

· 综述 ·

腰椎间盘突出症机器学习的研究进展[△]

崔东明¹, 陶春生^{2*}

(1. 青岛大学青岛医学院, 山东青岛 2660753; 2. 海军第971医院骨科一病区, 山东青岛 266071)

摘要: 腰椎间盘突出 (lumbar disc herniation, LDH) 是一种高发病率疾病, 也是导致成年人下肢感觉运动障碍的常见原因。目前对于 LDH 的研究大多是传统的研究, 但随着人工智能时代的到来, 机器学习 (machine learning, ML) 逐渐登上了历史舞台。ML 可以利用计算机从大数据中“学习”复杂关系, 并产生将大量协变量与感兴趣的目标变量联系起来的模型。具体功能包括但不限于病变检测和分类、图像自动分割、数据分析、放射特征提取、优先报告和研究分类以及图像重建。ML 处理数据的能力已达到相当高的水平。本文就基于 ML 在 LDH 方面的研究予以综述。

关键词: 腰椎间盘突出, 机器学习, 人口统计学, 临床数据, 核磁共振成像

中图分类号: R681.53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2023) 12-1121-05

Research progress on machine learning in the field of lumbar disc herniation // CUI Dong-ming¹, TAO Chun-sheng². 1. Qingdao Medical College, Qingdao University, Qingdao 266075, China; 2. Department of Orthopedics, The 971st Hospital of CPLA Navy, Qingdao 266071, China

Abstract: Lumbar disc herniation (LDH) is a highly prevalent disease and a common cause of sensory-motor disorders of the lower extremities in adults. Most of the current research on LDH is traditional, however, with the advance of artificial intelligence, machine learning (ML) is gradually taking the historical stage. The ML use computers to learn complex relationships from big data and generate models that link a large number of covariates to the target variable of interest, including but not limited to lesion detection and classification, automatic image segmentation, data analysis, radiological feature extraction, priority reporting and study classification, and image reconstruction. The ML has reached a considerable level of ability to process data. This paper reviews current ML researches in LDH.

Key words: lumbar disc herniation, machine learning, demographic statistics, clinical data, magnetic resonance imaging

LDH 是一种高发病率疾病, 也是导致成年人下肢感觉运动障碍的常见原因^[1, 2]。LDH 的主要症状和体征包括神经根性疼痛、感觉异常和一个或多个腰骶神经根分布区域无力。X 线片是腰痛患者最常用的检查方式。磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 是评估神经根痛最常用的检查方法^[3]。大多数 LDH 患者采用保守治疗即有良好预后, 只有少数最终需要手术治疗。

随着医学技术的发展, 在医疗领域产生越来越多的数据, 影像图片。这些大数据中往往蕴藏着医学规律, 但人类处理数据的能力有限。在计算能力、存储、内存和生成大量数据的推动下, 计算机正以惊人的精度被用于执行各种复杂数据处理任务。因此, 基于数学、统计学、计算机科学的机器学习 (machine

learning, ML) 在医学领域中的应用越来越广泛^[4]。

1 ML 的相关概念

ML 即利用计算机从大数据中“学习”复杂关系或模式, 并因此产生将大量协变量与感兴趣的目标变量联系起来的模型^[5]。这些模型 (图 1) 包括传统的 ML 模型, 如决策树, 随机森林, 最近邻, 线性回归, 支持向量机, K 均值等; 还包括深度学习 (deep learning, DL) 模型, 如卷积神经网络 (convolutional neural networks, CNN), 循环神经网络 (recurrent neural network, RNN), 生成对抗网络 (generative adversarial networks, GAN), 递归神经网络 (recursive neural network, RNN) 等。在医学领域, 这意味着能

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2023.12.13

△基金项目: 山东省医药卫生科技发展计划项目 (编号: 202009040456)

