

· 指南与共识 ·

骨科领域“十大创新方向”中国专家共识 (2025 年)

国家骨科医学中心骨科领域“十大创新方向”专家组

【摘要】随着全球人口老龄化进程加速与运动损伤发生率持续攀升,骨骼肌肉疾病已成为导致全球人群残疾与生活质量下降的首要原因之一,为社会带来沉重的医疗与经济负担。我国作为世界上老年人口最多的国家,正面临着骨质疏松性骨折、骨关节炎、脊柱退行性病变等慢性骨病带来的严峻挑战。与此同时,全民健身战略的深入推进使得运动损伤人群基数不断扩大,对骨科诊疗的精准化、微创化与智能化提出了更高要求。为积极响应并践行“健康中国 2030”规划纲要,系统应对骨科领域发展瓶颈,国家骨科医学中心联合全国顶尖骨科临床机构、高等科研院所及前沿医疗企业,汇聚跨学科智慧,历经多轮严谨的征集、研讨与凝练,最终形成骨科“十大创新方向”共识。本共识严格遵循前瞻性、创新性、科学性 & 可行性的核心原则,全面覆盖从疾病早期筛查、智能诊断、精准治疗、个性化康复到创新技术规范化应用的全链条创新体系。十大方向深度融合人工智能、机器人技术、生物材料、再生医学、大数据等前沿科技,旨在为我国骨科领域未来三至五年的基础研究布局、关键技术攻关、临床转化路径与产业融合发展提供清晰的战略指引与行动框架,助力提升我国骨科整体诊疗水平与创新效能。

【关键词】骨科疾病; 人工智能; 手术机器人; 打印, 三维; 生物相容性材料; 细胞疗法; 组织工程; 微创与无创技术; 精准医疗; 智能康复; 老年骨病; 卫生经济学; 创新技术规范化

基金项目:北京市骨科创新医疗器械概念验证平台建设项目 (20250481276)

【中图分类号】 R68 **【文献标志码】** A

Expert consensus on the "Top Ten Innovative Directions" in orthopedics in China (2025)

Expert Group on the Top Ten Innovative Directions in Orthopedics, National Orthopedics Medical Center

Corresponding author: Jiang Xieyuan, Beijing Jishuitan Hospital, Capital Medical University, National Orthopedics Medical Center, Beijing 100035, China. E-mail: jxy0845@sina.com

【Abstract】With the accelerated aging of the global population and the rising incidence of sports injuries, musculoskeletal disorders have become one of the leading causes of disability and impaired quality of life worldwide, imposing a heavy medical and economic burden on society. As the country with the largest elderly population in the world, China is facing severe challenges posed by chronic musculoskeletal condition such as osteoporotic fractures, osteoarthritis, and spinal degenerative disorders. Concurrently, the deepening implementation of the national fitness strategy has significantly expanded the population base affected by sports injuries, placing higher demands for precision, minimal invasiveness, and intelligentization in orthopaedic diagnosis and treatment. In active response to and implementation of the "Healthy China 2030" blueprint, and to systematically address development bottlenecks in the orthopaedic field, the National Orthopedics Medical Center collaborated with leading national orthopaedic clinical institutions, advanced research institutes, and cutting-edge medical enterprises. By integrating interdisciplinary expertise and undergoing multiple rigorous rounds of solicitation, discussion, and refinement, the consensus on the "Top Ten Innovative Directions" in orthopaedics was ultimately formulated. This consensus strictly adheres to the core principles of being forward-looking, innovative, scientific, and feasible, comprehensively covering an end-to-end innovation system from early disease screening, intelligent diagnosis, and precision treatment to personalized rehabilitation and the standardized application of innovative technologies. The ten directions deeply integrate cutting-edge technologies such as artificial intelligence, robotics, biomaterials, regenerative medicine, and big data. They aim to

DOI: 10. 19548/j. 2096-269x. 2026. 02. 001

通信作者: 蒋协远, 100035 首都医科大学附属北京积水潭医院 国家骨科医学中心, E-mail: jxy0845@sina.com

provide clear strategic guidance and an action framework for basic research planning, key technology breakthroughs, clinical translation pathways, and industrial integration development in China's orthopaedic field over the next three to five years, thereby helping to enhance the overall level of diagnosis, treatment, and innovation efficiency in Chinese orthopaedics.

【Keywords】 Orthopaedic diseases; Artificial intelligence; Surgical robots; Printing, three-dimensional; Biocompatible materials; Cell therapy; Tissue engineering; Minimally invasive and non-invasive techniques; Precision medicine; Intelligent rehabilitation; Geriatric bone diseases; Health economics; Standardization of innovative technologies

Fund program: Beijing Orthopedic Innovative Medical Device Concept Verification Platform Construction Project (20250481276)

健康的骨骼肌肉系统是维系人类运动功能、保障独立生活能力与提升生存质量的基石。在我国,随着社会人口结构趋向老龄化,与年龄密切相关的骨科疾病,如骨质疏松症及其引发的脆性骨折、骨关节炎等,其患病率正呈现显著的增长态势^[1]。此外,在全民健身战略深入推进的背景下,全民参与体育运动的热情日益高涨,运动损伤的发生率也同步上升,前交叉韧带损伤、肩袖损伤、半月板损伤等已成为运动医学的常见病^[2]。这些疾病不仅给患者带来持续的疼痛与功能障碍,严重降低生活质量,亦对家庭照护、医疗保障体系及社会生产力造成了巨大压力^[3]。当前骨科临床实践仍面临诸多亟待突破的瓶颈:在预防层面,针对骨质疏松、肌少症等高发性骨骼肌肉疾病的早期筛查体系尚不完善,医疗机构缺乏高效、便捷的精准风险评估工具,疾病防控关口前移不足^[4];在诊断层面,传统影像学检查高度依赖医师经验,对早期、不典型病变的识别灵敏度不足,缺乏与人工智能相结合客观、量化的评估标准^[5];在治疗康复层面,传统手术较多,基于人工智能(artificial intelligence, AI)和手术机器人的治疗仍待发展,个性化治疗手段仍显匮乏,部分抗感染内置物材料效果不明确、骨愈合不理想等问题^[6-7];在技术转化层面,诸多前沿技术如手术机器人、3D打印、生物材料等,尚缺乏系统化的临床验证路径与统一的疗效评价标准,制约了其规模化、规范化应用^[8]。科技创新已成为驱动骨科领域发展的核心引擎,以人工智能、机器人技术、生物制造、再生医学为代表的新一轮科技革命,为骨科疾病的预防、诊断、治疗与康复带来了前所未有的机遇。为此,国家骨科医学中心牵头组织“十大创新方向”共识的制定工作,旨在凝聚全国同道的智慧,明确未来创新的重点路径,引导科研资源优化配置,加速创新成果的临床转化与产业落地,最终服务于国家重大卫生战略需求,提升全民骨骼健康水平。

