



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.10.004
http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2024.10.004
China Journal of General Surgery, 2024, 33(10):1580-1587.

· 述评 ·

人工智能在疝与腹壁外科的应用与未来发展

彭晓煜, 石和凯, 宋致成, 杨建军, 顾岩

(复旦大学附属华东医院 普通外科, 上海200040)



顾岩

摘要

近年来, 机器学习、自然语言处理、人工神经网络和计算机视觉等技术的出现为人工智能(AI)的快速发展提供了重要手段。相较于AI在泌尿外科、心胸外科等领域的广泛应用, AI在疝与腹壁外科领域的应用仍非常有限。目前AI在疝与腹壁外科主要应用于术前危险因素分析、疾病辅助诊断、手术复杂性预测、影像学分析、机器人以及非机器人术中辅助、术后并发症与复发预测及教育培训与管理等方面, 对于进一步提高疝与腹壁外科疾病的诊治水平具有重要意义。本文总结了目前AI在疝与腹壁外科领域的应用场景, 介绍了国内外AI在疝与腹壁外科应用现状, 展望了未来的发展方向, 旨在为促进疝与腹壁外科的进步提供参考。

关键词

疝; 腹壁; 人工智能; 机器人手术

中图分类号: R656.2

Application and future development of artificial intelligence in hernia and abdominal wall surgery

PENG Xiaoyu, SHI Hekai, SONG Zhicheng, YANG Jianjun, GU Yan

(Department of General Surgery, Huadong Hospital Affiliated Fudan University, Shanghai 200040, China)

Abstract

In recent years, the emergence of technologies such as machine learning, natural language processing, artificial neural networks, and computer vision has provided essential means for the rapid development of artificial intelligence (AI). Compared to the extensive application of AI in fields like urology and cardiothoracic surgery, the use of AI in hernia and abdominal wall surgery remains very limited. Currently, AI in hernia and abdominal wall surgery is mainly applied in preoperative risk factor analysis, disease-assisted diagnosis, surgical complexity prediction, imaging analysis, robotic/non-robotic intraoperative assistance, postoperative complication and recurrence prediction, as well as education, training, and management. These applications hold great importance for improving the diagnosis and treatment of hernia and abdominal wall diseases. This paper summarizes the current application scenarios of AI in hernia and abdominal wall surgery, reviews the status of AI applications in this field at

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(81970455, 82170526)。

收稿日期: 2024-07-28; 修订日期: 2024-10-15。

作者简介: 顾岩, 复旦大学附属华东医院主任医师, 主要从事疝与腹壁外科临床方面的研究。

通信作者: 顾岩, Email: yangu@fudan.edu.cn

home and abroad, and discusses future development directions, aiming to provide a reference for advancing hernia and abdominal wall surgery.

Key words

Hernia; Abdominal Wall; Artificial Intelligence; Robotic Surgical Procedures

CLC number: R656.2

人工智能 (artificial intelligence, AI) 是研究开发用于模拟、延伸和扩展人类智能的理论、方法、技术及应用系统的一门技术科学, 通过使用计算机来模拟人类思维过程和智能行为以产生一种能以与人类相似的方式做出反应的智能系统。作为一个交叉和前沿学科, AI自20世纪50年代首次提出以来, 在各个专业领域都获得了广泛应用, 机器学习 (machine learning, ML)、自然语言处理、人工神经网络 (artificial neural network, ANN) 和计算机视觉等技术的出现为AI的快速发展提供了重要的手段。在医学领域同样如此, 特别是在外科专业, 2016—2022年, 有关AI在外科应用的文章猛增了7 000%^[1], 包括ML应用、AI影像处理、机器人手术等发展势头迅猛, 在部分领域甚至已改变了传统的医学诊疗模式。

疝与腹壁外科手术是全球实施最多的手术之一, 但相对于AI在其他外科领域的广泛应用, AI在疝与腹壁外科领域的应用仍非常有限。Taha等^[2]对2012—2022年AI在传统疝与腹壁外科的应用进行了综合分析, 研究主要集中在腹股沟疝 (35%) 与腹壁疝 (30%), 其他分布在切口疝 (25%) 以及AI影像与机器人技术 (10%)。目前对于AI在疝与腹壁外科领域中作用的认识与研究仍然不足, 而疝与腹壁外科疾病, 特别是腹股沟疝, 其相对固定的解剖结构与手术模式非常适合AI优势的发挥, 因此了解与掌握目前AI在疝与腹壁外科领域的应用场景以及未来的发展对于促进疝与腹壁外科的进步具有重要意义。

