

· 综 述 ·

人工智能在运动医学领域应用的进展[△]王炎明¹, 谢代俊¹, 吴萌², 姜金^{2*}

(1. 兰州大学第二临床医学院, 甘肃兰州 730030; 2. 兰州大学第二医院骨科, 甘肃兰州 730030)

摘要: 近年来, 随着计算机技术的发展和医工交叉的深入推进, 人工智能 (artificial intelligence, AI) 在医疗领域的应用逐渐深入。目前, AI 在运动医学领域得到了广泛应用, 在运动医学疾病的发生风险预测、影像诊断、术后疗效和并发症预测等方面有着良好的性能和较高的准确性。但是, AI 的发展和进一步的临床应用仍然面临着研究多为回顾性、随访时间短、数据样本量有限和缺少外部验证等问题。本文就 AI 在运动医学领域中的应用现状进行综述, 总结近年来 AI 应用于运动医学疾病的研究进展, 以期临床决策提供参考。

关键词: 人工智能, 机器学习, 运动医学, 文献综述

中图分类号: R68

文献标志码: A

文章编号: 1005-8478 (2025) 09-0791-05

Advances in the application of artificial intelligence in sports medicine // WANG Yan-ming¹, XIE Dai-jun¹, WU Meng², JIANG Jin². 1. Second School of Clinical Medicine, Lanzhou University, Lanzhou 730030, Gansu, China; 2. Department of Orthopaedics, The Second Hospital, Lanzhou University, Lanzhou 730030, Gansu, China

Abstract: In recent years, with the development of computer technology and the in-depth promotion of the intersection of medicine and engineering, the application of artificial intelligence (AI) in the medical field has gradually deepened. At present, AI has been widely used in the field of sports medicine and has good performance and high accuracy in terms of prediction of the occurrence of sports medicine diseases, diagnostic imaging, postoperative efficacy and complication prediction. However, the development and further clinical application of AI still face problems such as retrospective studies, short follow-up time, limited data sample size, and lack of external validation. This article reviews the application status of AI in the field of sports medicine, and summarizes the research progress of AI in sports medicine diseases in recent years, in order to provide a reference for clinical decision-making.

Key words: artificial intelligence, machine learning, sports medicine, literature review

人工智能 (artificial intelligence, AI) 是涉及理论、方法、技术和应用系统开发的新兴技术科学, 致力于模拟、增强及扩展人类智能。其核心技术包括计算机视觉、机器学习、自然语言处理、机器人技术、生物识别及语音识别等^[1, 2]。运动医学综合了骨科学、创伤学、康复学和运动学等, 是目前临床医学领域快速发展的新兴交叉学科^[3]。随着大数据时代的来临, 医学和工程学科的交叉越发紧密。近年来, 机器学习在骨科领域中的应用呈现了指数式增长, 特别是在运动医学领域, 得到了广泛应用, 为疾病的影像诊断、治疗和预后提供了强大助力^[4-6]。本文主要就 AI 中机器学习在运动医学疾病发生风险预测、影像诊

断、术后疗效及并发症预测中的应用进行综述, 以期临床决策提供新的参考和思路。

1 AI 在预测疾病发生风险中的应用

早期筛查可以大幅度降低运动医学疾病的发病率和手术率^[7], 基于对人群运动状况的评估和影像学、关节镜检查结果的分析, AI 可以对运动医学疾病的发生风险进行良好预测。Li 等^[8]开发了一种机器学习模型以识别肩袖撕裂 (rotator cuff tears, RCT) 的临床特征, 预测发生的风险。结果显示, 极端梯度提升算法具有最佳预测性能, 其受试者工作特征曲线下

DOI:10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.110316

△基金项目: 甘肃省自然科学基金项目 (编号: 22JR5RA984); 中央高校基本科研业务费专项资金 (编号: lzujbky-2024-ey11); 国家级大学生创新创业训练计划项目 (编号: 202310730202; 202410730209)