一、“十大创新方向”中国专家共识形成路径与方法学

1. 创新方向征集与专家构成:通过定向邀请与公开征集相结合的方式,面向全国范围内的骨科临床专家、科研学者、高等院校研究团队及医疗企业研发人员广泛征集创新方向建议。最终,共收到来自 40 家重点医疗机构、6 所高等院校及 12 家医疗企业的 158 份推荐文件,经形式审查后有效文件为 153 份。参与专家共计 118 位,涵盖了脊柱、关节、创伤、运动医学、骨肿瘤、手足外科、骨质疏松等多个亚专业领域,确保了建议的广度与深度。

2. 创新方向遴选标准:成立编委会,对征集到的方向建议进行多轮审议与分类。方向的入选标准:(1)前瞻性:代表骨科领域未来发展趋势,针对具有重大临床需求或潜在技术变革的领域;(2)创新性:与现有技术或方法相比具有显著突破,能够切实解决临床痛点,提升诊疗水平;(3)科学性:基于坚实的科学理论与临床实践,研究路径清晰,目标明确;(4)可行性:具备一定的研究基础或技术储备,在未来 3~5 年内有实现临床转化或技术突破的潜力。将 153 份有效征集方向进行归类,经过多轮分类和讨论,初步将 153 份征集方向归纳为“骨科机器人”、“骨科 AI”、“生物材料与再生医学”、“智能系统与康复管理”、“老年骨科”等候选方向。随后,编委会进一步梳理逻辑关系,合并重叠领域,提炼核心主题,初步架构出一级方向(十大方向)与二级方向(子方向)的框架。

3. 文献查询与专家咨询:为确保共识的前瞻性与完整性,编委会系统检索了近五年国际医学和骨科领域顶级期刊(The Lancet、JAMA、BMJ、NEJM、JBJS、AJSM、PPS、Spine)和主要国家科技战略规划政策文件。通过文献和政策分析,发现初始征集的方向多集中于具体技术研发,而对创新技术从实验室走向临床广泛应用的共性支撑体系——即“创新

技术应用规范化”关注不足。据此,编委会依据文献证据,提议增设“骨科创新技术应用规范化研究”创新方向,并详细阐述了其包含的临床研究、评价体系与卫生经济学3个子方向,使整个创新体系更为完整和可持续。基于整合后的“骨科十大创新方向”初稿,编委会遴选了25位专家组成咨询专家组。专家构成包括:资深临床专家、前沿科学学者、医疗企业研发负责人及卫生政策专家等。通过专家咨询问卷,邀请专家们对每个方向的前瞻性、创新性、科学性和可行性进行了评分(采用9分制评分表,1分为最低,9分为最高),所有十大方向在四个维度的算术平均值均高于7分,并提出了详尽的修改与补充意见。根据专家咨询的统计结果与文本意见,编委会对方向表述、研发重点进行了优化与聚焦,形成了修订稿。

4. 意见征询:将专家咨询后修订的共识稿,以面对面访谈或电话访谈的方式,再次定向呈送给全国范围内34位具有代表性的骨科领域权威专家进行最终审核,包括两院院士、学科带头人、国家重大项目负责人、临床知名专家及创新企业首席科学家等。根据反馈意见,编委会进行精细化修订与完善,由编委会审定,形成终稿。

二、骨科十大创新方向

方向一、骨科疾病的AI辅助诊疗

本方向聚焦于AI技术在骨科诊疗中的变革性应用,围绕骨科影像分析、诊断、治疗和术后康复管理等临床诊疗流程,通过开发多模态数据融合平台、智能分析算法、个性化决策系统等,实现骨科临床诊疗的智能化、客观化和精准化发展,推动医疗资源下沉和临床诊疗模式的未来转型^[9-11]。

1. AI驱动的骨科影像分析与诊断:构建覆盖运动系统典型疾病(畸形、创伤、退变和肿瘤等)的多模态影像数据库,并研发针对微细骨折线识别、软骨厚度测量、肿瘤分割等关键场景的自动化检测与定量分析工具;通过推动AI技术与临床诊疗系统深度集成,并开展多中心临床验证,最终实现从主观经验性阅片向客观定量化、智能化诊断的模式转变。

2. AI辅助骨科疾病筛查与早期检测:建立融合影像、临床病历、骨密度及生物标志物等多维度信息的大规模纵向数据库,并研发能够识别早期骨质疏松、骨关节炎前驱征象及隐匿性感染的智能早筛算法;通过开发适用于基层的边缘计算轻量化模型,并借助联邦学习构建多中心协作平台,推动骨

科疾病防控关口前移,实现疾病的早期发现与干预。

3. 多模态数据融合用于骨科疾病全流程诊疗决策与支持:建立覆盖术前、术中、术后全流程的数据标准化与质控体系,突破多模态影像、导航点云及生物力学参数的空间与语义对齐技术;在此基础上,构建融合深度学习与知识图谱的智能推理系统,为手术规划、并发症预警提供决策支持,并通过特征可视化增强其可解释性,实现诊疗全周期的动态化、智能化决策。

