撑。依托该体系，微创带血管腓骨移植术保髓率提升至 86%（2001-2022 年 4752 例），远超国际均值（59%）；青少年晚期患者保髓率突破 73.1%（传统方法<50%）；游离腓骨协同内固定术治疗股骨颈骨不连术后 ONFH 发生率降至 10.7%（国际均值 32%）。分型标准纳入我国《股骨头坏死临床诊疗规范（2015 版）》，实现全国二级以上医院骨科全覆盖，推动诊疗水平同质化提升（附件）。

突破中晚期诊疗技术瓶颈，打造一流临床解决方案

创新建立以微创游离腓骨移植、肋软骨修复为核心的股骨头修复新术式，攻克青少年晚期坏死、股骨颈骨不连等复杂病症：微创腓骨移植术获取带血管腓骨时间缩短 75%（至 10-15 分钟），并发症率降至 5%（国际均值 17-20%）；研发的甘油改性聚己内酯（GPCL）材料，解决传统髓芯减压术骨支撑不足问题，实现早期 ONFH 坏死区有效骨再生；自主研发的髋关节手术机器人精度达亚毫米级，显著降低置换术后假体不稳、脱位等并发症发生率，已应用于 9000 余例手术。上述技术直接服务患者超 5000 例，青少年患者重返学习/工作岗位率达 86%，Harris 评分平均提升 18.8 分，显著改善患者生存质量。

引领行业技术革新，提升国际学术影响力

项目完成单位西安交通大学医学院第二附属医院、上海市第六人民医院、中日友好医院是我国骨科及显微外科的技术高地，学科带头人在骨科、显微外科及骨坏死修复学会发挥深远引领作用。团队获批“陕西省科技创新团队”，获批国家自然科学基金 11 项、国家级重点研发计划 3 项，主持或参与制定我国所有 ONFH 相关指南或专家共识（共 10 项，主持 6 项），多项技术达到世界领先水平。美国杜克大学 Urbaniak 教授、德国 Kues 教授等国际权威专家多次在顶级期刊评述肯定项目成果，推动该领域研究格局由欧美主导转向中外协同创新，显著提升我国在 ONFH 诊疗领域的国际影响力。

（2）经济效益

创造显著经济价值

项目研发的髌关节国产关节手术机器人国内市场占有率达 30.3%，获 15 项三类医疗器械注册证，打破国外产品长期垄断，填补国内骨科高端装备技术空白。

带动产业链协同发展

新型髌关节假体及手术机器人近三年年销售额累计上缴税收近 2 亿元，直接吸纳就业 700 余人、培养医疗器械研发工程师 200 余人。成果转化带动医用材料研发（如 GPCL 材料）、精密机械制造、医疗服务、售后运维等上下游产业高速发展，形成“研发-生产-应用-服务”全链条创新生态，为长三角、珠三角等区域经济增长注入新动能。

释放多元间接效益

项目通过优化治疗方案（如机器人精准置换缩短手术时间）、降低并发症发生率（微创术式并发症率降至 5%）、加速患者术后康复，减少患者因病误工损失及重复治疗成本，每年为患者及

社会减少间接经济负担约 8 亿元。全方位减轻患者、医保及社会经济压力，形成“技术创新-成本下降-效益提升”的良性循环，彰显重大民生与经济双重价值。

该项目历经二十载深耕在 ONFH 诊疗领域构建覆盖预防、诊断、治疗、康复的全链条创新体系，既为千万患者带来健康福音，也推动我国骨科医学跻身国际第一方阵。项目成果的广泛应用，不仅创造显著经济社会效益，更树立“科技惠民、自主创新”的行业典范，为健康中国战略实施和医学科技强国建设提供有力支撑。未来，项目将持续深化技术创新与成果转化，推动 ONFH 诊疗技术向更精准、更高效方向发展，为守护人民骨骼健康作出新的更大贡献。

六、主要知识产权和标准规范等目录

1. 发明专利；一种股骨头全骨质病理取材装置；中国；授权号CN112155650B；授权日期2022年03月01日；证书编号CN112155650B；权利人：西安交通大学第二附属医院；发明人：杨佩、孔宁、田润、王坤正、李沂阳等。

