

· 综 述 ·

人工智能在髋关节置换应用现状<sup>△</sup>李佳伟<sup>1,4</sup>, 丁良甲<sup>2</sup>, 金凤<sup>3</sup>, 李筱贺<sup>4\*</sup>

(1. 内蒙古科技大学包头医学院第二附属医院, 内蒙古包头 014030; 2. 内蒙古医科大学第二附属医院, 内蒙古呼和浩特 010010; 3. 内蒙古医科大学附属医院, 内蒙古呼和浩特 010010; 4. 内蒙古医科大学基础医学院, 内蒙古呼和浩特 010010)

**摘要:** 髋关节置换是股骨头坏死等髋关节疾病终末期的有效治疗方法。术前合理规划、术中假体正确安放是手术成功的关键, 术后定期随访是早期发现假体异常必不可少的环节。然而大量重复的工作必然耗费医生的宝贵时间, 且不同医生对结果的理解存在主观差异, 可能导致病情的延误。近年来, 人工智能与髋关节置换进行了深度融合, 有望减轻医生负担, 促进髋关节置换的精准化。本文综述了近 10 年人工智能在髋关节置换领域的进展。首先, 概述了目前人工智能的发展现状; 其次, 叙述其在置换术前、术中及术后的现状; 最后, 分析人工智能在该领域存在的不足, 并预测未来关注要点及趋势。

**关键词:** 人工智能, 机器学习, 髋关节置换, 医学影像

**中图分类号:** R687.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2024) 07-0625-06

**Application of artificial intelligence in hip replacement** // LI Jia-wei<sup>1,4</sup>, DING Liang-jia<sup>2</sup>, JIN Feng<sup>3</sup>, LI Xiao-he<sup>4</sup>. 1. The Second Affiliated Hospital, Baotou Medical College, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014030, China; 2. The Second Affiliated Hospital, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010010, China; 3. The Affiliated Hospital, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010010, China; 4. The School of Basic Medical Sciences, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010010, China

**Abstract:** Hip replacement is an effective treatment for end-stage hip diseases such as femoral head necrosis. Reasonable planning before operation, correct placement of prosthesis during operation and regular follow-up after operation are essential for successful operation and early detection of prosthetic abnormalities. However, a large amount of repetitive work will inevitably consume doctors' valuable time, and there are subjective differences in the understanding of the results among different doctors, which may lead to the delay of the disorder. In recent years, artificial intelligence has been deeply integrated with hip replacement, which is expected to reduce the burden on doctors and promote the precision of hip replacement. This paper reviews the progress of artificial intelligence in the field of hip replacement in recent 10 years. Firstly, the current development status of artificial intelligence is summarized. Secondly, the status quo before, during and after the replacement is described. Finally, it analyzes the shortcomings of artificial intelligence in this field, and predicts the future focus points and trends.

**Key words:** artificial intelligence, machine learning, hip replacement, medical imaging

髋关节置换术 (total hip arthroplasty, THA) 已得到业界广泛认可, 术前合理规划、术中解剖重建是手术成功的关键, 术后定期随访是发现并发症的重要手段<sup>[1-3]</sup>。THA 正逐步实现精准化, 而仅依靠传统的术前规划、术中解剖重建及术后随访监测已不能满足要求, 需借助科技的力量。随着人工智能 (artificial intelligence, AI) 与 THA 的结合, 为术前精准规划、术中解剖重建以及术后假体脱位、松动风险的预测提供了一种全新方法。本文就 10 年内人工智能在 THA 方

面的应用进行了综述, 首先简单概述了人工智能的发展, 其次具体阐述了人工智能在 THA 中的应用现状, 最后指出了人工智能在该领域存在的不足并预测发展趋势。

以 Artificial Intelligence, Machine Learning, Unsupervised Machine Learning, Supervised Machine Learning, Deep Learning, Neural Networks, Computer, Support Vector Machine, Decision Trees, Random Forest, Arthroplasty, Replacement, Hip 为主题词在 Pubmed 数据库检

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2024.07.09

**△基金项目:** 内蒙古自然科学基金项目 (编号: 2020MS08124); 内蒙古教育厅高等学校创新团队发展计划项目 (编号: NMGIRT2227); 内蒙古自治区蒙医药协同创新中心科学研究项目 (编号: MYYXTYB202104); 乌兰察布市科技创新引导项目 (编号: 202201)