作者简介: 崔东明, 硕士研究生在读, 研究方向: 脊柱与关节运动创伤, (电话) 15214402676, (电子信箱) cdm2676@163.com

* 通信作者: 陶春生, (电话) 13605321710, (电子信箱) taocs2004@163.com

够根据来自图片存档和通信系统的放射图像、来自实验室信息系统的实验室结果或从电子病历中提取的数据进行分析建模^[6]。具体功能包括但不限于病变检测和分类、图像自动分割、数据分析、放射特征提取、优先报告和研究分类以及图像重建。在科学研究和临床工作中，帮助医师做出更有效和更准确的决定^[7]。ML 也可与传统统计分析并行使用，以对研究数据提供更深入的见解。基于对检索文献的阅读分析，作者把基于 ML 算法对 LDH 研究的数据主要归纳为以下三类，即人口统计学及临床数据，医学影像学数据及其他数据。

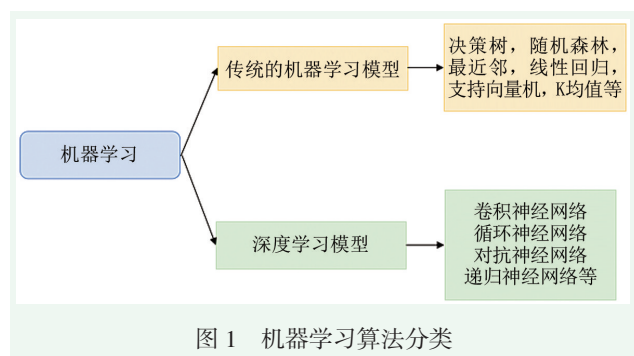


图 1 机器学习算法分类

2 基于人口统计学及临床数据的 ML 对 LDH 研究

有研究报告，社会人口统计学数据对于描述以及确定患者诊疗经过、预后和治疗效果异质性的影响因素至关重要，人口统计学数据包括患者的年龄、性别、体重指数、疾病危险因素等信息^[8]。电子病历是临床数据的主要来源，电子病历包含与数据科学相关的不同数据源。最明显的是与个人健康状况直接相关的数据，如实验室数值、医学影像或医师的书面记录。关于 LDH 自动诊断涉及到 3 篇文献。Ren 等^[9]开发了基于自然语言处理（natural language processing, NLP）的 ML 算法：长短期记忆和极端梯度增强模型，根据入院记录中的阳性症状自动区分 LDH 和腰椎管狭窄症（lumbar spinal stenosis, LSS），并得出与广泛使用的极端梯度增强模型相比，DL 模型长短期记忆在使用阳性症状区分 LDH 和 LSS 方面表现出更好的能力。同样，Soim 等^[10]收集脊柱疼痛患者人口统计学、疼痛类型、疼痛评分等特定数据点的数据，将数据输入到决策树 ML 软件程序中，评估是否可以通过 ML 算法预测与脊柱疼痛相关疾病最可能的诊断。Lewandrowski 等^[11]从患者的腰椎 MRI 报告中提取数据，并使用 NLP 模型生成口头和书面报告：椎管正常或狭窄。认为 DL 用于生成腰椎 MRI 的常规

报告时，是一种很好的工具。关于预测术后 LDH 再突出风险、手术治疗效果、药物使用时间等涉及到 10 篇文献。Yen 等^[12]通过收集台湾 LDH 患者术后的人口统计学及临床数据，研究美国公民预测模型 SORG（术前预测 LDH 患者术后阿片类药物处方延长的风险）是否适合于台湾患者。2018~2020 年，Kardhade 等^[13-16]共发表了 4 篇基于 LDH 患者人口统计学及临床数据的 ML 算法文章，主要研究了术后 LDH 患者非常规出院（除回家以外的任何出院）；未耐受阿片类药物患者在腰椎手术后长期使用阿片类药物的情况；腰椎间盘切除术后因伤口感染需要再次手术的患者以及腰椎减压手术后达到最小临床重要差异的算法。Pedersen 等^[17]收集 LDH 术后患者的人口统计学和术前报告等 16 项数据，训练 DL、决策树、随机森林、增强树和支持向量机模型，来预测患者术后 1 年的治疗效果。Harada 等^[18]回顾了接受显微椎间盘切除术患者术前疼痛/残疾/功能概况和人口统计学等指标，利用极端梯度增强分类器开发了预测模型，来预测腰椎复发性椎间盘突出的危险因素。Wirries 等^[19]收集由 LDH 引起的神经根性疼痛患者的人口统计学和 ODI 评分等数据来训练和测试 DL 算法，旨在了解 DL 技术是否可以预测 LDH 患者治疗 6 个月后的结果。Staartjes 等^[20]收集了腰椎术后患者的人口统计学等数据，训练了基于 DL 网络和逻辑回归的 PROM 预测模型，用于术前预测术后症状改善的情况。Shamim 等^[21]通过收集 LDH 患者后路显微椎间盘切除术后人口统计学、手术程序、术后过程等数据，开发了标准模糊推理系统来预测脊柱手术后患者的健康状况，该系统有望帮助医护人员在患者管理等方面做出更好的决策，以防止背部手术失败。