2. 规范；股骨头坏死保髋治疗指南（2016版）；中国；DOI：10.3877/cma.j.issn.2096-0263.2016.02.001；授权日期2016年05月05日；证书编号：《中华老年骨科与康复电子杂志》2016年5月第2卷第2期；权利人：上海市第六人民医院；发明人：张长青、王坤正等。

3. 规范；成人股骨头坏死诊疗标准专家共识；中国；DOI：10.3969/j.issn.1674-1439.2012.02.018；授权日期2012年04月15日；证书编号：中国骨与关节外科（1674—1439(2012)02—）；权利人：大连大学附属中山医院；发明人：王坤正、张长青等。

4. 规范；非创伤性股骨头坏死中西医结合诊疗指南；中国；中西会发〔2023〕93号；授权日期2023年05月31日；证书编号：中国中西医结合学会、中华中医药学会、中华医学会；权利人：广州中医药大学第三附属医院、中日友好医院、天津医院；发明人：杨佩、王坤正、张长青、康鹏德等。

5. 其他；机器人辅助膝关节置换术；中国；ISBN：9787856592303；授权日期2021年05月13日；证书编号：北京大学医学出版社有限公司；权利人：北京大学第三医院、西安交通大学第二附属医院；发明人：杨佩、王坤正等。

6. 论文；An injectable self-adaptive polymer as a drug carrier for the treatment of nontraumatic early-stage osteonecrosis of the femoral head.；中国；DOI：10.1038/s41413-022-00196-y；授权日期2022年03月12日；证书编号：Bone Research（10, Article number: 28（2022））；权利人：西安交通大学第二附属医院；发明人：杨佩、王坤正、田润、孔宁、李沂阳、杨航、刘冠志、关焕帅、魏齐鲁、杜雪姍、雷雨田、李哲、曹若木、赵奕威等。

7. 论文；Robotic-assisted total knee arthroplasty is more advantageous for knees with severe deformity: a randomized controlled trial study design.；中国；Doi：10.1097/JS9.0000000000000002；授权日期2023年03月24日；证书编号：International Journal of Surgery（2023 Mar 24;109(3):287-296.）；权利人：西安交通大学第二附属医院；发明人：杨佩、田润、王坤正、孔宁、吕婧仪、段旭东、李新华、王健、田华、史占军、严世贵。

8. 论文；Prediction of early functional outcomes in patients after robotic-assisted total knee arthroplasty: a nomogram prediction

model; 中国; Doi: 10.1097/JS9.0000000000000563; 授权日期2023年10月01日; 证书编号: International Journal of Surgery (2023 Oct 1;109(10):3107-3116.); 权利人: 西安交通大学第二附属医院; 发明人: 杨佩、田润、王坤正、孔宁、李沂阳、张杰阳、赵奕威、曹若木、关焕帅。

9. 论文; Inhibition of PERK Signaling Prevents Against Glucocorticoid-induced Endotheliocyte Apoptosis and Osteonecrosis of the Femoral Head; 中国; doi: 10.7150/ijbs.35256; 授权日期2020年01月01日; 证书编号: International Journal of Biological Sciences (2020 Jan 1;16(4):543-552); 权利人: 上海交通大学附属第六人民医院; 发明人: 张长青、高燕春、朱鸿毅、王启阳、冯勇。

10. 论文; Immune regulation enhances osteogenesis and angiogenesis using an injectable thiolated hyaluronic acid hydrogel with lithium-doped nano-hydroxyapatite (Li-nHA) delivery for osteonecrosis; 中国; Doi: 10.1016/j.mtbio.2024.100976; 授权日期2024年01月28日; 证书编号: Materials Today Bio (2024 Jan 28;25:100976.); 权利人: 四川大学华西医院; 发明人: 康鹏德、罗悦、杨周元、赵新、李东海、李倩浩、杨伟、路瑶湾、孟恬。