1 AI在疝与腹壁外科疾病的术前应用

1.1 分析发病危险因素

腹股沟疝与腹壁/切口疝发病因素复杂多样, 至今并未完全清楚。AI可以通过ML建模等方式对临床大数据进行高效分析, 在探索疾病危险因素方面发挥重要作用。Choi等^[3]对117 570例腹腔镜胆囊切除术 (laparoscopic cholecystectomy, LC) 患

者尝试采用逻辑回归、神经网络等在内的8种不同ML模型, 来评估住院和门诊患者LC术后1年内切口疝的发生率, 其先选择逻辑回归对可分为患者因素、术后并发症、医院相关因素和合并症四大模块的59项因素 (如脓毒症、糖尿病等) 进行逐步消除, 最后确定包括术后哮喘、术后营养不良、入院类型等8个研究变量, 研究发现LC术后切口疝发生率0.2%, 术后营养不良、住院时间超过1 d、术后哮喘以及急诊手术是LC术后切口疝形成的重要危险因素。Ortega-Deballon等^[4]采用决策树算法发现, 40岁以上是切口疝发生的危险因素。McAuliffe等^[5]采用ML来研究腹部手术后切口疝的发生, 结果发现腹直肌复合体的宽度、内脏容积的增加、骨骼肌的萎缩是切口疝的发生危险因素。

1.2 辅助诊断原发病和伴发并发症

对于部分诊断困难的疝与腹壁外科疾病, AI可以发挥其独特的作用。食管裂孔疝 (hiatal hernias, HH) 属于广义的疝与腹壁外科疾病之一, 可通过上消化道造影、内镜检查等来进行诊断^[6], 但这些检查方法敏感度与特异度均存在不足。为避免低效HH筛查, Assaf等^[7]对肥胖合并HH者尝试应用ML决策树模型辅助上消化道造影进行诊断, 其诊断的敏感度可由38.5%显著提升到60.2%, 表明建立ML模型可在不需要额外资源的情况下显著提高HH诊断效率。

除有助于疝与腹壁外科原发病诊断外, AI还可有效辅助疾病并发症的发现。儿童腹股沟疝是一种常见病, 发生率约为0.8%~4.4%, 早产儿甚至高达30%^[8], 大多可采取保守治疗。但伴肠坏死、嵌顿等情况时, 则需立即手术治疗, 以防危及生命。而对儿童进行影像学等检查并不方便且不易为家长接受。Liu等^[9]开发了一种ML算法, 可基于患儿血常规及肝肾功能参数, 如C-反应蛋白、肌钙蛋白、白蛋白和总胆红素等, 来辅助进行腹股沟疝患儿术前肠坏死的诊断, 这对于儿童腹股沟疝治疗临床决策有重要意义, 相关研究还在继续深入进行中。

1.3 预测手术复杂性

深度学习模型 (deep learning model, DLM) 属于 ML 领域, 基于 CT 图像的 DLM 在创伤和肿瘤领域早有应用, 但多集中于诊断方面, 实际上 DLM 同样可用于手术复杂性的预测, 以为术前准备提供帮助^[10-11]。组织结构分离技术 (component separation technique, CST) 是解决复杂腹壁缺损治疗难题的有效方法, 其实施需要依靠术前的判断^[12]。Elhage 等^[13]开发了一种基于腹部 CT 图像的 DLM 模型, 通过对所收集的腹壁/切口疝患者术前图像进行分析, 并进行训练和测试, 以预测腹壁/切口疝修复重建的复杂性。研究^[13]结果表明, 与常规影像学检查预测手术复杂程度相比, DLM 在预测腹壁重建术的复杂程度, 即是否需要术中采取辅助 CST 方面的准确性显著优于外科医生。客观有效地对手术复杂性进行准确预测对协助医生的临床工作具有十分重要的意义, 最大程度地保障了患者的手术安全和效果。