基于人口统计学和临床数据的 ML 对 LDH 的研究是 LDH 智能化医疗的重要组成部分。但目前 LDH 诊断方面研究较少，可能是由于 LDH 的诊断主要依赖影像学诊断，人口统计学和临床数据包含的诊断信息有限；也可能是目前开发的 ML 模型泛化能力有限，无法推广使用等；但未来能否开发出更好的基于人口统计学和临床数据的 ML 模型用于 LDH 诊断？基于人口统计学和临床数据的 ML 在 LDH 其他方面的研究相对较多，主要集中在预测术后 LDH 再突出风险，手术治疗效果，药物使用等，但所用到的 ML 方法大多为有监督学习和 DL，目前看来，基于人口统计学和临床数据的无监督学习算法对 LDH 未来的研究有广泛的前景。

3 基于MRI数据的ML对LDH研究

根据对文献的分析,目前ML用于LDH研究的影像,大都采用MRI图像。可能是由于MRI具有良好的分辨率,易于辨别各组织结构,且能为医师提供更多关于疾病的信息。关于疾病自动诊断涉及到4篇文献。Lehnen等^[22]利用基于U-Net的CNN自动诊断椎间盘膨出、椎间盘突出、椎管狭窄、神经根压迫和腰椎滑脱。Tsai等^[23]利用数据增强技术在YOLOv3模型上训练小规模MRI数据集来自动诊断LDH,该方法显示出对于有限的临床数据集,快速初始测试和自动检测的可能性。Koh等^[24]基于腰椎矢状位MRI图像使用异构分类器开发了腰椎计算机辅助诊断框架,用于诊断椎间盘是否突出。Oktay等^[25]基于腰椎矢状MRI图像提出了一种ML框架用来自动诊断椎间盘退变,最后支持向量机分类器用于将椎间盘分类为正常或退变。关于椎间盘分级,图像分割,术后预测等共涉及4篇文献。Jamaludin等^[26]通过训练CNN模型,可以自动从MRI图像中对椎间盘和椎体进行分级。Gao等^[27]引入了基于ML算法的深度ResNet方法,构建了MRI图像的ML去噪算法,此算法应用于LDH患者的诊断并分析腰椎小关节角度,椎间盘退变和腰椎小关节退变之间的相关性。Ghosh等^[28]提出了一种利用启发式和ML技术自动检测腰椎矢状MRI图像中所有可见椎间盘的方法,其次提出了一种同时分割腰椎矢状面MRI图像中所有组织(椎体、椎间盘、硬膜囊和背景)的方法。Lewandrowski等^[29]应用新型DL神经网络Multus Radbote作为独立预测器,根据放射科医师的MRI分级和影像判读,预测腰椎椎间孔镜手术的预后。

基于MRI数据的ML对LDH研究,无论是自动诊断还是椎间盘分级等大都采用DL的方法。对于分析图像任务,CNN网络目前已成为最常用的DL网络。迄今为止,有关DL在医学成像中的应用,大多数研究报告了非常好的结果,从而提高了人们对人工智能工具的期望。但是,大多数研究都使用小型训练集,并且训练好的模型尚未经过大量真实世界测试数据的严格验证。这些DL模型对新患者或不同临床环境的通用性仍然未知^[30]。