**作者简介:** 李佳伟, 在读研究生, 研究方向: 人工智能、髋关节置换, (电话) 13327192562, (电子信箱) 593526977@qq.com

**\* 通信作者:** 李筱贺, (电话) 0471-6657009, (电子信箱) 798242742@qq.com

索到 139 篇文献；以人工智能、机器学习、无监督机器学习、监督机器学习、深度学习、神经网络、支持向量机、决策树、髋关节置换术为主题词在 CNKI、万方数据库检索到 40 篇文献。检索时间设置为 2013 年 1 月—2023 年 3 月。中英文文献共检索到 179 篇，最终纳入 64 篇文献，其中英文 55 篇，中文 9 篇（图 1）。筛选排除标准：（1）重复文献；（2）经阅读后没有参考价值的文献；（3）非核心期刊收录的中文文献。

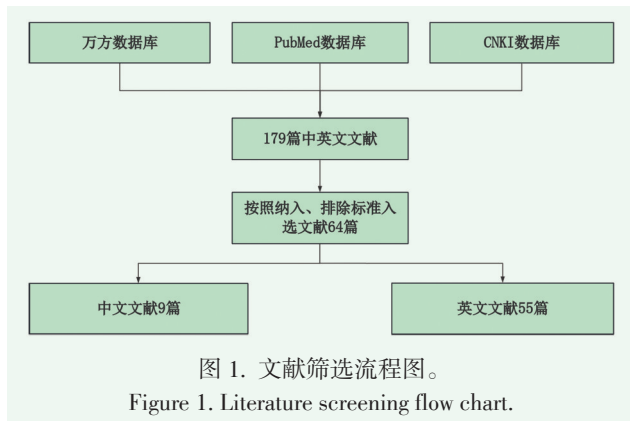


图 1. 文献筛选流程图。

Figure 1. Literature screening flow chart.

## 1 AI 简介

AI 是使机器像人类一样进行认识、感知、决策、执行、理解、思考、判断、规划、推理的人工程序或系统，由 McCarthy 教授于 1956 年首次提出，在医学领域应用广泛<sup>[4]</sup>。早期的 AI 通过计算机结合数学技术协助医生诊断，后来发展到了专家系统。1988 年深度学习及卷积神经网络也被应用到了医学中，通过大量数据的训练，算法的不断提高，能够得到比回归分析更加复杂的训练模型，解决更加复杂的问题。

AI 已成功应用于医学各领域，尤其在骨关节方面，如 Zhang 等<sup>[5]</sup> 纳入 10 219 例发育性髋关节发育不良的儿童患者盆腔 X 线片，利用深度学习方法 (ResNet) 建立了一种诊断发育性髋关节发育不良的筛查模型。von Schacky 等<sup>[6]</sup> 收集了 4 368 例患者的髋关节前后位 X 线片，利用深度学习的方法 (DenseNet-161) 建立了一种骨关节炎分级的 AI 模型。目前在 THA 方面的研究日益增多，而国内目前未见相关的综述报道。