作者简介: 王炎明, 在读本科生, 研究方向: 运动医学、人工智能等, (电子信箱) wangym20@126.com

*** 通信作者:** 姜金, (电子信箱) jiangjin2007@163.com

积 (area under curve, AUC) 为 0.95, 准确率为 85%。而 SHAP 解释器 (shapley additive explanation) 显示预测 RCT 发生最主要的 3 个因素分别为空罐试验、熊抱试验和年龄, 平均 SHAP 值分别为 1.458、0.95 和 0.79。Kim 等^[9] 则使用支持向量机算法构建预测肩峰下疼痛综合征的机器学习模型, 结果显示, 其准确率为 82.4%, 重要的预测变量为肩关节的内旋及外展和肩关节肌力的内旋。而在下肢运动医学疾病方面, AI 也发挥着重要预测价值。Tamimi 等^[10] 采用高斯朴素贝叶斯算法构建机器学习模型预测膝关节前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 损伤风险, 结果显示, 模型预测准确率为 92%, 最佳预测因素为胫骨平台内外侧骨斜率。而在另外一项研究中, 预测 ACL 损伤风险模型的准确率则达到了 96%^[11]。此外, Lu 等^[12] 比较了 5 种机器学习算法和传统多变量逻辑回归分析, 探究其预测下肢肌肉拉伤风险的性能, 结果显示, 机器学习算法模型预测准确率均为 78.7%~84%, 均显著高于传统逻辑回归。

当前大量临床研究结果显示, AI 模型可以通过对骨骼肌肉系统的检查, 早期预测运动医学疾病的发生风险, 并提出干预措施, 防止疾病进一步发展。目前, 预测模型仍存在样本量不足、预测精度不够高和预测变量过多、不适用于临床等问题。但是, 未来随着计算机技术的发展和样本数据量的增加, AI 预测运动医学疾病发生风险的准确性也将得到进一步提高, 辅助临床医师对运动医学疾病的早期预防, 真正做到“治未病”。

2 AI 在疾病影像诊断中的应用

运动医学疾病的诊断依据主要是影像检查, 包括 X 线片、CT 和 MRI。基于影像学图像的诊断方式存在一定主观性, 医师的水平影响诊断准确性, 而人工智能可按既定程序运行, 进而避免主观性影响。随着机器学习和深度学习的快速发展, AI 在影像诊断方面展现出了广阔的应用前景^[13]。Shim 等^[14] 提出了基于深度学习算法的卷积神经网络 (convolutional neural network, CNN) 模型对 RCT 进行诊断和分类, 并与骨科医师进行比较。共纳入 2 124 例患者的肩部 MRI, 结果显示, 模型诊断准确率、灵敏度和特异度分别为 92.5%、0.94 和 0.90, 而对 RCT 进行分类对应的各项数值分别为 87.5%、0.92 和 0.86, 该模型诊断和分类 RCT 的性能均优于骨科医师。Lin 等^[15] 的研究显示, 深度学习模型诊断冈上肌、冈下肌和肩胛

下肌腱撕裂的 AUC 分别为 0.93、0.89 和 0.90。对于影像诊断较为困难的髌关节孟唇损伤, 深度学习作为辅助诊断手段发挥着更大作用^[16]。Ni 等^[17] 通过迭代 1 016 例患者的髌关节 MRI 来建立 CNN 诊断模型, 其诊断和分型的准确率分别为 94% 和 92%, 而放射科医师则分别为 85%~92% 和 78%~94%。

在膝关节运动损伤影像诊断上, AI 也显示出巨大潜力。Hung 等^[18] 开发的 CNN 模型训练了 584 张膝关节半月板撕裂的 MRI, 并进行了外部验证, 结果显示, 模型准确率为 96%, 外部验证准确率为 79%。而在另外一项研究中, 深度学习模型诊断半月板撕裂的 AUC 为 0.90^[19]。除此之外, Cheng 等^[20] 基于 526 例患者的膝关节 MRI 开发了机器学习模型, 用于 ACL 撕裂的自动诊断, 结果显示, 模型的 AUC 为 0.93, 灵敏度为 0.86, 特异度为 0.83。此外, 在踝关节运动损伤领域, Ni 等^[21] 使用 1 074 例患者的踝关节 MRI 训练、验证和测试 CNN 模型自动诊断跟腓韧带损伤, 结果显示, 模型区分完整、部分撕裂和完全撕裂的跟腓韧带的准确率分别为 95%、97% 和 96%, 而在外部验证中, 该模型达到了与资深放射科医师相同的诊断性能。Astolfi 等^[22] 则使用 132 例患者的踝关节 MRI, 采用一系列机器学习算法, 建立踝关节距腓前韧带损伤诊断模型并与临床医师进行比较, 结果显示, 该模型诊断准确率为 85%, 比临床医师的分析提高了 22%。