1.4 AI 影像分析与术前规划

AI 在影像学领域应用广泛, 在外科领域采用 AI 分析手术录像来识别术中重要解剖结构或手术步骤, 有助于帮助年轻医师在学习曲线阶段提高手术操作技术, 对于高年资医师则有助于帮助复杂疾病的处理。Cui 等^[14]采用卷积神经网络 (convolutional neural networks, CNN) 模型在腹腔镜腹股沟疝手术中实现了对输精管的精确定位和标记。Takeuchi 等^[15]采用 DLM 建立了能够精确识别与分割经腹腔腹膜前疝修补术 (transabdominal preperitoneal prosthesis, TAPP) 不同阶段的外科手术自主识别系统, 将 TAPP 分为切开腹膜、游离腹膜、分离疝囊、放置补片、固定补片以及腹膜关闭六个阶段, 发现无论是单侧还是双侧腹股沟疝, DLM 都能够有效识别与分割手术步骤, 可用于监督手术过程, 提高手术效率, 评估手术质量以及开展手术培训。Ortenzi 等^[16]则采用基于 AI 的计算机视觉算法对完全腹膜外疝修补术 (totally extraperitoneal prosthetic, TEP) 治疗腹股沟疝的手术录像进行了标记与分析, 其将 TEP 手术分为进入腹膜前间隙、游离腹膜前间隙、回纳疝内容物、分离疝囊、放置补片、固定补片六个阶段, 发现 AI 能够实现自主对手术过程进行分析, 且总体精确度达到 88.8%。上述研究表明基于影像学检查的 DLM 分析, 可以有效帮助外科医生进行手术决策, 协助外科手术, 改善患者预后, 为未来腹股沟疝

自主手术系统的建立奠定了重要的基础。

三维可视化 (three dimensional visualization, 3DV)^[17]技术是一种将来自常规二维影像数据转换成医学数字成像和通信格式文件, 在图形工作站上对相关图像数据进行计算机分析、分割融合、渲染, 对目标的形态、空间分布等进行描述和解释, 重新还原出被检组织和器官的三维解剖图像, 以获得精细、直观与准确信息的过程。AI 的应用能够有效帮助 3DV 的实现, 通过将二维图像转化为三维模型, 以更清楚显现腹壁各层结构, 精准呈现病变部位与周围组织器官的空间位置关系。Ozmen 等^[18]发现 AI 能显著增强计算机视觉, 在疝外科手术中有效帮助影像学引导 (导航) 手术和计算机辅助诊断, 相关的研究还在不断深入进行中。

2 AI 在疝与腹壁外科疾病的术中应用

2.1 机器人辅助手术 (robot assisted surgery, RAS) 系统

AI 的发展有力推动了 RAS 的进步。RAS 系统可分为无自主性、机器人辅助、任务自主性、条件自主性、高度自主性和完全自主性六级, 完全自主性机器人可在无人工干预的情况下完成整个手术^[19]。目前的 RAS 系统, 如达·芬奇手术系统采用主从模式, 完全由主刀医生控制机器人进行手术操作^[20]。而没有人为干预, 完全基于机器人执行预期任务的自主性机器人系统是未来的发展方向。RAS 在疝与腹壁外科手术中一般多采用经腹入路, 因为腹腔空间大、视野清晰, 可以准确判断血管、神经等解剖结构。RAS 固定的机械臂和仿真手腕使得手术操作更加稳定、流畅, 解剖更精细, 减少术中损伤, 其灵活的反向缝合优点是腹腔镜操作技术所达不到的, 因此在反向操作众多的腹壁外科领域有着巨大的优势^[21]。来自 RAS 在腹壁切口疝、HH、造口旁疝等的研究^[22-28]表明, 尽管 RAS 手术时间可能较长, 但是术中出血量较少, 术后疼痛较传统腹腔镜更轻, 术后恢复更快, 住院时间缩短, 其安全性和有效性得到证实, 可用于急诊手术。RAS 在腹股沟疝手术中的优势可能并不突出, 近期有研究^[29]比较了机器人和腹腔镜手术的临床结果, 发现两组患者在术后疼痛、生活质量、活动能力、美观、切口并发症发生率方面并无明显差异, 而且机器人腹股沟疝修补术成本更高、手术时间更长、术者学习曲线更长^[30]。