七、主要完成人情况

1. 杨佩; 技术职称: 主任医师; 工作单位: 西安交通大学第二附属医院; 完成单位: 西安交通大学第二附属医院; 对本项目技术创造性贡献: 项目总负责人。承担项目的总体规划设计、研究框架构建、各参与单位任务分工与协调、研究进度把控及整体组织实施等工作。对项目中创新点1、2及3均做出重要贡献(附件1、19、21-24): 建立保髋外科治疗关键技术; 使用数智化与精准诊疗技术行关节置换, 并行多中心前瞻性随机对照试验; 研发

新型聚合物用于非创伤性早期股骨头坏死治疗。作为负责人牵头或参与制定了我国股骨头坏死诊疗领域的多项指南及专家共识（附件12-16）。

2. 王坤正；技术职称：主任医师；工作单位：西安交通大学第二附属医院；完成单位：西安交通大学第二附属医院；对本项目技术创造性贡献：该项目的主要参加人员。参与建立以带血管蒂游离腓骨移植为核心技术的系列保髋术式及评价，参与建立ONFH中国分期及分型临床评价；合作研发国人型假体及手术机器人系统（附件24），主持或参与制定我国股骨头坏死诊疗多项专家共识（附件1-3、9、12-16）。

3. 田润；技术职称：副主任医师；工作单位：西安交通大学第二附属医院；完成单位：西安交通大学第二附属医院；对本项目技术创造性贡献：该项目的主要参加人员。对项目中创新点1、2、3做出重要贡献（附件19、21-24）：参与保髋外科治疗关键技术的建立；使用数智化与精准诊疗技术于西安交通大学第二附属医院行关节置换。主持或参与制定了我国股骨头坏死诊疗领域的多项指南及专家共识。

4. 孔宁；技术职称：助理研究员；工作单位：西安交通大学第二附属医院；完成单位：西安交通大学第二附属医院；对本项目技术创造性贡献：参与完成项目主要研究内容，对项目中创新点2、3做出重要贡献，撰写并发表多篇论文（附件4-5、19、21、24）。

5. 李沂阳；技术职称：助理研究员；工作单位：西安交通大学第二附属医院；完成单位：西安交通大学第二附属医院；对本项目技术创造性贡献：参与完成项目主要研究内容，对项目中2、

3做出重要贡献,构建了一种3D打印技术的新型股骨头坏死动物模型(附件23),撰写并发表多篇论文(附件5、19、21、24)。

6. 王春生; 技术职称: 主任医师; 工作单位: 西安交通大学第二附属医院; 完成单位: 西安交通大学第二附属医院; 对本项目技术创造性贡献: 对项目中2、3做出重要贡献,参与保髋外科治疗关键技术的建立,发表多篇论文(附件10、20),参与制定我国股骨头坏死诊疗多项专家共识。

7. 张长青; 技术职称: 主任医师; 工作单位: 上海市第六人民医院; 完成单位: 上海市第六人民医院; 对本项目技术创造性贡献: 该项目的主要参加人员。对项目中创新点1、2做出重要贡献(附件6、26-27): 参与保髋外科治疗关键技术的建立; 使用数智化与精准诊疗技术于上海市第六人民医院行关节置换。参与制定了我国股骨头坏死诊疗领域的多项指南及专家共识(附件2-3、9)。

8. 康鹏德; 技术职称: 主任医师; 工作单位: 四川大学; 完成单位: 四川大学; 对本项目技术创造性贡献: 该项目的主要参加人员。对项目中创新点1、2做出重要贡献(附件7、28-29): 参与保髋外科治疗关键技术的建立; 使用数智化与精准诊疗技术于四川大学华西医院行关节置换。参与制定了我国股骨头坏死诊疗领域的多项指南及专家共识(附件9)。

9. 王建忠; 技术职称: 主任医师; 工作单位: 内蒙古医科大学; 完成单位: 内蒙古医科大学; 对本项目技术创造性贡献: 该项目的主要参加人员。对项目中创新点1、2做出重要贡献(附件11、30): 参与保髋外科治疗关键技术的建立; 使用数智化与精准诊疗技术于内蒙古医科大学第二附属医院行关节置换。参与制定了我国股骨头坏死诊疗领域的多项指南及专家共识。