方向二、骨科手术机器人研发

本方向着眼于医疗机器人对提高骨科手术操作效率和操作精度的重要价值,围绕现有机器人自主能力不足、规模化推广滞后等问题,拟通过智能决策、精准操控、人机协同、通用平台开发等多维度核心技术创新,构建覆盖骨科全场景的机器人技术体系,最终实现手术自主化、标准化、精准化及数智化,推动骨科手术机器人从“辅助定位工具”向“智能手术主体”范式转变^[12-13]。

1. 手术规划智能决策与导航系统:发展基于多模态影像数据的高精度患者三维解剖模型自动生成技术,并利用AI算法进行个体化手术路径规划与仿真优化;同时,研发基于扩展现实技术的术中导航与动态配准系统,实现虚拟规划信息与真实术野的精准叠加与实时追踪,从而提升手术的预见性、精准度和安全性。

2. 自主与半自主协同控制系统:构建整合影像、力学与生理信号的多模态感知框架,以实时解析术区环境并识别术者操作意图;通过开发基于强化学习的自主任务调度与异常应对机制,并建立自然流畅的人机交互接口,使机器人在复杂手术中能与术者形成“共享控制”模式,显著提升手术的自主性、安全性与操作效率。

3. 精准骨钻切的微创机器人系统:研发具备高刚度、多自由度的微型机械臂及模块化手术工具,以满足微创手术对空间与精度的苛刻要求;通过集成高精度力觉传感与柔顺控制算法,使机器人能根据骨材质地差异动态调整切削参数,并在临近神经血管等高风险区域自动切换至柔性保护模式,从而实现安全、精准、稳定的精细骨操作。

4. 通用型平台与应用拓展:开发可适配脊柱、关节、创伤等多亚专科的模块化通用机器人平台,通过统一机械接口与可重构软件降低医院成本;并

探索将其功能向术前智能评估与术后康复管理延伸,构建覆盖筛查、诊断、治疗、康复全流程的骨科机器人诊疗体系,推动技术下沉与普及。

方向三、个性化 3D 打印骨科植入物

本方向聚焦于 3D 打印技术在实现个性化精准医疗的重要应用价值,针对骨科关节重建、肌骨缺损修复等复杂病例的精准化与个性化诊疗需求,通过人工智能、材料学和组织工程学等多学科交叉融合,重点攻关智能化三维结构设计与制造策略、功能化生物材料开发与仿生化植入体制造等技术,提高 3D 打印植入物的多向兼容性和高功能性,推动骨科医疗植入物向个性化、精准化和功能化方向发展^[14-15]。

1. 多重适配个性化 3D 打印骨科植入物设计与制造:建立融合国人解剖学、运动学与力学特性的多源信息数据库,为植入物设计提供数据支撑;利用深度学习与数字孪生技术对植入物的宏观形态、微观多孔结构及力学性能进行智能化仿真与优化;同时研发多材料复合打印工艺,集成药物控释与生物活性因子,实现植入物在解剖匹配、力学适配与生物整合上的多重性能提升。

2. 3D 打印骨科植入物治疗复杂骨缺损的智能研制与植入新技术:利用 AI 技术对复杂骨缺损进行三维重建与智能设计,开发模拟天然骨梯度结构的仿生多材料植入体,并赋予其抗菌、促血管生成等复合功能;结合患者特异性导板与手术机器人,实现植入物的精准匹配与安放,并开发智能响应支架以动态适应骨愈合过程中的力学环境变化,最终实现复杂缺损的功能性重建。

3. 3D 打印与生物力学优化相结合的智能植入物研发:建立基于国人骨骼特性的力学优化设计标准,指导个性化假体的材料选择与结构设计;通过开发负载活性成分的多功能表面涂层,提升植入物的骨整合能力与抗感染性能;并探索将柔性传感器嵌入植入物内部,实现其在体力学状态的实时监测与反馈,推动植入物向“结构-功能-监测”一体化的智能方向发展。

方向四、新型骨科生物材料与器件的设计制造

本方向侧重于骨科领域新型生物材料的研发与应用,重点通过新型表面改性技术、仿生工程制造以及可降解材料开发,系统提升骨科材料的生物相容性,从而提高器件植入后的骨整合效率;结合智能响应型材料,提升骨植入物在骨重建过程中的主动干预性能与预后监测水平,推动骨科生物材料

向功能复合、结构仿生、可控降解以及智能调控的方向发展^[16-17]。

1. 新型材料与生物相容性提升:通过表面纳米涂层、微弧氧化等改性技术,在植入物表面构建兼具抗菌、促成骨及免疫调控功能的多效界面;同时开发高生物相容性的新型锆钛合金等金属材料,并探索将柔性传感与智能响应水凝胶整合至植入物中,实现对局部微环境的实时监测与动态干预,全面提升植入物的生物相容性与长期稳定性。

2. 仿生骨材料的设计与制造:利用计算机仿真与先进制造工艺,模拟天然骨的梯度孔隙与“软-硬”界面结构,制备具有优化应力分布的多孔金属、陶瓷及高分子仿生支架;通过在材料表面引入仿生矿化层及生物活性因子,赋予其抗炎、促血管生成与骨诱导能力,并整合信号响应材料构建外部可控的反馈系统,主动调控骨修复进程。

3. 生物降解材料的研发与制造:系统研究可降解镁合金、锌合金及高分子材料在体内的降解机理与新骨生成规律,建立“降解-力学-生物学”性能耦合模型;以此为指导,设计制备降解速率与骨愈合进程相匹配的骨钉、骨板等内置物,并开发具有多孔结构及药物控释功能的仿生复合支架,实现材料可控降解与组织再生修复的协同进行。

4. 抗感染假体的智能化表面设计:研发负载银、铜、锌等抗菌金属离子或骨整合因子的多孔陶瓷、水凝胶等新型涂层,通过表面拓扑结构与释放模式调控实现长效抗菌与成骨促进的协同;同时,开发能响应感染微环境标志物的生物传感器,并与超声激活、电磁触发等外部刺激系统联动,构建可感知感染并精准反馈杀菌的智能抗感染表面。