2017年,美国疝学会回顾国家数据库数据发表了一篇大样本研究^[31],发现机器人腹疝修补术的术后住院时间更短,但临床结局和安全性无差异。随后开展了首个关于机器人和腹腔镜腹疝修补术的随机对照研究,短期随访结果表明,机器人腹疝修补术暂无临床获益,但手术时间和医疗费用增加^[32];1年随访结果表明机器人腹疝修补术是安全的^[33];在2年的随访中,与腹腔镜腹疝修补术相比,机器人腹疝修补术安全有效,并具有降低疝复发率和再手术率的潜在优势^[34]。然而,Fry等^[35]却发现相较于腹腔镜和开放性腹疝修补术,机器人腹疝修补术后患者的远期复发率更高。当然,还需要更多的研究来验证机器人疝修补术的有效性与安全性。

自主手术是未来发展的方向,其前提是自动分割术前数据和规划轨迹^[20],而腹股沟疝因解剖区域界限相对分明以及手术步骤基本固定,因此AI机器人自动化手术最有可能在腹股沟疝修补术中实现,但距离这一目标的实现还有相当的距离。目前已研发出可以实现自主性为2级和3级的监督机器人手术系统,但未来还需要更多的研究和实践来推动自主性机器人手术系统的发展。

2.2 非机器人系统的术中辅助

在外科手术中,使关键解剖标志可视化将极大有利于手术的进行,而AI可以显著提高疝修补术中可视化程度。CNN是DLM的一种,其类似于ANN的多层感知器,常用来分析视觉图像。Cui等^[14]使用并证明CNN模型可以有效地识别并标记腹腔镜腹股沟疝修补术中的输精管图像,从而帮助外科医生及时识别输精管,避免发生术中损伤输精管情况。耻骨肌孔的关键视图对于在腹腔镜和机器人腹股沟疝修补术中补片放置非常重要^[36],开发基于神经网络的目标探测器可以帮助识别耻骨联合、Cooper韧带、髂腰肌等结构,来判断术中是否已获得足够空间来放置补片,并可在术中自动提醒外科医生到达放置补片阶段。此外还能通过识别髂静脉、腹股沟外环与内环,来避免术中遗漏股疝、直疝和脂肪瘤等,甚至可以建议替代方法以避免由于意外导致的并发症的发生^[15]。此外,包括无线可穿戴设备在内的其他基于AI的技术外科设备与器械在疝与腹壁外科的研究目前也在进行中,相信这些技术的出现与临床应用将会进一步为疝与腹壁外科疾病的治疗提供帮助与支持。

3 AI对疝与腹壁外科疾病术后结局的预测

3.1 预测术后并发症

皮肤和软组织感染是腹壁疝修补术后并发症之一,严重情况下可引起补片感染和疝复发。O'brien等^[37]表明通过建立ML模型可监测腹壁疝术后5年内感染发生的可能,对是否发生感染具有很好的预测能力。Elhage等^[13]使用8层CNN和2级训练系统建立DLM模型预测腹壁重建(abdominal wall reconstruction, AWR)术后手术部位感染发生的可能,结果表明基于术前影像学图像,DLM可以成功预测AWR患者术后感染事件的发生。Ramshaw等^[38]研究了基于监督学习与ML的计算机视觉方法来检测腹股沟疝术后感染的发生,结果表明该方法可显著提高检测腹股沟疝术后切口感染的有效性。Ayuso等^[39]研发了一种新型的、有别于传统DLM的生成式对抗网络异常(generative adversarial network anomaly, GANomaly)的DLM,添加了图像增强和异常检测两种方式,来提高模型敏感度,处理不平衡数据集,预测疝修补术后呼吸衰竭、补片感染等罕见但破坏性强的术后并发症,初步结果表明,GANomaly DLM较传统DLM对于术后罕见并发症的预测具有更好的效果。Yan等^[40]采用ML模型发现静脉血栓栓塞(venous thromboembolism, VTE)史、血栓家族史、可复性疝、口服避孕药、抗凝药物中断、开放手术、全麻是腹股沟疝术后VTE发生的危险因素。上述研究表明AI在预测术后并发症发生方面具有广阔的应用前景,其应用将为帮助疝与腹壁外科医生制定合适的手术策略提供重要支持。