4 基于其他数据的ML对LDH研究

Staartjes等^[31]利用5次重复坐立测试时间与患

者年龄、性别、身高及体重创建了一个ML算法,用于自动诊断LDH、LSS和下背痛(low-back pain, LBP)。使用5次重复坐立测试时,通常用脊柱健康志愿者群体的正常上限(10.5 s)来识别客观功能损害,但这没有考虑个体的差异(例如高和矮,胖和瘦,年龄大小)。因此,Staartjes等^[32]又开发了一种个性化测试方法,使用ML来量化患者特定的客观功能损害。DL技术在腰骶部CT图像的自动分割和三维重建中具有重要的应用前景,Fan等^[33]通过DL在CT上实现了腰骶部结构的准确快速分割,得出基于DL的腰骶部重建模拟椎间孔成形术可能有助于在L₅S₁水平预测PETD的手术难度。Li等^[34]研究LDH患者和健康对照组在无疼痛的情况下进行平稳运动(左/右侧弯)时的表面脑电图。结果表明,左侧弯时LDH组与健康对照组脑电图参数有显著性差异。

目前基于ML对LDH研究的数据,大多来源于人口统计学数据、临床数据和MRI数据,像上述提到的特定功能试验、脑电图、CT等数据目前研究较少。ML的潜力巨大,能否将ML技术与临床的其他指标联系起来?这也为未来的研究提供了参考方向。

5 小结与展望

ML是新兴的颠覆性技术,如今已达到相当高的发展水平,使其能够对多个研究领域产生实际影响。将大量数据和变量联系在一起的能力是ML模型相对于传统的基于规则的方法和传统的回归模型的主要优势,虽然ML模型“捕获数据中复杂的非线性关系”的能力毋庸置疑,但这种能力并不能为医师在诊疗时提供问题的全方位解决方案。正如之前研究所注意到的那样,ML算法可能会过度拟合数据,受临床实际情况复杂性的影响,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^[35, 36]。经实验研究已经证实DL的准确度已经达到或者超过专业医师,由于临床情况复杂多变,实际应用于临床的并不多^[37]。

目前有关ML在LDH上的研究焦点大多集中于对LDH的自动诊断及预后,对于LDH的分类以及治疗方式的选择却很少关注。如何通过ML来对LDH精确分型,并准确预测哪种治疗方式对个体最有益,这将是未来的研究方向。但也离不开临床医师的临床查体及分析病史。同时,将ML运用到临床实践中需要计算机工程师的参与,医师提出临床工作中需要解决的问题,计算机工程师负责算法的建立与验证,将

工科和医学相结合，这是实现智慧化医疗的重要一步。

综上所述，虽然 ML 关于 LDH 的研究已在多方面开展，但仍处于初步阶段，但随着人工智能的快速发展与精准医学和个体化医疗理念的不断深入，更多适用于医疗行业的 ML 模型会被不断开发出来，随着 ML 技术的进步，数据分析也将会越来越精准。虽然目前来看，人工智能和 ML 不会取代临床医师，但 ML 技术可以辅助临床医生诊疗，提高工作效率，降低误诊率和漏诊率，更好地解决病痛。相信在不久的将来，ML 会在临床工作中发挥出更大的作用，将会成为临床医师的“左膀右臂”。