方向五、骨科细胞治疗与组织再生技术

本方向聚焦于再生医学前沿技术在骨科中的突破性进展,重点围绕合成生物学、干细胞及其衍生物、生物材料和类器官在骨组织再生修复和功能重建中的应用潜力,结合细胞重编程、免疫或代谢调控、3D 打印和组织工程等新兴技术,通过引入个性化功能替代结构、激活机体自我修复潜能,推动骨科疾病治疗策略从“外源干预”向“自体修复”转变^[18-19]。

1. 基于干细胞的骨与软组织再生技术:聚焦临床来源于干细胞(脐带、骨髓和脂肪等)间充质干细胞、诱导多能干细胞,探索理化因素刺激、生物因子干预和基因编辑改造等策略优化干细胞的成骨分化效率与存活率;结合 3D 打印与微纳加工技术,构建

具有梯度孔隙和匹配力学性能的可降解仿生支架,以支持干细胞的黏附、增殖与分化;并开发可调控局部免疫与血管化微环境的响应性水凝胶,协同增强干细胞在复杂肌骨缺损中的再生修复效果。

2. 组织工程与 3D 生物打印在骨修复中的应用:利用 3D 生物打印技术,精确排布细胞、生物因子及材料,构建模拟骨-软骨等连续界面的梯度结构支架;通过引入血管生成因子、免疫调节细胞及压电材料等活性组分,在支架内部形成协同诱导的微环境,实现对复杂骨界面缺损的一体化再生修复,突破传统单层修复技术的局限。

3. 类器官技术在骨科疾病研究中的应用:利用干细胞的自组织能力或人工组装技术,构建具备骨、软骨、血管等多细胞组成及生理微环境的骨科类器官模型;通过引入动态力学刺激与特定生长因子,提升类器官的生理相关性,并将其应用于遗传性骨病、骨肿瘤的发病机制研究、药物筛选与个体化治疗策略评估,为新疗法开发提供高通量、高保真的体外平台。

方向六、罕见、遗传性骨病精准诊疗和多组学技术应用

本方向侧重精准医学理念指导下骨科临床诊疗技术的创新发展,旨在通过融合多组学测序、生物大数据分析以及基因编辑、细胞编辑、靶向药物研发等相关技术,围绕骨科疾病的早期诊断、分子分型、个体化治疗及预后评估等环节,制定精准预防、精准诊断和精准个体化治疗方案,提高罕见骨病、遗传性骨病以及难治性骨病的预防和诊治效率^[20-21]。

1. 组学技术解析疾病机制与精准诊断:整合基因组、转录组、蛋白组等多组学数据与临床信息,构建高质量数据库,并利用 AI 深度学习模型实现对罕见、遗传性骨病的早期识别与分子分型;通过在患者来源的类器官模型中重构并验证关键致病突变,将研究成果转化为便携式基因芯片或多标志物检测系统,提升此类疾病的精准诊断与早期筛查能力。

2. 基因疗法与免疫疗法在骨科精准医疗中的应用:利用单细胞与多组学技术解析遗传性骨病、骨与关节退行性病变以及骨肿瘤的细胞微环境与致病通路,为精准干预提供靶点;开发适用于骨组织的新型病毒与非病毒靶向递送系统,并运用 CRISPR(成簇规律间隔短回文重复序列)等基因编辑工具修复致病基因或导入治疗性基因;同时探索 CAR-T(嵌合抗原受体 T 细胞)、CAR-NK(嵌合抗原受体自然杀伤细胞)

等免疫细胞疗法及免疫检查点抑制剂在骨科领域的应用,从分子与细胞层面开创治疗新范式。

3. 骨肿瘤的个体化诊疗与药物开发:通过整合多组学数据构建骨肿瘤的分子分型体系与 AI 风险预测模型;利用患者来源的骨肿瘤类器官模型,保留原发肿瘤特性,进行高通量药物筛选以指导临床用药;并针对驱动突变及表观遗传异常,开发 lncRNA 干预工具、RNA 小分子药物等新型靶向治疗策略,实现骨肿瘤的个体化精准诊疗与疗效提升。

方向七、骨与运动医学个性化智能康复

本方向依托于人工智能技术加强骨科康复医疗服务体系的数字化转型,尤其是利用 AI 驱动的运动损伤风险预测与个性化干预平台、数字化康复平台以及智能可穿戴设备等,满足骨科临床患者的精准康复管理需求^[22-23]。

1. AI 驱动的运动损伤风险预测与个性化干预:融合可穿戴设备、运动捕捉与临床数据,构建个性化的运动数字孪生模型;利用 AI 算法实时分析运动姿态、负荷等数据,识别跌倒、肌肉拉伤等风险前兆,并基于个体生理状态与训练反馈动态生成预警信息与干预方案,形成从风险识别到动态调控的智能化损伤预防闭环。

2. 骨与运动医学的数字化康复平台:打通医院与家庭康复数据链条,构建覆盖术前至术后全周期的专病数据中心;开发基于 AI 的康复特征提取与处方生成算法,根据患者实时训练表现与临床反馈,动态调整康复方案;并集成可穿戴传感与远程指导功能,形成“评估-反馈-调整-执行”的智能化、个性化康复管理闭环。

3. 智能康复系统和可穿戴设备的开发:研发集成心率、肌电、关节运动等多参数监测的柔性电子可穿戴设备,提升佩戴舒适性与信号准确性;应用自适应滤波与 5G 通信技术,实现康复数据的实时上传、清洗与分析,构建医患共享的远程康复管理平台,支持康复处方的远程动态调整与精准指导,优化康复资源配置。

方向八、新型微创与无创诊疗器械创新

本方向聚焦微创和无创诊疗技术在骨科中的应用与突破,通过高分辨率成像技术提升病灶识别与术中定位的精准性;同时,依托柔性或可降解材料开发的微创和无创介入器械增强诊疗的安全性及微创性;结合外源驱动肢体延长等新技术,逐步构建侵入性更低、功能保全性更强、临床适应性更