上述研究结果显示, AI 对于运动医学疾病的诊断性能与临床医师或放射科医师相似^[23], 而在识别更隐匿的疾病方面, 如髌关节孟唇损伤, 其效率和诊断性能更佳。随着算法效率和影像数据量的提升, AI 模型的精度也将得到进一步提高, 辅助临床医师确定诊疗方案, 进一步优化医疗资源分配, 带来巨大的社会效益。

3 AI 在预测术后疗效中的应用

机器学习具有很强的自组织、自适应和容错能力等特征, 与传统用于预测术后疗效的逻辑回归或线性回归方法不同, 机器学习算法在识别非线性问题上有很强优势, 可以提高预测的准确率^[24]。而运动医学疾病的复杂性决定了术后准确预测疗效非常困难。近年来, 一些研究逐渐将机器学习应用于运动医学疾病术后疗效的预测。Potty 等^[25] 采用机器学习算法来识别肩袖修复术后患者功能恢复的预测因素, 通过机器学习模型产生预期的美国肩肘外科医生协会 (Ameri-

can Shoulder and Elbow Surgeons, ASES) 评分并与实际的评分进行比较。结果显示, 术后 12 个月时, 极端梯度提升算法 67% 的预测值达到最小临床重要差异 (minimal clinically important difference, MCID), 而 87% 的预测值达到了实质性临床获益 (substantial clinical benefit, SCB)。SHAP 解释器确定术前 ASES 评分、术前疼痛评分、体重指数、年龄和肌腱质量是预测患者功能恢复的最重要因素。作者认为, 机器学习算法可以使用术前因素准确预测术后 ASES 评分。在下肢方面, Nwachukwu 等^[26] 使用机器学习算法构建了股骨髁臼撞击综合征患者术后疗效的预测模型, 结果显示, 模型预测达到髋关节结局评分-日常生活活动 (hip outcome score - activities of daily living, HOS-ADL) 的 MCID 的 AUC 为 0.89。焦虑或抑郁、症状持续时间>2 年、术前关节内注射和术前 HOS-ADL 评分较高被认为是无法达到良好临床疗效的危险因素。Ramkumar 等^[27] 则开发了一系列基于机器学习算法的模型, 预测膝关节软骨移植治疗软骨缺损术后 2 年的临床结局, 结果显示, 模型预测达到 MCID 的 AUC 为 0.88, 而达到 SCB 的 AUC 为 0.90。术前较高的体重指数、膝关节对线不良、伴有 ACL 或半月板损伤、较大的软骨缺损等被 SHAP 解释器确立为预后的不良因素。

此外, 在预测 ACL 重建术后疗效方面, 机器学习也有着较高的准确性。Ye 等^[28] 利用机器学习算法, 构建了 ACL 重建术后临床结局的预测模型, 结果显示, 未达到 Lysholm 评分的 MCID 的 AUC 和准确率为 0.93 和 91%; 未达到国际膝关节文献委员会 (International Knee Documentation Committee, IKDC) 评分的 MCID 分别为 0.94 和 95.1%。SHAP 解释器确定术前 Lysholm 评分和 IKDC 评分较高, 可高度预测未实现患者报告结局的 MCID。

面对复杂多元的临床数据, AI 可以对数据进行清洗处理, 获得同质化数据, 通过对运动医学疾病患者的术前评估结果来预测术后功能恢复情况。但是, 目前相关研究仍面临着研究多为回顾性、单中心, 未纳入的潜在变量较多和模型缺少外部验证的问题。今后, 随着相关临床研究的广泛开展、长时期大样本量数据库的建立和多中心合作的展开, AI 模型的普适性将得到显著提高。