10. 吕婧仪；技术职称：无；工作单位：杭州键嘉医疗科技股份有限公司；完成单位：杭州键嘉医疗科技股份有限公司；对本项目技术创造性贡献：对项目中3做出重要贡献，为整个项目进展过程中提供：1.临床需求转化，将手术中的难点、痛点等需求，转化为产品设计需求，为关节置换手术机器人等产品研发提供方向；2.产品研发测试，根据试验结果提出改进建议，提升产品性能；3.手术规划，包括术前规划、术中导航、术后评估等技术支持。

11. 刘城言；技术职称：医师；工作单位：西安交通大学第二附属医院；完成单位：西安交通大学第二附属医院；对本项目技术创造性贡献：参与项目实施，持续推进项目进展，对项目中创新点3做出重要贡献，参与撰写并发表多篇论文（附件19-20）。

12. 张杰闻；技术职称：医师；工作单位：西安交通大学第二附属医院；完成单位：西安交通大学第二附属医院；对本项目技术创造性贡献：主要对该项目第3创新点有重要贡献：参与机器人辅助全髋关节置换术治疗股骨头坏死的临床实施研究（附件5），主导机器人辅助全髋关节置换术后长期疗效评价的研究（附件19）。

13. 刘泽宇；技术职称：医师；工作单位：西安交通大学第二附属医院；完成单位：西安交通大学第二附属医院；对本项目技术创造性贡献：参与项目实施，持续推进项目进展，对项目中2、3做出重要贡献，参与撰写并发表多篇论文（附件20）。

14. 陈阳；技术职称：医师；工作单位：西安交通大学第二附属医院；完成单位：西安交通大学第二附属医院；对本项目技术创造性贡献：参与项目实施，持续推进项目进展，对项目中创新点2、3做出重要贡献，参与撰写并发表多篇论文（附件19-21）。

八、主要完成单位及创新推广贡献

1. 西安交通大学第二附属医院

作为本项目的主要完成单位，西安交通大学第二附属医院始终高度重视并积极推动骨科学科的建设与发展。二院骨科是国家重点专科（2010年）、陕西省首批医学重点学科（2000年）、陕西省骨科疾病临床医学研究中心（2015年）、教育部认定的国家级临床教学培训示范中心骨科基地（2018年），并获批国家卫生健康委员会首批“数字骨科技术创新示范中心”（2023年）。此外二院还承担多项国家及省部级重大科研项目，获卫生部科技进步三等奖、教育部科技进步一等奖、陕西省科技进步三等奖、陕西省高校科技奖一等奖等多项奖励，连续多年在复旦大学发布的西北地区医院专科声誉排行榜中位列骨科前列，在西北地区享有较高的学术影响力与临床声誉。在本项目的组织实施过程中，二院全面主持并参与了项目创新点1、2、3的研究设计与关键技术攻关，统筹推进成果的临床应用与转化推广工作。在项目推进过程中充分发挥资源整合与条件保障作用，在科研团队组建、设备采购与平台搭建、经费配套与管理等方面给予了充分支持，确保课题顺利实施和资金高效使用。同时，积极协调院内多学科资源，加强对项目进展的督导与总结，为课题的高质量完成提供了坚实的组织保障和制度支持。本单位已严格按照申报要求对所提交材料予以审核，确认所有研究数据、技术文件和成果内容真实、有效，相关证明材料与原始记录一致。项目完成人排序无异议，所有参与人员均无争议。