广的骨科无创诊疗体系及微创化水平^[24-25]。

1. 微创手术器械研发与手术技术创新:开发超高清、超微型内窥镜系统以及基于镍钛合金的可控弯曲导向器械,以提升术中视野与操作灵巧性;同时研发可降解锚钉、螺钉等内置物,避免二次手术,并集成动力装置与病灶示踪模块,实现精准切除;配套制定标准化术式流程与模拟训练体系,推动微创技术在各级医院的规范化应用。

2. 无创诊疗设备的研究与临床应用:研发高分辨率超声、光声成像等新型无创成像设备,用于骨质疏松、应力性损伤的早期诊断;同时优化低强度脉冲超声、体外冲击波、脉冲电磁场等无创治疗设备的能量输出与靶向控制,提升骨愈合与疼痛治疗的疗效稳定性;并开发集成肌电监测与电刺激的闭环康复装置,实现神经肌肉功能的个体化精准调控。

3. 基于外源驱动的肢体或脊柱延长系统:突破国外技术垄断,研发具有自主知识产权的新型磁控生长棒;通过采用高强度永磁材料与优化磁力传动结构,实现通过体外磁场遥控完成内置物的安全、持续延长,用于治疗儿童脊柱侧凸、肢体不等长等畸形,避免多次手术,显著改善患者生活质量。

方向九、老年相关骨病的预防和治疗

本方向立足人口老龄化背景,专注于骨质疏松、肌少症、骨关节炎等老年高发骨病的防控与管理,围绕早期预防、精准治疗与全周期康复,融合大数据与AI技术,开发适配老年人群的智能筛查模型与个性化干预体系,探索智能诊疗与康复一体化路径。其目标是形成兼具科学性与适老性的骨科健康管理方案,提升老年人群的功能独立性与生活质量,推动老年骨科医疗模式的创新与可持续发展^[26-27]。

1. 骨质疏松和肌少症的早期筛查与主动干预:构建融合影像组学、肌电图、可穿戴设备时序数据与生活日志的多模态AI早筛模型,提升骨质疏松与肌少症的社区识别率;研发适配基层的便携式肌肉超声仪、握力传感器等低成本终端,并建立家庭-社区-医院三级联动平台,实现对高风险老年人群的动态监测与个性化营养、运动干预,形成主动健康管理新模式。

2. 老年骨病的个性化治疗与智能康复:构建融合骨骼肌质量、共病、认知等多维指标的AI评估系统,为高龄患者制定个体化的手术、用药及营养方案;开发适配老年群体的轻负担、渐进式康复训练体系,并依托可穿戴设备与居家感知终端,搭建连续性康复医疗系统,通过AI动态调整训练内容,提

高康复依从性与效果。

3. 基于数字疗法的骨科身心综合康复:研发面向老年患者的适老化数字疗法平台,融合认知行为疗法与运动康复模块,提供语音交互、个体化课程推送与远程协同管理功能;在康复训练中融入情绪识别与心理疏导机制,并通过虚拟现实技术提升训练趣味性,实现老年患者躯体功能与心理状态的协同改善与综合康复。

方向十、骨科创新技术应用规范化研究

本方向聚焦手术机器人、3D打印植入物、智能康复系统等骨科新技术的临床转化与规范化应用,通过多中心研究和多维度评价,建立标准化诊疗流程,探索适应证扩展范围与个体化治疗路径;同时构建疗效与卫生经济学评估体系,形成科学证据与标准规范,确保骨科新技术临床应用安全有效,提升经济可行性与可及性,推动骨科新技术在全国实现规范化、普及化与可持续应用^[28-30]。

1. 骨科新技术的临床应用研究:组织开展针对手术机器人、3D打印植入物、智能康复系统等创新技术的大规模、多中心随机对照试验,生成高级别循证医学证据;基于研究结果,构建覆盖术前规划、术中操作到术后管理的标准化操作流程,并建立基于虚拟仿真与实操考核的多层级培训认证体系,推动新技术的安全、规范与普及化应用。

2. 疗效、安全性、远期效果评价体系建设:建立全国性或区域性的骨科新技术临床研究协作网络,系统收集真实世界数据;制定统一的短期与长期疗效、安全性及患者报告结局评价指标体系;并构建智能化的长期随访数据库与分析平台,对患者术后1、5年乃至10年的恢复情况进行追踪,为新技术的有效性、安全性提供持续、可靠的评价依据。

3. 卫生经济学评价与策略研究:构建融合直接医疗成本、间接社会成本与健康效用的智能化卫生经济学评价模型,利用真实世界数据与机器学习技术,动态比较不同骨科治疗方案的成本效益;重点开展手术机器人、数字疗法等创新技术的预算影响分析与成本效用研究,为新技术的医保准入、合理定价与临床推广策略提供科学证据,推动骨科医疗服务向“价值导向”转型。

三、总结与展望

本共识所凝练的“十大创新方向”,系统性地勾勒出中国骨科领域未来创新发展的战略蓝图与行动路径。它们并非彼此孤立,而是相互关联、相互

促进的有机整体。AI与大数据是贯穿始终的赋能技术;手术机器人、3D打印与生物材料是实现精准治疗的核心工具;细胞治疗与再生医学代表着未来的治疗范式变革;精准医疗是提升诊疗内涵的必然方向;智能康复与微无创技术是改善患者体验的关键环节;老年骨病防控是应对社会需求的战略重点;而技术应用的规范化则是所有创新成果得以安全、高效转化的根本保障。期待本共识的发布能够为全国骨科同仁、科研工作者、产业界及政策制定者提供一个清晰的共同行动框架。通过深化“医-工-研-产-用”的交叉融合与协同创新,共同推动我国骨科医学的科技进步与学科发展,最终实现从“以疾病治疗为中心”到“以人民健康为中心”的战略转型,为“健康中国”建设与全球骨科事业的进步贡献中国智慧与中国力量。