4 AI 在预测术后并发症风险中的应用

随着人工智能在医疗领域应用日趋广泛, 在运动

医学疾病术后并发症的预测方面, AI 也愈发显现出积极的作用。在上肢方面, Cho 等^[29] 使用机器学习算法对 580 例患者的 1 394 张关节镜图像进行训练、验证和测试, 结果显示, 密集连接卷积网络模型的 AUC 为 0.92, 准确率达到了 91%; 而另一项研究则显示, 年龄、残端分类和撕裂大小是重要的预测因素^[30]。在下肢运动损伤方面, Haeberle 等^[31] 开发了基于随机森林算法的预测模型来评估股骨髁臼撞击综合征患者术后再次翻修的风险, 结果显示, 模型的 AUC 为 0.77, 准确率为 76%, 体重指数较高和术前 HOS-ADL 评分较低是重要预测特征。Martin 等^[32, 33] 利用机器学习算法构建了 ACL 重建术后再撕裂的预测模型, 结果显示, 模型预测准确率为 69%, 外部验证准确性率 68%。此外, 该研究还确立了移植物选择、股骨固定器械、手术时功能评分、损伤至手术时间和手术时年龄为预测的重要因素。此外, Jurgensmeier 等^[34] 开发了 4 种机器学习模型来评估 ACL 重建术后继发半月板损伤风险, 结果显示, 最佳算法为随机森林, AUC 为 0.79, 4 种模型的预测性能均优于传统逻辑回归, 确立了恢复运动时间较短、受伤时视觉模拟评分较低、受伤至手术的时间增加、受伤年龄较大和近端 ACL 撕裂为 5 个主要危险因素。而 Lu 等^[35] 采用随机森林算法模型来预测 ACL 重建术后发生创伤性骨关节炎的风险, 结果显示模型准确率为 75%, 性能优于传统生存分析。

通过 AI 模型对运动医学疾病术后并发症发生风险的预测及危险因素的识别, 临床医师可以为患者提供个性化的术后护理, 降低并发症发生率。然而, 当前部分 AI 模型存在预测准确率不高的问题, 究其原因, 主要是研究多为回顾性、随访时间短、样本量小和缺少外部验证。今后, 临床工作者应开展前瞻性研究、建立大规模长时间的临床数据库并增加外部验证步骤, 以建立性能更优、适用范围更广的 AI 模型。

5 小结与展望

综上所述, 近年来, 随着计算机技术的不断发展和医工交叉的融合创新, AI 在运动医学领域得到了越来越广泛的应用。在运动医学疾病的发生风险预测、影像诊断、疗效预测和术后并发症风险预测方面都发挥着重要作用, 有着良好的性能。但是, 正如之前研究所注意到的, 临床实际情况较为复杂, AI 算法可能会过度拟合数据, 导致“数据中的虚假相关性”, 尽管算法具有预测能力, 但“精确预测出的预

测因子”并不是真实的原因^[36, 37]。此外,当前研究仍存在问题,如多为回顾性分析、随访时间短、数据样本量有限和缺少外部验证等。但是,随着技术的进步、样本量及随访时间的增加和研究的规范,AI的准确性和适用性将会得到进一步的提高,将有更加广阔的应用前景。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 王炎明: 论文撰写、文章审阅; 谢代俊: 采集数据、论文撰写; 吴萌: 文章审阅、获取研究经费; 姜金: 文章审阅、获取研究经费、指导及支持性贡献