2. 上海市第六人民医院

作为本项目的合作完成单位，上海市第六人民医院一直大力支持骨科的学科建设。六院骨科是世界显微外科的发源地和“中国

手”的摇篮，是上海市重点学科（1994年）、上海市创伤临床医学中心（2001年）、教育部国家级重点学科（2007年）、卫生部国家临床重点专科（2010年）、上海市重中之重临床医学中心（2012年）、卫计委国家临床重点专科运动医学（2014年）、上海市“振龙头”类骨科临床重点专科（2018年），连续三年在中国医学科学院发布的中国医院科技影响力排行榜中居于骨外科学领域第一名。在本项目的组织实施过程中，上海市第六人民医院是项目主要参与单位，参与创新点1、2、3的研究及成果应用推广工作。依托单位始终关心项目的科研进程，在人力、设备、场地方面给予了大力支持，积极配合项目组对所需仪器的购买和管理，保证课题经费的合理实用，负责组织协调研究人员的落实、课题的进展及总结，为本项目的顺利完成提供了坚实的保障。本单位已按申报要求核实所填内容，所有数据和资料均属真实可靠，所提交材料与归档原始材料相符。此外，不存在人员排序等争议。

3. 四川大学

作为本项目的主要完成单位，四川大学华西医院一直大力支持骨外科的学科建设。为本研究的顺利开展与成果转化提供了至关重要的学术支持、技术支撑和临床资源保障。华西医院骨科是国家教育部重点学科、国家卫生健康委临床重点专科，是中国医师协会骨科专科医师培训中心，并担任国家卫生健康委加速康复外科骨科试点专家组办公室及首批试点医院。近五年，在复旦大学医院管理研究所《中国医院专科综合排行榜》中稳居全国前列。科室近年来承担国家级、省部级科研项目近200项，总经费过亿元，其中包括国家重大专项课题7项、国家级课题47项，并获教育部科技进步一等奖、卫生部科技进步三等奖及多项省部级科技奖励。在本项目的组织实施过程中，四川大学是项目主要参与单位，参

与创新点1、2、3的研究及成果应用推广工作，充分发挥其在骨科生物力学研究、智能手术规划、先进材料植入体开发及多模态成像分析等方面的科研平台与临床资源优势，深度参与了项目中关键技术的验证、优化及临床应用评价工作。医院还依托数字骨科工程中心等跨学科平台，积极推进医工交叉融合与临床转化研究，为本项目相关技术创新提供了重要的数据支持和实验保障。本单位已按申报要求核实所填内容，所有数据和资料均属真实可靠，所提交材料与归档原始材料相符。此外，不存在人员排序等争议。

4. 内蒙古医科大学

内蒙古医科大学第二附院关节外科成立于2001年，是自治区成立最早、规模最大的骨关节疾病诊疗中心。在股骨头坏死诊疗领域建立了系统性技术优势。学科依托高水平医教研平台，组建了专注于关节疾病研究的临床及研究团队，相关技术标准被纳入行业指南，成果获国家级与省部级科技奖励，在我国关节疾病诊疗领域的发挥重要的引领作用。在本项目的组织实施过程中，内蒙古医科大学是项目主要参与单位，参与创新点1、2的研究及成果应用推广工作。依托单位始终关心项目的科研程，在人力、设备、场地方面给予了大力支持，积极配合项目组对所需仪器的购买和管理，保证课题经费的合理实用，负责组织协调研究人员的落实、课题的进展及总结，为本项目的顺利完成提供了坚实的保障。本单位已按申报要求核实所填内容，所有数据和资料均属真实可靠，所提交材料与归档原始材料相符。此外，不存在人员排序等争议。

5. 杭州键嘉医疗科技股份有限公司

作为本项目的合作完成单位，杭州键嘉医疗科技股份有限公司长期深耕骨科手术机器人医疗器械研发转化工作。企业聚焦关

节外科临床器械研发，面向骨科临床真实需求开展医工交叉产品开发，具备完整的医疗器械设计、样机测试、技术验证体系。在本项目组织实施过程中，本单位作为主要企业合作单位，深度参与项目全过程研发与成果转化工作。立足临床实际场景开展临床需求转化工作，提炼关节置换手术过程中的技术难点与临床痛点，将临床诉求转化为明确的产品设计需求，为关节置换手术机器人等相关产品研发指明技术方向。承担产品样机研发测试任务，开展多轮试验验证，依据试验结果输出产品迭代改进建议，持续优化、提升整机产品性能。提供手术全链条技术支撑，完成术前规划、术中导航、术后评估等相关技术支持工作，打通临床需求-产品开发-技术验证的转化链路，有力支撑项目创新技术落地实施。本单位在样机研制、试验场地、工程技术人员配置等方面给予项目大力保障，积极配合课题组开展各项验证工作，保障相关研发任务有序推进。本单位已按申报要求核实所填内容，所有数据和资料均属真实可靠，所提交材料与归档原始材料相符。此外，不存在人员排序等争议。