国家骨科医学中心骨科领域“十大创新方向” 专家组(按姓名汉语拼音字母表顺序排序):

指导专家组:戴尅戎(上海交通大学医学院附属第九人民医院);姜保国(北京大学人民医院);邱贵兴(中国医学科学院北京协和医院);唐佩福(中国人民解放军总医院);张英泽(河北医科大学第三医院)

专家组成员:陈山林(首都医科大学附属北京积水潭医院);段星光(北京理工大学);冯世庆(山东大学第二医院);姜春岩(首都医科大学附属北京积水潭医院);蒋协远(首都医科大学附属北京积水潭医院);雷光华(中南大学湘雅医院);刘坤(上海交通大学医学院附属第六人民医院);马昕(上海交通大学医学院附属第六人民医院);马信龙(天津市天津医院);王广志(清华大学);王健全(北京大学第三医院);王坤正(西安交通大学医学部);翁习生(中国医学科学院北京协和医院);吴成铁(中国科学院苏州生物医学工程技术研究所);吴新宝(首都医科大学附属北京积水潭医院);杨庆诚(上海交通大学医学院附属第六人民医院);叶招明(浙江大学医学院附属第二医院);于洋(首都医科大学附属北京积水潭医院);余斌(南方医科大学南方医院);张长青(上海交通大学医学院附属第六人民医院);仇建国(中国医学科学院北京协和医院);郑宪友(上海交通大学医学院附属第六人民医院);周宗科(四川大学华西医院)

推荐专家:艾克热木江·木合热木(新疆医科大

学第六附属医院);柴伟(中国人民解放军总医院);陈大福(首都医科大学附属北京积水潭医院);陈德生(天津市天津医院);陈光兴(陆军军医大学第一附属医院);陈华江(海军军医大学第二附属医院/上海长征医院);陈山林(首都医科大学附属北京积水潭医院);董谢平(江西省人民医院);杜辉(首都医科大学附属北京积水潭医院);段星光(北京理工大学);范顺武(浙江大学医学院附属邵逸夫医院);葛子钢(北京大学);郭泰炜(北京大学第三医院);何达(首都医科大学附属北京积水潭医院);何耀华(上海交通大学医学院附属第六人民医院);华莹奇(上海交通大学医学院附属第一人民医院);皇甫良(上海数之康科技有限公司);黄红拾(北京大学第三医院);黄强(首都医科大学附属北京积水潭医院);黄强(四川大学华西医院);黄伟(重庆医科大学附属第一医院);黄野(首都医科大学附属北京积水潭医院);姜春岩(首都医科大学附属北京积水潭医院);蒋佳(上海交通大学医学院附属第六人民医院);蒋利锋(浙江大学医学院附属第二医院);蒋协远(首都医科大学附属北京积水潭医院);金成(上海交通大学);康庆林(上海交通大学医学院附属第六人民医院);乐志(湖南华翔医疗科技有限公司);李方财(浙江大学医学院附属第二医院);李海峰(中国人民解放军总医院);李慧武(上海交通大学医学院附属第九人民医院);李涛(北京大学人民医院);李庭(首都医科大学附属北京积水潭医院);李危石(北京大学第三医院);李文超(中国人民解放军总医院);李彦林(昆明医科大学第一附属医院);刘建永(潍坊市人民医院);刘晋东(北京埃斯顿医疗科技公司);刘坤(上海交通大学医学院附属第六人民医院);刘培来(山东大学齐鲁医院);刘巍峰(首都医科大学附属北京积水潭医院);刘西纺(西安市红会医院);刘晓光(北京大学第三医院);刘新宇(山东大学齐鲁医院);刘旭东(上海交通大学医学院附属第六人民医院);吕红斌(中南大学湘雅医院);马昕(上海交通大学医学院附属第六人民医院);马燕红(上海交通大学医学院附属第六人民医院);马宇立(上海三友医疗器械股份有限公司);茆玮(上海交通大学医学院附属第六人民医院);闵理(四川大学华西医院);欧阳宏伟(浙江大学医学院);潘超(北京市春立正达医疗器械股份有限公司);裴葆青(北京航空航天大学);任步方(山西医科大学第二医院);邵增务(华中科技大学同济医学院附属协和医院);沈灏(上

上海交通大学医学院附属第六人民医院);施忠民(上海交通大学医学院附属第六人民医院);孙国成(国核宝钛铝业股份公司);唐新(四川大学华西医院);唐学阳(四川大学华西医院);田华(北京大学第三医院);王宝会(北京航空航天大学);王健全(北京大学第三医院);王渭君(南京大学医学院附属鼓楼医院);王晓春(上海凯利泰医疗科技股份有限公司);王征(中国人民解放军总医院);魏氏(中国人民解放军总医院);吴松(中南大学湘雅三医院);吴新宝(首都医科大学附属北京积水潭医院);颀强(西安市红会医院);谢雪涛(上海交通大学医学院附属第六人民医院);邢更彦(中国人民解放军总医院);徐建广(上海交通大学医学院附属第六人民医院);徐卫东(海军军医大学第一附属医院);徐耀增(苏州大学附属第一医院);徐永胜(内蒙古自治区人民医院);燕太强(北京大学第一医院);杨波(中国医学科学院北京协和医院);杨柳(重庆大学附属人民医院);杨明辉(首都医科大学附属北京积水潭医院);杨庆诚(上海交通大学医学院附属第六人民医院);杨勇(首都医科大学附属北京积水潭医院);杨征(首都医科大学附属北京积水潭医院);杨智(首都医科大学);叶招明(浙江大学医学院附属第二医院);尹军强(中山大学附属第一医院);于腾波(青岛市市立医院);于晓巍(上海交通大学医学院附属第六人民医院);余希杰(四川大学华西医院);袁锋(上海交通大学医学院附属第六人民医院);曾玉红(西安市红会医院);张昊华(首都医科大学附属北京积水潭医院);张晖(四川大学华西医院);张辉(首都医科大学附属北京积水潭医院);张克远(新疆医科大学第一附属医院);张磊(中国中医科学院望京医院);张路霞(北京大学医学部);张民(山西医科大学第二医院);张世民(上海交通大学医学院附属第六人民医院);张帅(北京爱康宜诚医疗器材有限公司);张送根(北京天智航医疗科技股份有限公司);张婷婷(捷迈(上海)医疗国际贸易有限公司);张伟滨(上海交通大学医学院附属瑞金医院);张为(河北医科大学第三医院);张文明(福建医科大学附属第一医院);张中礼(天津市天津医院);仇建国(中国医学科学院北京协和医院);赵春鹏(首都医科大学附属北京积水潭医院);赵宏谋(西安市红会医院);赵杰(上海交通大学医学院附属第九人民医院);赵其纯(中国科学技术大学附属第一医院/安徽省立医院);周敬滨(首都医科大学附属北京朝