## 2 AI 在 THA 术前的应用

### 2.1 AI 在 THA 术前规划、假体选择方面的应用

术前合理规划是术中解剖重建及术后假体稳定的

基础，目前术前规划主要以二维 X 线模板及三维 CT 为主，其中二维模板较为常用，但假体预测准确性较差，三维术前规划对假体型号的预测准确性显著提升，但对医生的要求较高，存在一定的学习曲线，对于年轻医师利用以上术前规划方法实现 THA 术前的精确规划仍具有较大的挑战<sup>[7-8]</sup>。近几年，AI 在 THA 术前规划领域取得一定的进展<sup>[9, 10]</sup>，由北京长木谷医疗科技公司开发的 AIHIP 是一款 AI 术前三维规划软件，该软件利用 815 例患者的髋关节 CT 数据进行训练，自主研发了 G-NET 神经网络，可准确提取 CT 图像上的关键点，快速识别、分割髋臼及股骨形态，并能够把髓腔形态与假体库内假体快速匹配，从而选择最优假体<sup>[11]</sup>。吴东等<sup>[11]</sup>、Huo 等<sup>[9]</sup> 分别分析了 AIHIP 软件及二维模板两种规划手段的价值，认为 AIHIP 能够更准确地预测髋臼及股骨柄假体型号，且 AIHIP 能够更可靠地预测下肢肢体长度及偏心距，更好地恢复髋关节旋转中心。Alastruey-López 等<sup>[12]</sup> 将有限元与 AI 结合，开发了一种可以在术前预测运动范围的人工神经网络模型，该模型能够辅助医生选择合适的假体，预防术后碰撞及假体脱位。Hu 等<sup>[13]</sup> 以 196 例患者 CT 资料为基础，通过计算机算法建立了股骨近端 16 项解剖参数的测量模型，可快速测量股骨近端解剖参数，其中 10 个解剖参数的可重复系数为 0.88~0.99，具有较高的可靠性，此外该模型还可快速获取股骨近端髓腔形态，能够在 THA 术前更好地进行假体规划。

### 2.2 AI 在 THA 术前识别、预测各类术后高风险人群方面的应用

术前准确识别各种高风险人群将有助于手术规划、术后预防。随着 THA 手术量的不断增多，术后翻修的数量也在增加，术后 2 年内翻修的比例高达 6%<sup>[14]</sup>。在初次 THA 术前识别术后翻修的高风险人群，有助于术前个体化决策，降低术后翻修率。Kliment 等<sup>[15]</sup> 收集了 7 397 例患者信息，包括术前患者一般信息、术中相关信息及置入假体的参数，训练了 6 种机器学习模型并比较了这几种模型在预测术后早期翻修风险的效能，结果表明，这 6 种机器学习模型的预测能力均表现突出。THA 术后疼痛控制是临床面临的重大挑战，阿片类药物通常用于 THA 术后疼痛的治疗，研究认为 THA 术后短期服用阿片类药物可能导致长期的依赖，因此术前识别相关高风险人群，可辅助医生术后正确处理患者疼痛<sup>[16, 17]</sup>。Gabriel 等<sup>[18]</sup> 利用 AI 算法结合患者术前临床资料，开发了术前识别高风险人群的模型，高风险人群的早期识别及

干预,可能减轻阿片类药物依赖所导致的长期不良后果。THA 术中由于截骨及其他相关因素,导致手术创面大,术后容易出现贫血现象。研究报道,THA 术后常常伴有贫血,早期监测高危患者有助于提前制定标准化的护理策略及术后恢复<sup>[19, 20]</sup>。Huang 等<sup>[21]</sup>建立了 7 种术前早期识别术后输血风险人群的机器学习模型,并比较了这 7 种模型的差异,最终认为长短期记忆(long short-term memory, LSTM)人工神经网络模型及随机森林(random forest)模型在术前预测术后输血风险中具有较高的准确性。

### 3 AI 在 THA 术中的应用

THA 术中的关键在于正确放置假体,正确的假体位置对于术后患者关节功能的恢复及假体的远期稳定至关重要,影像学定位法、“Lewinnek 安全区”定位法、解剖结构定位法是目前较为常用的假体定位方法,但仍然存在假体定位不准确的问题。随着科技的发展,诸多新技术的出现,为更加准确地放置假体提供了全新的解决办法,如辅助手术设计和手术模拟、虚拟仿真技术、术中计算机辅助导航及骨科机器人手术等,其中手术机器人是研究热点,能够提高假体放置的准确性<sup>[22]</sup>。Mako 手术机器人可将髋关节解剖数据转换为虚拟特定的三维重建结构,骨科医生用它来计算最佳的骨切除和置入物的位置,并在机械臂的辅助之下,术中高精度地进行假体定位,完美实现术前计划,该机器人于 2015 年获得了美国食品药品监督管理局的批准上市,也是唯一可以用于关节置换手术的智慧手术机器人,在关节置换领域有较好的应用前景<sup>[23, 24]</sup>。