九、完成人合作关系说明

完成人合作关系情况汇总表

1. 合作方式：共同参与制定标准规范；合作者/项目排名：杨佩、王坤正、张长青、康鹏德；合作起始时间：2012-01；合作完成时间：2023-08；合作成果：非创伤性股骨头坏死中西医结合诊疗指南；证明材料：必备附件-主要知识产权和标准规范等目录第1项。

2. 合作方式：共同参与制定标准规范；合作者/项目排名：王坤正、张长青；合作起始时间：2010-01；合作完成时间：2012-04；

合作成果：成人股骨头坏死诊疗标准专家共识；证明材料：其他-附件2。

3. 合作方式：共同参与制定标准规范；合作者/项目排名：王坤正、张长青；合作起始时间：2005-01；合作完成时间：2016-08；合作成果：股骨头坏死保髋治疗指南（2016版）；证明材料：其他-附件3。

4. 合作方式：共同参与制定标准规范；合作者/项目排名：王坤正、张长青、康鹏德；合作起始时间：2006-01；合作完成时间：2015-06；合作成果：Guideline for Diagnostic and Treatment of Osteonecrosis of the Femoral Head；证明材料：其他-附件9。

5. 合作方式：共同参与制定标准规范；合作者/项目排名：杨佩、王坤正；合作起始时间：2018-01；合作完成时间：2022-08；合作成果：髋膝关节置换术操作规范；证明材料：其他-附件12。

6. 合作方式：共同参与制定标准规范；合作者/项目排名：杨佩、王坤正；合作起始时间：2011-01；合作完成时间：2021-12；合作成果：中国髋关节置换入路选择临床实践指南（2021年版）；证明材料：其他-附件13。

7. 合作方式：共同参与制定标准规范；合作者/项目排名：杨佩、王坤正；合作起始时间：2019-12；合作完成时间：2020-02；合作成果：新型冠状病毒肺炎相关股骨头坏死防治的快速临床建议；证明材料：其他-附件14。

8. 合作方式：共同知识产权；合作者/项目排名：杨佩、孔宁、李沂阳、田润、王坤正；合作起始时间：2018-01；合作完成时间：2021-01；合作成果：一种新型股骨头全骨质病理取材装置；证明材料：必备附件-主要知识产权和标准规范等目录第3项。

9. 合作方式：专著合著；合作者/项目排名：杨佩、王坤正；合作起始时间：2017-01；合作完成时间：2021-01；合作成果：机器人辅助髌膝关节置换术；证明材料：其他-附件1。

10. 合作方式：专著合著；合作者/项目排名：杨佩、王坤正；合作起始时间：2016-01；合作完成时间：2020-07；合作成果：图解髌关节置换手术操作与技巧；证明材料：其他-附件15。

11. 合作方式：专著合著；合作者/项目排名：杨佩、王坤正；合作起始时间：2014-01；合作完成时间：2019-06；合作成果：微创人工髌、膝关节置换实用手术技术与快速康复；证明材料：其他-附件16。

12. 合作方式：专著合著；合作者/项目排名：王坤正、张长青；合作起始时间：2015-01；合作完成时间：2022-12；合作成果：运动系统；证明材料：其他-附件17。

13. 合作方式：论文合著；合作者/项目排名：杨佩、孔宁、李沂阳、田润、王坤正；合作起始时间：2017-01；合作完成时间：2022-05；合作成果：An injectable self-adaptive polymer as a drug carrier for the treatment of non-traumatic early-stage osteonecrosis of the femoral head；证明材料：必备附件-主要知识产权和标准规范等目录第2项。