3.2 预测术后复发危险因素

疝与腹壁缺损修复术后复发是外科医生最为关心的问题之一,AI在预测腹壁缺损复发危险因素以及发现新的危险因素方面具有重要作用。Hassan等^[41]采用DLM开发了一种针对开放腹壁疝术后复发、手术部位事件以及再入院率的预测模型,发现具有较高的准确率。支持向量机是ML领域的一种高效算法,可处理分类任务,而核支持向量机(kernel support vector machine, KSVM)是其中最可靠的一种。通过将切口疝复发相关的定性特征编码,用其组成的向量进行KSVM训练和验证,就可以建立基于KSVM的切口疝复发分类系统。Licari等^[42]采用KSVM智能分析切口疝复发因素,结果表明其敏感度86.25%,精确度86.67%,

验证了大量文献中所提出的切口疝复发的危险因素的确与复发存在明显相关性，同时也揭示了切口疝复发的新的危险因素，如补片材料的类型及其植入部位。

4 辅助完善外科教育、研究与管理

AI通过建立高度逼真和互动的环境可为推进外科教育、培训和研究提供崭新的方式。通过AI模拟，年轻医师可以体验各种手术场景，而对真实患者没有任何风险，并且有高度可靠的即时反馈。手术操作是外科教学的重要环节，将腹腔镜训练器与AI技术相结合，可在用于远程模拟的同时还可以评估机器人手术虚拟场景的技能，如缝合技能，并对各项技能及其灵巧程度进行分类。Alonso-Silverio等^[43]将AI应用于腹股沟疝建立了在线腹腔镜腹股沟疝训练系统，结合Python编程、ANN以及Raspberry Pi微型电脑平台来进行外科训练。Zipper等^[44]同样将AI技术运用于仿真切口疝模型中，该模型可用于培训和评估，能够有效地练习和提高高难度手术的技能。此外，外科教育还包括大量手术视频观摩，采用AI可开发出手术相位自动识别系统，对手术步骤进行自动划分，并对手术视频中的重要组织进行标记，将原始的手术视频加工为优质的教学视频，用于外科学习和教育。

AI在数据的管理与应用中能够发挥巨大的作用。Muysoms等^[45]早在2012年就开始将AI用于欧洲疝学会腹壁疝数据库的登记和结果分析，用于指导临床工作。利用AI对大数据进行深入分析和挖掘，不仅可极大地提高了数据处理的效率，更重要的是可为疝与腹壁外科疾病的诊疗、监控与预测、医疗资源优化和患者管理提供支持和帮助。

5 小结与展望

在AI的应用上，国内的力度尚低于美国、欧洲等发达国家。国外学者致力于构建AI模型来辅助诊疗疝与腹壁外科疾病及并发症、预测手术的复杂性、构建手术相位自动识别系统和疝复发分类系统等，以进一步实现围术期的精准医疗。与此同时，国外开展了大量的机器人疝修补术，也进行了多项相关研究，去验证机器人疝修补术的可行性和安全性^[29,31-35]。此外，美国还将达·芬奇

机器人手术系统列入住院医师的培训体系中，使其在疝和腹壁外科领域的应用比例升高^[21]，结合AI构建的疝相关手术模型及腹腔镜训练器也被积极投入应用中^[43-44]。

虽然近些年来，AI在国内快速发展，在普通外科其他方向有较多的应用，如探索达·芬奇机器人或国产机器人在甲状腺手术中应用的安全性及可行性^[46-48]、AI辅助结直肠癌的诊疗和预后判断^[49-51]、辅助胰腺癌的手术治疗和指导胰腺手术围术期管理^[52-53]等。但AI在疝与腹壁外科中的应用仍存在很多的空缺。从RAS系统方面看，虽然国内陆续开展机器人疝修补术，2011年复旦大学附属华东医院应用达·芬奇机器人手术系统施行了国内首例腹股沟疝、腹壁切口疝和脐疝手术，近年来也开展了机器人食管裂孔疝修补术^[21,23,27]，但总体而言，机器人疝修补术在国内还未大规模推广。非RAS系统相关的AI辅助技术在疝与腹壁外科疾病中的应用也非常少。