阳医院);周一新(首都医科大学附属北京积水潭医院);周宗科(四川大学华西医院);朱晨(中国科学技术大学附属第一医院/安徽省立医院);朱以明(首都医科大学附属北京积水潭医院)

征询专家:陈大福(首都医科大学附属北京积水潭医院);陈海(首都医科大学宣武医院);陈寒(智珑创新(北京)科技有限公司);杜辉(首都医科大学附属北京积水潭医院);葛子钢(北京大学);公茂琪(首都医科大学附属北京积水潭医院);何达(首都医科大学附属北京积水潭医院);何耀华(上海交通大学医学院附属第六人民医院);黄强(首都医科大学附属北京积水潭医院);黄轶刚(上海交通大学医学院附属第六人民医院);黄野(首都医科大学附属北京积水潭医院);李旭(首都医科大学附属北京积水潭医院);连小峰(上海交通大学医学院附属第六人民医院);刘晋东(北京埃斯顿医疗科技公司);刘巍峰(首都医科大学附属北京积水潭医院);潘超(北京市春立正达医疗器械股份有限公司);秦晖(上海交通大学医学院附属第六人民医院);沈灏(上海交通大学医学院附属第六人民医院);施忠民(上海交通大学医学院附属第六人民医院);石锐(首都医科大学附属北京积水潭医院);王军强(首都医科大学附属北京积水潭医院);王晓春(上海凯利泰医疗科技股份有限公司);王雪松(首都医科大学附属北京积水潭医院);位晓娟(上海交通大学医学院附属第六人民医院);杨德金(首都医科大学附属北京积水潭医院);杨明辉(首都医科大学附属北京积水潭医院);杨征(首都医科大学附属北京积水潭医院);于晓巍(上海交通大学医学院附属第六人民医院);张辉(首都医科大学附属北京积水潭医院);张帅(北京爱康宜诚医疗器材有限公司);张送根(北京天智航医疗科技股份有限公司);张伟(上海交通大学医学院附属第六人民医院);章振林(上海交通大学医学院附属第六人民医院);周一新(首都医科大学附属北京积水潭医院)

执笔人:蒋协远、于洋、韦祎(首都医科大学附属北京积水潭医院);蒋佳(上海交通大学医学院附属第六人民医院)

参 考 文 献

- [1] 沈惠良. 深度老龄化社会进程中骨科医生面临的挑战——重视骨质疏松性骨折的治疗[J]. 北京医学, 2015, 37(11): 1020-1021. DOI: 10.15932/j.0253-9713.2015.11.001.
- [2] 郭翔云, 章轶立, 李婷, 等. 骨健康重点病种流行趋势及影响因