参考文献

- [1] 苗夺谦, 张清华, 钱宇华, 等. 从人类智能到机器实现模型——粒计算理论与方法[J]. 智能系统学报, 2016, 11 (6): 743-757. DOI: 10.11992/tis.201612014.
- [2] 蔡自兴. 中国人工智能 40 年[J]. 科技导报, 2016, 34 (15): 12-32. DOI: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.15.001.
- [3] 陈世益, 华英会, 陈天武. 中国运动医学的发展机遇和方向[J]. 中国运动医学杂志, 2023, 103 (11): 783-786. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20220920-01978.
- [4] Kumari S, Singh P. Deep learning for unsupervised domain adaptation in medical imaging: Recent advancements and future perspectives[J]. Comput Biol Med, 2024, 170: 107912. DOI: 10.1016/j.combiomed.2023.107912.
- [5] Alsoof D, McDonald CL, Kuris EO, et al. Machine learning for the orthopaedic surgeon: Uses and limitations[J]. J Bone Joint Surg Am, 2022, 104 (17): 1586-1594. DOI: 10.2106/JBJS.21.01305.
- [6] Fayed AM, Mansur NSB, de Carvalho KA, et al. Artificial intelligence and chatgpt in orthopaedics and sports medicine[J]. J Exp Orthop, 2023, 10 (1): 74. DOI: 10.1186/s40634-023-00642-8.
- [7] 李佳伟, 丁良甲, 金凤, 等. 人工智能在髋关节置换应用现状[J]. 中国矫形外科杂志, 2024, 32 (7): 625-630. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2024.07.09.
- [8] Li C, Alike Y, Hou J, et al. Machine learning model successfully identifies important clinical features for predicting outpatients with rotator cuff tears[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2023, 31 (7): 2615-23. DOI: 10.1007/s00167-022-07298-4.
- [9] Kim JH, Kwon OY, Hwang UJ, et al. Prediction model of subacromial pain syndrome in assembly workers using shoulder range of motion and muscle strength based on support vector machine[J]. Ergonomics, 2023; 1-10. DOI: 10.1080/00140139.2023.2290983.
- [10] Tamimi I, Ballesteros J, Lara AP, et al. A prediction model for primary anterior cruciate ligament injury using artificial intelligence[J]. Orthop J Sports Med, 2021, 9 (9): 23259671211027543. DOI: 10.1177/23259671211027543.
- [11] Taborri J, Molinaro L, Santospagnuolo A, et al. A machine-learning approach to measure the anterior cruciate ligament injury risk in female basketball players[J]. Sensors (Basel), 2021, 21 (9): 3141. DOI: 10.3390/s21093141.
- [12] Lu Y, Pareek A, Lavoie-Gagne OZ, et al. Machine learning for predicting lower extremity muscle strain in national basketball association athletes[J]. Orthop J Sports Med, 2022, 10 (7): 23259671221111742. DOI: 10.1177/23259671221111742.
- [13] Lalehzarian SP, Gowd AK, Liu JN. Machine learning in orthopaedic surgery[J]. World J Orthop, 2021, 12 (9): 685-699. DOI: 10.5312/wjo.v12.i9.685.
- [14] Shim E, Kim JY, Yoon JP, et al. Author correction: Automated rotator cuff tear classification using 3d convolutional neural network[J]. Sci Rep, 2021, 11 (1): 15996. DOI: 10.1038/s41598-021-95469-7.
- [15] Lin DJ, Schwier M, Geiger B, et al. Deep learning diagnosis and classification of rotator cuff tears on shoulder MRI[J]. Invest Radiol, 2023, 58 (6): 405-412. DOI: 10.1097/rli.0000000000000951.
- [16] Bencardino JT, Kassarian A, Palmer WE. Magnetic resonance imaging of the hip: Sports-related injuries[J]. Top Magn Reson Imaging, 2003, 14 (2): 145-160. DOI: 10.1097/00002142-200304000-00004.
- [17] Ni M, Wen X, Chen W, et al. A deep learning approach for MRI in the diagnosis of labral injuries of the hip joint[J]. J Magn Reson Imaging, 2022, 56 (2): 625-634. DOI: 10.1002/jmri.28069.
- [18] Hung TNK, Vy VPT, Tri NM, et al. Automatic detection of meniscus tears using backbone convolutional neural networks on knee MRI[J]. J Magn Reson Imaging, 2023, 57 (3): 740-749. DOI: 10.1002/jmri.28284.
- [19] Roblot V, Giret Y, Bou Antoun M, et al. Artificial intelligence to diagnose meniscus tears on MRI[J]. Diagn Interv Imaging, 2019, 100 (4): 243-249. DOI: 10.1016/j.diii.2019.02.007.
- [20] Cheng Q, Lin H, Zhao J, et al. Application of machine learning-based multi-sequence MRI radiomics in diagnosing anterior cruciate ligament tears[J]. J Orthop Surg Res, 2024, 19 (1): 99. DOI: 10.1186/s13018-024-04602-5.
- [21] Ni M, Zhao Y, Wen X, et al. Deep learning-assisted classification of calcaneofibular ligament injuries in the ankle joint[J]. Quant Imaging Med Surg, 2023, 13 (1): 80-93. DOI: 10.21037/qims-22-470.
- [22] Astolfi RS, da Silva DS, Guedes IS, et al. Computer-aided ankle ligament injury diagnosis from magnetic resonance images using