参考文献

- [1] 朱广铎, 镐英杰, 于磊, 等. 腰椎间盘突出伴或不伴继发性脊柱侧凸手术前后比较 [J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28 (19): 1738-1743.
- [2] 冉鹤, 孙绪宝, 刘文清. TESSYS 技术治疗重度中央型腰椎间盘突出症 [J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28 (17): 1613-1615.
- [3] 李强, 赵红金, 宋绪荣, 等. 3.0T MR 三维成像序列在腰骶神经根成像上的应用 [J]. 中国矫形外科杂志, 2019, 27 (8): 740-743.
- [4] Jordan MI, Mitchell TM. Machine learning: trends, perspectives, and prospects [J]. *Science*, 2015, 349 (6245): 255-260.
- [5] Obermeyer Z, Emanuel EJ. Predicting the future - big data, machine learning, and clinical medicine [J]. *N Engl J Med*, 2016, 375 (13): 1216-1219.
- [6] Cabrita F, Locoro A, Banfi G. Machine learning in orthopedics: a literature review [J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2018, 6: 75.
- [7] Thrall JH, Li X, Li Q, et al. Artificial intelligence and machine learning in radiology: opportunities, challenges, pitfalls, and criteria for success [J]. *J Am Coll Radiol*, 2018, 15 (3 Pt B): 504-508.
- [8] Stadeli KM, Hantouli MN, Brewer EG, et al. Beyond demographics: missing sociodemographics in surgical research [J]. *Am J Surg*, 2020, 219 (6): 926-931.
- [9] Ren G, Yu K, Xie Z, et al. Differentiation of lumbar disc herniation and lumbar spinal stenosis using natural language processing-based machine learning based on positive symptoms [J]. *Neurosurg Focus*, 2022, 52 (4): E7.
- [10] Soin A, Hirschbeck M, Verdon M, et al. A pilot study implementing a machine learning algorithm to use artificial intelligence to diagnose spinal conditions [J]. *Pain Physician*, 2022, 25 (2): 171-178.
- [11] Lewandrowski KU, Muraleedharan N, Eddy SA, et al. Reliability analysis of deep learning algorithms for reporting of routine lumbar MRI scans [J]. *Int J Spine Surg*, 2020, 14 (s3): S98-S107.
- [12] Yen HK, Ogink PT, Huang CC, et al. A machine learning algorithm for predicting prolonged postoperative opioid prescription after lumbar disc herniation surgery. an external validation study using 1,316 patients from a Taiwanese cohort [J]. *Spine J*, 2022, 22 (7): 1119-1130.
- [13] Karhade AV, Ogink P, Thio Q, et al. Development of machine learning algorithms for prediction of discharge disposition after elective inpatient surgery for lumbar degenerative disc disorders [J]. *Neurosurg Focus*, 2018, 45 (5): E6.
- [14] Karhade AV, Cha TD, Fogel HA, et al. Predicting prolonged opioid prescriptions in opioid-naïve lumbar spine surgery patients [J]. *Spine J*, 2020, 20 (6): 888-895.
- [15] Karhade AV, Bongers MER, Groot OQ, et al. Can natural language processing provide accurate, automated reporting of wound infection requiring reoperation after lumbar discectomy [J]. *Spine J*, 2020, 20 (10): 1602-1609.
- [16] Karhade AV, Fogel HA, Cha TD, et al. Development of prediction models for clinically meaningful improvement in promis scores after lumbar decompression [J]. *Spine J*, 2021, 21 (3): 397-404.
- [17] Pedersen CF, Andersen MØ, Carreon LY, et al. Applied machine learning for spine surgeons: predicting outcome for patients undergoing treatment for lumbar disc herniation using P data [J]. *Global Spine J*, 2022, 12 (5): 866-876.
- [18] Harada GK, Siyaji ZK, Mallow GM, et al. Artificial intelligence predicts disk re-herniation following lumbar microdiscectomy: development of the “rad” risk profile [J]. *Eur Spine J*, 2021, 30 (8): 2167-2175.
- [19] Wirries A, Geiger F, Hammad A, et al. Artificial intelligence facilitates decision-making in the treatment of lumbar disc herniations [J]. *Eur Spine J*, 2021, 30 (8): 2176-2184.
- [20] Staartjes VE, Wispelaere MP, Vandertop WP, et al. Deep learning-based preoperative predictive analytics for patient-reported outcomes following lumbar discectomy: feasibility of center-specific modeling [J]. *Spine J*, 2019, 19 (5): 853-861.
- [21] Shamim MS, Enam SA, Qidwai U. Fuzzy logic in neurosurgery: predicting poor outcomes after lumbar disk surgery in 501 consecutive patients [J]. *Surg Neurol*, 2009, 72 (6): 565-572.
- [22] Lehnen NC, Haase R, Faber J, et al. Detection of degenerative changes on MRI images of the lumbar spine with a convolutional neural network: a feasibility study [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2021, 11 (5): 902.
- [23] Tsai JY, Hung IY, Guo YL, et al. Lumbar disc herniation automatic detection in magnetic resonance imaging based on deep learning [J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2021, 9: 708137.
- [24] Koh J, Chaudhary V, Dhillon G. Disc herniation diagnosis in MRI using a cad framework and a two-level classifier [J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2012, 7 (6): 861-869.
- [25] Oktay AB, Albayrak NB, Akgul YS. Computer aided diagnosis of degenerative intervertebral disc diseases from lumbar MRI images [J]. *Comput Med Imaging Graph*, 2014, 38 (7): 613-619.
- [26] Jamaludin A, Lootus M, Kadir T, et al. Automation of reading of radiological features from magnetic resonance images (MRIs) of the lumbar spine without human intervention is comparable with an expert radiologist [J]. *Eur Spine J*, 2017, 26 (5): 1374-1383.