- 素分析[J]. 中国全科医学, 2025, 28 (19): 2346-2353. DOI: 10.12114/j.issn.1007-9572.2025.0059.
- [3] Burton K, Kendall N. Musculoskeletal disorders [J]. 2014, 348: g1076. DOI: 10.1136/bmj.g1076.
- [4] 李璐睿惠, 肖京, 李东岳. 基于“治未病”理论探讨老年肌少症的筛查新方向[J]. 老年医学与保健, 2025, 31 (4): 1259-1262. DOI: 10.3969/j.issn.1008-8296. 2025.04.068.
- [5] 王军强, 蒋协远. 智能骨科的临床应用研究现状与思考[J]. 首都医科大学学报, 2024, 45 (5): 741-743. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7795.2024.05.001.
- [6] 韩巍, 张腾, 蒋协远. 人工智能在肩关节置换领域的进展与思考[J]. 骨科临床与研究杂志, 2025, 10(4): 193-196. DOI: 10.19548/j.2096-269x.2025.04.001.
- [7] 常正奇, 陈宇, 康健, 等. 抗感染骨科内置入材料的研究进展[J]. 中国矫形外科杂志, 2019, 27 (22): 2063-2066. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2019.22.11.
- [8] 曹晶, 夏京花, 赵丹, 等. 基于倾向评分匹配的骨科机器人辅助治疗跟骨骨折的安全性及费用分析[J]. 华西医学, 2022, 37 (10): 1476-1480. DOI: 10.7507/1002-0179.202207155.
- [9] 中华预防医学会脊柱疾病预防与控制专业委员会脊柱脊髓损伤疾病预防与控制学组, 中国医师协会骨科医师分会智能骨科学组与控制专业委员会脊柱脊髓损伤疾病预防与控制学组. 人工智能脊柱退变影像学测量位点与标注专家共识 (2024) [J/OL]. 山东大学学报 (医学版), 1-10 [2026-02-11]. <https://link.cnki.net/urlid/37.1390.R. 20250619.0959.002>.
- [10] Siddiqui IA, Littlefield N, Carlson LA, et al. Fair AI-powered orthopedic image segmentation: addressing bias and promoting equitable healthcare[J]. Sci Rep, 2024, 14 (1): 16105. DOI: 10.1038/s41598-024-66873-6.
- [11] Han F, Huang X, Wang X, et al. Artificial intelligence in orthopedic surgery: current applications, challenges, and future directions [J]. MedComm (2020), 2025, 6 (7): e70260. DOI: 10.1002/mco.2.70260.
- [12] Zhang X, Chen L, Wang J. The research landscape and evolutionary trends of robot-assisted orthopedic telesurgery: a bibliometric and visualized analysis [J]. J Robot Surg, 2025, 19 (1): 743. DOI: 10.1007/s11701-025-02913-1.
- [13] 李敏娟, 张腾, 贾翌, 等. 骨科手术机器人辅助技术在创伤骨科的临床应用特征分析[J]. 首都医科大学学报, 2025, 46 (6): 1102-1109. DOI: 10.3969/j.issn.1006-7795.2025.06.018.
- [14] 湛龙文, 周义贵, 刘瑞堂, 等. 基于3D打印技术下生物降解材料治疗骨缺损的研究[J]. 生物骨科材料与临床研究, 2025, 22 (4): 69-73. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5972.2025.04.013.
- [15] Meng M, Wang J, Huang H, et al. 3D printing metal implants in orthopedic surgery: Methods, applications and future prospects [J]. J Orthop Translat, 2023, 42: 94-112. DOI: 10.1016/j.jot.2023. 08.004.
- [16] 程猛. 可降解 Mg-xZn-0.5Ca 合金的制备及骨科相关生物学功能研究[D]. 吉林大学, 2025. DOI: 10.27162/d.cnki.gjlin.2025.000177.
- [17] Lee MK, Lee H, Kang MH, et al. Bioinspired nanotopography for combinatory osseointegration and antibacterial therapy [J]. ACS Appl Mater Interfaces, 2024, 16 (24): 30967-30979. DOI: 10.1021/acsami.4c06351.
- [18] Kim KI, Lee MC, Lee JH, et al. Clinical efficacy and safety of the intra-articular injection of autologous adipose-derived mesenchymal stem cells for knee osteoarthritis: a phase III, randomized, double-blind, placebo-controlled trial [J]. Am J Sports Med, 2023, 51 (9): 2243-2253. DOI: 10.1177/03635465231179223.
- [19] Yang L, Xu Z, Liu J, et al. Multi-omics insights into bone tissue injury and healing: bridging orthopedic trauma and regenerative medicine [J]. Burns Trauma, 2025, 13: tkaf 019. DOI: 10.1093/burnst/tkaf019.
- [20] Xu H, Zhou Y, Liang L, et al. Efficacy and safety of JMT103 in patients with unresectable or surgically-challenging giant cell tumor of bone: a multicenter, phase Ib/II study [J]. Nat Commun, 2024, 15 (1): 9541. DOI: 10.1038/s41467-024-53686-4.
- [21] Nie JJ, Zhang B, Luo P, et al. Enhanced pyroptosis induction with pore-forming gene delivery for osteosarcoma microenvironment reshaping [J]. Bioact Mater, 2024, 38: 455-471. DOI: 10.1016/j.bioactmat.2024.05.009.
- [22] 薛涛, 白玉琦, 张涛. 智能技术驱动的骨科康复: 进展与应用 [J]. 中国科学: 技术科学, 2025, 55 (10): 1659-1673.
- [23] Buscarini L, Romano P, Cocco ES, et al. Enhancing patient rehabilitation outcomes: artificial intelligence-driven predictive modeling for home discharge in neurological and orthopedic conditions [J]. J Neuroeng Rehabil, 2025, 22 (1): 117. DOI: 10.1186/s12984-025-01654-4.
- [24] Liu S, Zhang X, Xiong Y, et al. Minimally invasive surgery for lumbar disc herniation: a meta-analysis of efficacy and safety [J]. Int J Surg, 2025, 111 (8): 5623-5636. DOI: 10.1097/JS9.0000000000002434.
- [25] 程维敏, 吴晓华, 熊璟. 基于人工智能的微创手术器械分割方法研究进展与展望 [J]. 中国医疗器械杂志, 2025, 49 (1): 15-23. DOI: 10.12455/j.issn.1671-7104.24043.
- [26] 王凯, 潘翔. 面向肌少症患者的虚拟现实康复系统设计 [J]. 厦门大学学报 (自然科学版), 2025, 64 (6): 983-991.
- [27] Woisetschlager M, Chisalita S, Vergara M, et al. Selection of risk assessment methods for osteoporosis screening in postmenopausal women with low-energy fractures: a comparison of fracture risk assessment tool, digital X-ray radiogrammetry, and dual-energy X-ray absorptiometry [J]. SAGE Open Med, 2022, 10: 20503121211073421. DOI: 10.1177/20503121211073421.
- [28] Farhan-Alanie MM, Gallacher D, Craig P, et al. Risk of revision and patient-reported outcomes following primary UKR performed using computer navigation or patient-specific instrumentation: an analysis of national joint registry data [J]. J Bone Joint Surg Am, 2025, 107 (15): 1659-1669. DOI: 10.2106/JBJS.24.01483.
- [29] Yoon KH, Lee J, Park JY. Costal chondrocyte-derived pellet-type autologous chondrocyte implantation versus microfracture for the treatment of articular cartilage defects: a 5-year follow-up of a prospective randomized trial [J]. Am J Sports Med, 2024, 52 (2): 362-367. DOI: 10.1177/03635465231222797.
- [30] Gao Y, Yang Y, Li Z, et al. Systematic review of health economic evaluation of robot-assisted hip and knee arthroplasty [J]. Health Econ Rev, 2025, 16 (1): 7. DOI: 10.1186/s13561-025-00701-z.

(收稿日期: 2026-01-08)

(本文编辑: 张朔)

国家骨科医学中心骨科领域“十大创新方向”专家组. 骨科领域“十大创新方向”中国专家共识 (2025 年) [J]. 骨科临床与研究杂志, 2026, 11 (2): 73-81. DOI: 10.19548/j.2096-269x.2026.02.001.