股骨髓腔与假体的紧密接触是假体获得即刻稳定性及远期骨长入的基础,但同时也增加了股骨骨折的风险,有报道,术中骨折发生率为 1.5%~27.8%<sup>[25]</sup>。有研究确定了假体置入过程中与假体下沉和术中骨折相关的锤击声的具体模式,分析假体置入过程中的锤击音有助于降低 THA 术中股骨骨折的发生率,然而 THA 术中锤击音复杂多变,较难分析<sup>[26]</sup>。Homma 等<sup>[27]</sup>利用 AI 技术分辨术中记录到的锤击音,通过分析 532 个锤击音,设置了 3 个数据集并进行二元分类,开发的 AI 模型能够以相对较高的精度将不同的锤击音区分开来,有助于预防 THA 术中股骨骨折的发生。

### 4 AI 在 THA 术后的应用

#### 4.1 AI 在预测 THA 术后脱位及松动方面的应用

虽然 THA 术后 95% 的假体可以在位 10 年以上,但仍然存在松动、脱位等并发症的可能。术后并发症常规的影像学及临床评估较为繁琐,且容易出错,同时耗费了医生大量的宝贵时间,早期发现 THA 术后并发症不仅可以降低翻修手术的难度,而且也降低了社会的经济负担。假体术后脱位是 THA 术后主要的并发症之一,也是翻修手术的重要原因,早期准确预测术后假体脱位意义重大。Rouzrokh 等<sup>[28]</sup>纳入了 13 970 例 THA 患者 5 年的随访 X 线资料,从而建立了一种卷积神经网络模型(YOLO-V3),经验证该影像学预测模型具有较高的敏感性和阴性预测能力,结合临床危险因素,能够快速评估 THA 术后脱位的风险。Wei 等<sup>[29]</sup>以 357 例 THA 术后 X 线片为训练集,开发了 6 种诊断术后假体脱位的卷积神经网络模型,并验证对比这 6 种模型的诊断效能,结果表明,这些卷积神经网络模型均能够应用于术后假体脱位的诊断,在急诊医学中有一定价值。假体松动也是手术失败的主要原因之一,手术探查是松动诊断的金标准,而非手术方式诊断假体松动是一项具有挑战性的工作<sup>[30]</sup>。Shah 等<sup>[31]</sup>收集了翻修手术前患者的前后位 X 线片及临床资料,通过卷积神经网络建立了一种检测假体松动的模型,经验证,该模型能够以合理的精度在 X 线片上识别松动,为假体松动的检测提供了一种新思路。

#### 4.2 AI 辅助 THA 术后假体位置参数的测量

THA 术后 X 线随访中涉及到较多评估参数,可以用于筛查假体位置异常,如髋臼假体外展角、前倾角、旋转中心位置参数等,而测量这些参数费时费力,增加了医生们的负担。Tseng 等<sup>[32]</sup>通过对 3 072 例 THA 术后前后位 X 线片进行训练,开发了一款 AI 辅助术后 X 线片假体位置参数测量模型(BKNet),经验证,该模型可快速准确地测量假体位置参数,有望减轻临床医生的负担。Rouzrokh 等<sup>[33]</sup>建立了测量髋臼假体外展角及前倾角的卷积神经网络模型(U-Net),该模型纳入了 THA 术后前后位及穿桌位 X 线片各 600 例,经验证,该模型的测量准确性与医生无差异,有望在临床及科学研究中应用。

#### 4.3 AI 在 THA 术后护理方面的应用

术后科学护理是缓解术后关节疼痛的有效手段,目前 THA 术后护理主要以患者表现及医生的临床经验为基础进行规划,缺乏个体化评估,护理效果不达预期<sup>[34]</sup>。Wang 等<sup>[35]</sup>以 X 线片为基础,开发了一种 AI 术后辅助康复护理系统,该模型能够用于术后的