- machine learning techniques [J]. *Sensors (Basel)*, 2023, 23 (3): 1565. DOI: 10.3390/s23031565.
- [23] Kunze KN, Rossi DM, White GM, et al. Diagnostic performance of artificial intelligence for detection of anterior cruciate ligament and meniscus tears: A systematic review [J]. *Arthroscopy*, 2021, 37 (2): 771–781. DOI: 10.1016/j.arthro.2020.09.012.
- [24] Žlak N, Kacin A, Martinčič D, et al. Age, body mass index, female gender, and patellofemoral cartilage degeneration predict worse patient outcome after patellofemoral instability surgery [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2022, 30 (11): 3751–3759. DOI: 10.1007/s00167-022-06986-5.
- [25] Potty AG, Potty ASR, Maffulli N, et al. Approaching artificial intelligence in orthopaedics: Predictive analytics and machine learning to prognosticate arthroscopic rotator cuff surgical outcomes [J]. *J Clin Med*, 2023, 12 (6): 2369. DOI: 10.3390/jcm12062369.
- [26] Nwachukwu BU, Beck EC, Lee EK, et al. Application of machine learning for predicting clinically meaningful outcome after arthroscopic femoroacetabular impingement surgery [J]. *Am J Sports Med*, 2020, 48 (2): 415–423. DOI: 10.1177/0363546519892905.
- [27] Ramkumar PN, Karnuta JM, Haeberle HS, et al. Effect of preoperative imaging and patient factors on clinically meaningful outcomes and quality of life after osteochondral allograft transplantation: A machine learning analysis of cartilage defects of the knee [J]. *Am J Sports Med*, 2021, 49 (8): 2177–2186. DOI: 10.1177/03635465211015179.
- [28] Ye Z, Zhang T, Wu C, et al. Predicting the objective and subjective clinical outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction: A machine learning analysis of 432 patients [J]. *Am J Sports Med*, 2022, 50 (14): 3786–3795. DOI: 10.1177/03635465221129870.
- [29] Cho S H, Kim YS. Prediction of retear after arthroscopic rotator cuff repair based on intraoperative arthroscopic images using deep learning [J]. *Am J Sports Med*, 2023, 51 (11): 2824–2830. DOI: 10.1177/03635465231189201.
- [30] Shinohara I, Mifune Y, Inui A, et al. Re-tear after arthroscopic rotator cuff tear surgery: Risk analysis using machine learning [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2024, 33 (4): 815–822. DOI: 10.1016/j.jse.2023.07.017.
- [31] Haeberle HS, Ramkumar PN, Karnuta JM, et al. Predicting the risk of subsequent hip surgery before primary hip arthroscopy for femoroacetabular impingement syndrome: A machine learning analysis of preoperative risk factors in hip preservation [J]. *Am J Sports Med*, 2021, 49 (10): 2668–2676. DOI: 10.1177/03635465211024964.
- [32] Martin RK, Wastvedt S, Pareek A, et al. Machine learning algorithm to predict anterior cruciate ligament revision demonstrates external validity [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2022, 30 (2): 368–375. DOI: 10.1007/s00167-021-06828-w.
- [33] Martin RK, Wastvedt S, Pareek A, et al. Predicting anterior cruciate ligament reconstruction revision: A machine learning analysis utilizing the norwegian knee ligament register [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2022, 104 (2): 145–153. DOI: 10.2106/jbjs.21.00113.
- [34] Jurgensmeier K, Till SE, Lu Y, et al. Risk factors for secondary meniscus tears can be accurately predicted through machine learning, creating a resource for patient education and intervention [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2023, 31 (2): 518–529. DOI: 10.1007/s00167-022-07117-w.
- [35] Lu Y, Reinholz AK, Till SE, et al. Predicting the risk of posttraumatic osteoarthritis after primary anterior cruciate ligament reconstruction: A machine learning time-to-event analysis [J]. *Am J Sports Med*, 2023, 51 (7): 1673–1685. DOI: 10.1177/03635465231168139.
- [36] 崔东明, 陶春生. 腰椎间盘突出症机器学习的研究进展 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2023, 31 (12): 1121–1125. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.12.13.
- Cui DM, Tao CS. Research progress on machine learning in the field of lumbar disc herniation [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2023, 31 (12): 1121–1125. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.12.13.
- [37] 赵燕鹏, 唐佩福. 骨科机器人及导航技术研究进展 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2016, 24 (3): 242–246. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2016.03.10.
- Zhao YP, Tang PF. A review of robot system and its navigational system in orthopaedic surgery [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2016, 24 (3): 242–246. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2016.03.10.
- (收稿: 2024-04-24 修回: 2024-12-06)
(同行评议专家: 王昕, 赵海燕)
(本文编辑: 宁桦)