- [27] Gao F, Wu M. Deep learning-based denoised MRI images for correlation analysis between lumbar facet joint and lumbar disc herniation in spine surgery [J]. *J Healthc Eng*, 2021, 2021 : 9687591.
- [28] Ghosh S, Chaudhary V. Supervised methods for detection and segmentation of tissues in clinical lumbar MRI [J]. *Comput Med Imaging Graph*, 2014, 38 (7) : 639-649.
- [29] Lewandrowski KU, Muraleedharan N, Eddy SA, et al. Artificial intelligence comparison of the radiologist report with endoscopic predictors of successful transforaminal decompression for painful conditions of the lumbar spine: application of deep learning algorithm interpretation of routine lumbar magnetic resonance imaging scan [J]. *Int J Spine Surg*, 2020, 14 (s3) : S75-S85.
- [30] Litjens G, Kooi T, Bejnordi BE, et al. A survey on deep learning in medical image analysis [J]. *Med Image Anal*, 2017, 42: 60-88.
- [31] Staartjes VE, Quddusi A, Klukowska AM, et al. Initial classification of low back and leg pain based on objective functional testing: a pilot study of machine learning applied to diagnostics [J]. *Eur Spine J*, 2020, 29 (7) : 1702-1708.
- [32] Staartjes VE, Klukowska AM, Vieli M, et al. Machine learning-augmented objective functional testing in the degenerative spine: quantifying impairment using patient-specific five-repetition sit-to-stand assessment [J]. *Neurosurg Focus*, 2021, 51 (5) : E8.
- [33] Fan G, Liu H, Wang D, et al. Deep learning-based lumbosacral reconstruction for difficulty prediction of percutaneous endoscopic transforaminal discectomy at L₅/S₁ level: a retrospective cohort study [J]. *Int J Surg*, 2020, 82: 162-169.
- [34] Li H, Du W, Ivanov K, et al. The EEG analysis of actual left/right lateral bending movements in patient of lumbar disc herniation [J]. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2019, 2019 : 4707-4711.
- [35] Chen JH, Asch SM. Machine learning and prediction in medicine - beyond the peak of inflated expectations [J]. *N Engl J Med*, 2017, 376 (26) : 2507-2509.
- [36] 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.
- [37] Jin ZY. Application of artificial intelligence in medical imaging: reality and challenge [J]. *Radiol Pract*, 2018, 33 (10) : 989-991.

(收稿:2022-08-17 修回:2022-12-27)

(同行评议专家:毛路 杨健 任中武)

(本文编辑:宁桦)

读者·作者·编者

本刊严查代写代投稿件等学术不端行为的通告

近期本刊在稿件处理过程中不断发现有涉嫌代写、代投的问题,这种行为严重违反了中国科协等7部门联合印发的《发表学术论文“五不准”》要求,在很大程度上影响了编辑部正常的工作秩序。为了维护学术尊严,保证杂志的学术质量,维护期刊的声誉和广大作者与读者的正当权益,本刊郑重声明如下:

本刊坚决反对由第三方代写、代投、代为修改稿件的行为。自即日起,凡投给本刊的所有稿件必须是作者亲自撰写的,稿件内容和所留作者信息必须是真实的。在稿件处理过程中,本刊的同行评议专家和编辑人员将动态地对文稿反复核对,请作者理解并积极配合。以下情况将被判定为涉嫌代写、代投等学术不端行为,无论稿件处理至哪个阶段,均将终止稿件进一步处理或直接退稿:(1)作者信息中提供的手机和电子信箱等联系方式非第一作者或通讯作者本人,或无效;(2)不回应我们的询问,或回应不合逻辑;(3)内容描述不专业,或不符合逻辑,不符合医学伦理与规范;(4)数据或统计值不符合逻辑,或明显错误;(5)图片与正文描述不符合;(6)参考文献引用与正文内容不符合。

期待广大作者和读者与我们携手,共同反对学术不端行为,维护医学文献库的圣洁,打造经得起历史考验、值得信赖的诚信期刊。

《中国矫形外科杂志》编辑部

2021年8月13日