快速护理, 显著提高护理能力, 并与传统方法进行比较, 结果表明, AI 模型针对性更强, 术后恢复更快, 并发症发生率更低, 大大提高了患者术后的生活质量。

#### 4.4 AI 在髋关节翻修手术中的应用

随着假体在体内存留时间的延长, 翻修的概率也将不断增加, 有研究认为术后 5、10 年的翻修比例为 6.5%~12.9%<sup>[36, 37]</sup>。准确识别股骨置入假体的制造商及型号是翻修手术的关键步骤, 由于假体设计信息获取的不便, 导致翻修术前未能识别患者置入物信息, 这将导致病情延误、不必要的转诊、护理成本失控等<sup>[38]</sup>。为了解决这一问题, 2014 年美国食品和药物管理局要求假体制造商用独特的设备标识符标记设备, 但 2014 年之前的假体依然较难识别。Murphy 等<sup>[39]</sup>、Gong 等<sup>[40]</sup>以前后位 X 线片为基础, 开发了不同的机器学习模型, 经验证, 这些模型均能很好地识别翻修术前假体设计。由于 AI 模型的杰出表现, 可能降低翻修手术的难度、围手术期死亡率及由于不能识别假体设计所导致的资源浪费。

### 5 AI 在 THA 领域的不足及发展趋势

AI 虽然在 THA 术前、术中及术后等领域已经取得了较大进展, 但是仍然存在以下问题, 值得进一步完善及研究:

(1) AI 模型是以大量临床数据为基础建立起来的, 因此高质量的临床数据对提升 AI 模型的准确性至关重要。目前 THA 领域 AI 模型的纳入参数主要包括患者一般临床资料、术中相关资料及影像学资料, 其中影像学图像质量在不同地区、不同医院间存在较大差异, 目前还没有相关的规范化指南, 数据间的误差可能会降低 AI 模型的准确性, 并影响临床应用推广, 因此应该完善 AI 领域影像资料, 使其规范化, 进一步提升 AI 模型的效能。

(2) AI 模型涉及大量患者信息, 在建立过程中可能存在泄露的风险, 对个人隐私造成影响, 目前国内尚未见到相关法律对 AI 进行监管, 可能会导致一系列的伦理问题, 阻碍 AI 在 THA 的临床应用。

(3) 目前 THA 方面的大部分 AI 模型在建立过程中所纳入的训练集样本量较小, 仅仅作为一种假设的验证, 而真正能够应用到临床中有实际价值的 AI 模型较少, 还需要不断扩大样本量进一步研究。

(4) 国外研究人员对 THA 领域 AI 模型的研究较多, 而国内学者较少, 大部分的研究主要针对长木谷

科技公司开发的 AI HIP 术前规划系统的临床应用, 缺少 AI 模型的开发研究。

(5) 目前 AI 在 THA 术前及术后的研究较多, 而 THA 术中缺少相关研究报道, 未来智能机器人需与 AI 进一步结合, 以促进手术机器人更加精确放置假体, 可能是一个发展热点。

AI 在 THA 中应用的文献正在不断增多, 虽然存在一些不足, 但随着该领域的发展和技术的进步, AI 模型未来有望成为一种新型的“高性能医学”, 支持患者的健康和医生的决策, 为临床医生及患者提供更多的帮助。

#### 参考文献

- [1] Boe RA, Selemon NA, Eachempati KK, et al. Soft-tissue balancing in total hip arthroplasty [J]. *JBJS Rev*, 2021, 9 (2): e20.00116. DOI: 10.2106/JBJS.RVW.20.00116.
- [2] 张其亮, 任国清, 周健, 等. 直接前入路与后外侧入路全髋关节置换术的比较 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (17): 1548-1552. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.17.03. Zhang QL, Ren GQ, Zhou J, et al. Direct anterior approach versus posterolateral approach for total hip arthroplasty [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2020, 28 (17): 1548-1552. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.17.03.
- [3] Mulcahy H, Chew FS. Current concepts of hip arthroplasty for radiologists: part 1, features and radiographic assessment [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2012, 199 (3): 559-569. DOI: 10.2214/AJR.12.8843.
- [4] Pesapane F, Codari M, Sardanelli F. Artificial intelligence in medical imaging: threat or opportunity? Radiologists again at the forefront of innovation in medicine [J]. *EurRadiol Exp*, 2018, 2 (1): 35. DOI: 10.1186/s41747-018-0061-6.
- [5] Zhang SC, Sun J, Liu CB, et al. Clinical application of artificial intelligence-assisted diagnosis using anteroposterior pelvic radiographs in children with developmental dysplasia of the hip [J]. *Bone Joint J*, 2020, 102-B (11): 1574-1581. DOI: 10.1302/0301-620X.102B11.BJJ-2020-0712.R2.
- [6] von Schacky CE, Sohn JH, Liu F, et al. Development and validation of a multitask deep learning model for severity grading of hip osteoarthritis features on radiographs [J]. *Radiology*, 2020, 295 (1): 136-145. DOI: 10.1148/radiol.2020190925.
- [7] Dammerer D, Keiler A, Hermegger S, et al. Accuracy of digital templating of uncemented total hip arthroplasty at a certified arthroplasty center: a retrospective comparative study [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2022, 142 (10): 2471-2480. DOI: 10.1007/s00402-021-03836-w.
- [8] 杨滨, 张克, 袁亮, 等. 三维术前规划在全髋关节置换术中的应用 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2022, 30 (7): 653-656. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.07.16. Yang B, Zhang K, Yuan L, et al. Application of three-dimensional preoperative planning in total hip arthroplasty [J]. *Orthopedic Jour-*