14. 合作方式：论文合著；合作者/项目排名：杨佩、田润、孔宁、王坤正；合作起始时间：2017-01；合作完成时间：2023-05；合作成果：Robotic-assisted total kneearthroplasty is more Advantageous for knees with severe deformity: a randomized controlled trial study design；证明材料：其他-附件4。

15. 合作方式：论文合著；合作者/项目排名：杨佩、张杰闻、孔宁、李沂阳、田润、王坤正；合作起始时间：2017-01；合作完

成时间：2023-04；合作成果：Prediction of early functional outcomes in patients after robotic-assisted total knee arthroplasty: A nomogram prediction model；证明材料：其他-附件5。

16. 合作方式：论文合著；合作者/项目排名：杨佩、樊立宏、王春生、王坤正；合作起始时间：2009-01；合作完成时间：2014-09；合作成果：Protective effects of necrostatin-1 on glucocorticoid-induced Osteoporosis in rats；证明材料：其他-附件10。

17. 合作方式：论文合著；合作者/项目排名：王坤正、王建忠；合作起始时间：2006-01；合作完成时间：2008-10；合作成果：激素性股骨头坏死患者股骨头骨组织骨保护素NF-kB受体活化因子配基mRNA表达；证明材料：其他-附件11。

18. 合作方式：论文合著；合作者/项目排名：杨佩、田润、王坤正；合作起始时间：2017-01；合作完成时间：2024-01；合作成果：Associations of postoperative outcomes with geriatric nutritional risk index after conventional and robotic-assisted total knee arthroplasty:a randomized controlled trial；证明材料：其他-附件18。

19. 合作方式：论文合著；合作者/项目排名：杨佩、张杰闻、刘城言、陈阳、王坤正、王春生、田润；合作起始时间：2019-01；合作完成时间：2024-09；合作成果：A comprehensive predictive model for postoperative joint function in robot-assisted total hip arthroplasty patients: combining radiomics and clinical indicators；证明材料：其他-附件19。

20. 合作方式：论文合著；合作者/项目排名：杨佩、刘泽宇、张杰闻、刘城言、陈阳、王坤正、王春生、田润；合作起始时间：

2020-01; 合作完成时间: 2024-06; 合作成果: **Three-gene signature revealing the dynamics of lymphocyte infiltration in subchondral bone during osteoarthritis progression**; 证明材料: 其他-附件20。

21. 合作方式: 论文合著; 合作者/项目排名: 杨佩、张杰闻、陈阳、孔宁、李沂阳、王坤正、田润; 合作起始时间: 2020-01; 合作完成时间: 2024-01; 合作成果: **Bioinformatic analysis of related immune cell infiltration and key genes in the progression of osteonecrosis of the femoral head**; 证明材料: 其他-附件21。

22. 合作方式: 论文合著; 合作者/项目排名: 杨佩、田润、王坤正; 合作起始时间: 2017-01; 合作完成时间: 2022-03; 合作成果: **Osteogenesis-Related Long Noncoding RNA GAS5 as a Novel Biomarker for Osteonecrosis of Femoral Head**; 证明材料: 其他-附件22。

23. 合作方式: 论文合著; 合作者/项目排名: 杨佩、李沂阳、张杰闻、田润; 合作起始时间: 2020-01; 合作完成时间: 2023-06; 合作成果: **A novel animal model of osteonecrosis of the femoral head based on 3D printing technology**; 证明材料: 其他-附件23。

24. 合作方式: 论文合著; 合作者/项目排名: 杨佩、田润、孔宁、李沂阳、王坤正; 合作起始时间: 2021-01; 合作完成时间: 2024-07; 合作成果: **A new seven-axis robotic-assisted total hip arthroplasty system improves component positioning: a prospective, randomized multicenter study**; 证明材料: 其他-附件24。

25. 合作方式: 论文合著; 合作者/项目排名: 樊立宏、王坤正; 合作起始时间: 2018-01; 合作完成时间: 2021-11; 合作成果: **Resveratrol prevents steroid-induced osteonecrosis of the femoral head via miR-146a modulation**; 证明材料: 其他-附件25。