- nal of China, 2022, 30 (7) : 653–656. DOI: 10.3977/j.issn.1005–8478.2022.07.16.
- [9] Huo J, Huang G, Han D, et al. Value of 3D preoperative planning for primary total hip arthroplasty based on artificial intelligence technology [J]. *J Orthop Surg Res*, 2021, 16 (1) : 156. DOI: 10.1186/s13018–021–02294–9.
- [10] Wu D, Zhi X, Liu X, et al. Utility of a novel integrated deep convolutional neural network for the segmentation of hip joint from computed tomography images in the preoperative planning of total hip arthroplasty [J]. *J Orthop Surg Res*, 2022, 17 (1) : 164. DOI: 10.1186/s13018–022–02932–w.
- [11] 吴东, 刘星宇, 张逸凌, 等. 人工智能辅助全髋关节置换术三维规划系统的研发及临床应用研究 [J]. *中国修复重建外科杂志*, 2020, 34 (9) : 1077–1084. DOI: 10.7507/1002–1892.202005007.  
Wu D, Liu XY, Zhang YL, et al. Research and application of artificial intelligence based three-dimensional preoperative planning system for total hip arthroplasty [J]. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, 2020, 34 (9) : 1077–1084. DOI: 10.7507/1002–1892.202005007.
- [12] Alastruey-López D, Ezquerro L, Seral B, et al. Using artificial neural networks to predict impingement and dislocation in total hip arthroplasty [J]. *Comput Method Biomech*, 2020, 23 (10) : 649–657. DOI: 10.1080/10255842.2020.1757661.
- [13] Hu J, Xu L, Jing M, et al. An approach to automated measuring morphological parameters of proximal femora on three-dimensional models [J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2020, 15 (1) : 109–118. DOI: 10.1007/s11548–019–02095–w.
- [14] Bozic KJ, Lau E, Ong K, et al. Risk factors for early revision after primary total hip arthroplasty in Medicare patients [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2014, 472 (2) : 449–54. DOI: 10.1007/s11999–013–3081–9.
- [15] Klemm C, Laurencin S, Alpaugh K, et al. The utility of machine learning algorithms for the prediction of early revision surgery after primary total hip arthroplasty [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2022, 30 (11) : 513–522. DOI: 10.5435/JAAOS–D–21–01039.
- [16] Goesling J, Moser SE, Zaidi B, et al. Trends and predictors of opioid use after total knee and total hip arthroplasty [J]. *Pain*, 2016, 157 (6) : 1259–1265. DOI: 10.1097/j.pain.0000000000000516.
- [17] Bedard NA, Pugely AJ, Dowdle SB, et al. Opioid use following total hip arthroplasty: trends and risk factors for prolonged use [J]. *J Arthroplasty*, 2017, 32 (12) : 3675–3679. DOI: 10.1016/j.arth.2017.08.010.
- [18] Gabriel RA, Harjai B, Prasad RS, et al. Machine learning approach to predicting persistent opioid use following lower extremity joint arthroplasty [J]. *Reg Anesth Pain Med*, 2022, 47 (5) : 313–319. DOI: 10.1136/rapm–2021–103299.
- [19] Huang Z, Huang C, Xie J, et al. Analysis of a large data set to identify predictors of blood transfusion in primary total hip and knee arthroplasty [J]. *Transfusion*, 2018, 58 (8) : 1855–1862. DOI: 10.1111/trf.14783.
- [20] Pflüger MJ, Frömel DE, Meurer A. Total Hip arthroplasty revision surgery: impact of morbidity on perioperative outcomes [J]. *J Arthroplasty*, 2021, 36 (2) : 676–681. DOI: 10.1016/j.arth.2020.08.005.
- [21] Huang Z, Martin J, Huang Q, et al. Predicting postoperative transfusion in elective total HIP and knee arthroplasty: Comparison of different machine learning models of a case-control study [J]. *Int J Surg*, 2021, 96 : 106183. DOI: 10.1016/j.ijssu.2021.106183.
- [22] 赵秉诚, 覃文报. 全髋关节置换术中髋臼假体准确定位的研究进展 [J]. *中华关节外科杂志(电子版)*, 2019, 13 (6) : 736–739. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674–134X.2019.06.014.  
Zhao BC, Tan WB. Review for methods of accurate positioning of acetabular component in total hip arthroplasty [J]. *Chinese Journal of Joint Surgery (Electronic Edition)*, 2019, 13 (6) : 736–739. DOI: 10.3877/cma.j.issn.1674–134X.2019.06.014.
- [23] Magan AA, Kayani B, Chang JS, et al. Artificial intelligence and surgical innovation: lower limb arthroplasty [J]. *Br J Hosp Med (Lond)*, 2020, 81 (10) : 1–7. DOI: 10.12968/hmed.2020.0309.
- [24] 崔可贻, 郭祥, 韩贵斌, 等. Mako 机器人辅助后外侧入路全髋关节置换术 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (4) : 356–359. DOI: 10.3977/j.issn.1005–8478.2020.04.14.  
Cui KZ, Guo X, Han GB, et al. MAKO robot-assisted total hip arthroplasty through posterior lateral approach [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2020, 28 (4) : 356–359. DOI: 10.3977/j.issn.1005–8478.2020.04.14.
- [25] Berend KR, Lombardi AV Jr. Intraoperative femur fracture is associated with stem and instrument design in primary total hip arthroplasty [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2010, 468 (9) : 2377–2381. DOI: 10.1007/s11999–010–1314–8.
- [26] Morohashi I, Iwase H, Kanda A, et al. Acoustic pattern evaluation during cementless hip arthroplasty surgery may be a new method for predicting complications [J]. *SICOT J*, 2017, 3 : 13. DOI: 10.1051/sicotj/2016049.
- [27] Homma Y, Ito S, Zhuang X, et al. Artificial intelligence for distinction of hammering sound in total hip arthroplasty [J]. *Sci Rep*, 2022, 12 (1) : 9826. DOI: 10.1038/s41598–022–14006–2.
- [28] Rouzrokh P, Ramazanian T, Wyles CC, et al. Deep learning artificial intelligence model for assessment of hip dislocation risk following primary total hip arthroplasty from postoperative radiographs [J]. *J Arthroplasty*, 2021, 36 (6) : 2197–2203. e3. DOI: 10.1016/j.arth.2021.02.028.
- [29] Wei J, Li D, Sing DC, et al. Detecting total hip arthroplasty dislocations using deep learning: clinical and Internet validation [J]. *Emerg Radiol*, 2022, 29 (5) : 801–808. DOI: 10.1007/s10140–022–02060–2.
- [30] Zoccali C, Teori G, Salducca N. The role of FDG–PET in distinguishing between septic and aseptic loosening in hip prosthesis: a review of literature [J]. *Int Orthop*, 2009, 33 (1) : 1–5. DOI: 10.1007/s00264–008–0575–2.
- [31] Shah RF, Bini SA, Martinez AM, et al. Incremental inputs improve the automated detection of implant loosening using machine-learning algorithms [J]. *Bone Joint J*, 2020, 102–B (6\_Suppl\_A) : 101–

106. DOI: 10.1302/0301-620X.102B6.BJJ-2019-1577.R1.
- [32] Tseng TW, Chen YP, Yeh YC, et al. Automatic prosthetic-parameter estimation from anteroposterior pelvic radiographs after total hip arthroplasty using deep learning-based keypoint detection [J]. *Int J Med Robot*, 2022, 18 (4): e2394. DOI: 10.1002/rcs.2394.
- [33] Rouzrokh P, Wyles CC, Philbrick KA, et al. A deep learning tool for automated radiographic measurement of acetabular component inclination and version after total hip arthroplasty [J]. *J Arthroplasty*, 2021, 36 (7): 2510-2517.e6. DOI: 10.1016/j.arth.2021.02.026.
- [34] Wang J, Tong Y, Jiang Y, et al. The effectiveness of extended care based on Internet and home care platform for orthopaedics after hip replacement surgery in China [J]. *J Clin Nurs*, 2018, 27 (21-22): 4077-4088. DOI: 10.1111/jocn.14545.
- [35] Wang HM, Lin YP. Deep learning-based postoperative recovery and nursing of total hip arthroplasty [J]. *Comput Math Methods Med*, 2022, 2022: 7811200. DOI: 10.1155/2022/7811200.
- [36] Ferguson RJ, Palmer AJ, Taylor A, et al. Hip replacement [J]. *Lancet*, 2018, 392 (10158): 1662-1671. DOI: 10.1016/S0140-6736(18)31777-X.
- [37] Labek G, Thaler M, Janda W, et al. Revision rates after total joint replacement: cumulative results from worldwide joint register datasets [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2011, 93 (3): 293-7. DOI: 10.1302/0301-620X.93B3.25467.
- [38] Wilson N, Broatch J, Jehn M, et al. National projections of time, cost and failure in implantable device identification: Consideration of unique device identification use [J]. *Healthc (Amst)*, 2015, 3 (4): 196-201. DOI: 10.1016/j.hjdsi.2015.04.003.
- [39] Murphy M, Killen C, Burnham R, et al. Artificial intelligence accurately identifies total hip arthroplasty implants: a tool for revision surgery [J]. *Hip Int*, 2022, 32 (6): 766-770. DOI: 10.1177/1120700020987526.
- [40] Gong Z, Fu Y, He M, et al. Automated identification of hip arthroplasty implants using artificial intelligence [J]. *Sci Rep*, 2022, 12 (1): 12179. DOI: 10.1038/s41598-022-16534-3.

(收稿:2023-04-11 修回:2023-09-12)

(同行评议专家: 殷庆丰, 樊宗庆, 裴晓东, 田利军)

(本文编辑: 宁桦)

(上接 624 页)

- [37] Zhao Z, Zhang L, Kang X, et al. Association between genetic polymorphisms of gene and the risk of steroid-induced osteonecrosis of the femoral head in the Chinese Han male population [J]. *Genet Test Mol Biomarkers*, 2020, 24 (8): 460-466. DOI: 10.1089/gtmb.2020.0048.
- [38] Ye T, An F, Wang J, et al. Polymorphisms are related to steroid-induced osteonecrosis of the femoral head among Chinese Han population [J]. *Biomed Res Int*, 2019, 2019: 8298193. DOI: 10.1155/2019/8298193.
- [39] Duan P, Wang H, Yi X, et al. C/EBP $\alpha$  regulates the fate of bone marrow mesenchymal stem cells and steroid-induced avascular necrosis of the femoral head by targeting the PPAR $\gamma$  signalling pathway [J]. *Stem Cell Res Ther*, 2022, 13 (1): 342. DOI: 10.1186/s13287-022-03027-3.
- [40] 孙志博, 马中希, 叶志伟, 等. AID 对激素性股骨头坏死骨髓间充质干细胞的影响 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (23): 2168-2172. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.23.12.
- Sun ZB, Ma ZX, Ye ZW, et al. Effect of AID on bone marrow mesenchymal stem cells in glucocorticoid-induced osteonecrosis of the femoral head [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2021, 29 (23): 2168-2172. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.23.12.
- [41] Sun M, Cao Y, Yang X, et al. DNA methylation in the OPG/RANK/RANKL pathway is associated with steroid-induced osteonecrosis of the femoral head [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2021, 22 (1): 599. DOI: 10.1186/s12891-021-04472-6.

(收稿:2023-01-10 修回:2023-09-25)

(同行评议专家: 李宏宇, 康学文, 胡旭昌)

(本文编辑: 宁桦)