从发展趋势来看，随着我国科技与经济的发展，AI在疝与腹壁外科方面的应用逐渐增多。未来，外科医生应该抓住时代机遇，充分发掘AI的巨大潜力。首先，可以尝试利用AI技术辅助人工建立和分析疝与腹壁外科数据库，挖掘新理念、新技术等。其次，国内目前尚无统一的机器人疝修补术的标准操作流程规范和适合中国国情的机器人疝修补术共识或指南，国内虽有一些关于机器人疝修补术疗效的研究，但多为单中心、小样本，可以进一步联合多单位开展多中心、大样本的研究，进而验证机器人疝修补术的安全性和可行性，为制定相关的共识或指南打下坚实基础。RAS系统在我国疝与腹壁外科中应用不多与国情相关，机器人疝修补术高昂的手术费、医保报销比例问题、国内不同地区经济差异大等因素导致其很难在国内广泛展开。未来，研发国产机器人，降低机器人的使用成本，让更多患者从中获益也是国内学者的新课题。

总之，AI的发展为包括疝与腹壁外科在内的医学发展提供了重要机遇。这种发展必将对未来疝与腹壁外科产生深远影响，掌握与熟练应用AI技术是疝与腹壁外科医生必须践行的新内容。但同时也要认识到AI并不能回答所有问题，外科实践的独特性质使外科医生处于有利地位，外科医生的积极参与将为AI时代疝与腹壁外科的发展提供重要帮助。

利益冲突: 所有作者均声明不存在利益冲突。

作者贡献声明: 彭晓煜负责文献整理、论文撰写和修改; 石和凯负责文献整理和补充; 宋致成、杨建军负责论文修改; 顾岩负责文章构思、论文撰写与修改。

参考文献

- [1] Lima DL, Kasakewitch J, Nguyen DQ, et al. Machine learning, deep learning and hernia surgery. Are we pushing the limits of abdominal core health? A qualitative systematic review[J]. *Hernia*, 2024, 28(4):1405–1412. doi:10.1007/s10029-024-03069-x.
- [2] Taha A, Enodien B, Frey DM, et al. The development of artificial intelligence in hernia surgery: a scoping review[J]. *Front Surg*, 2022, 9:908014. doi:10.3389/fsurg.2022.908014.
- [3] Choi JH, Janjua H, Cios K, et al. Machine learning analysis of postlaparoscopy hernias and “I’m leaving you to close” strategy[J]. *J Surg Res*, 2023, 290:171–177. doi:10.1016/j.jss.2023.04.016.
- [4] Ortega-Deballon P, Renard Y, de Launay J, et al. Incidence, risk factors, and burden of incisional hernia repair after abdominal surgery in France: a nationwide study[J]. *Hernia*, 2023, 27(4):861–871. doi:10.1007/s10029-023-02825-9.
- [5] McAuliffe PB, Desai AA, Talwar AA, et al. Preoperative computed tomography morphological features indicative of incisional hernia formation after abdominal surgery[J]. *Ann Surg*, 2022, 276(4):616–625. doi:10.1097/SLA.0000000000005583.
- [6] Weitzendorfer M, Köhler G, Antoniou SA, et al. Preoperative diagnosis of hiatal hernia: Barium swallow X-ray, high-resolution manometry, or endoscopy?[J]. *Eur Surg*, 2017, 49(5):210–217. doi:10.1007/s10353-017-0492-y.
- [7] Assaf D, Rayman S, Segev L, et al. Improving pre-bariatric surgery diagnosis of hiatal hernia using machine learning models[J]. *Minim Invasive Ther Allied Technol*, 2022, 31(5):760–767. doi:10.1080/13645706.2021.1901120.
- [8] Galinier P, Bouali O, Juricic M, et al. Focusing of inguinal hernia in children[J]. *Arch Pediatr*, 2007, 14(4):399–403. doi:10.1016/j.arcped.2007.01.008.
- [9] Liu ZW, Chen G, Dong CF, et al. Intelligent assistant diagnosis for pediatric inguinal hernia based on a multilayer and unbalanced classification model[J]. *Front Physiol*, 2023, 14:1105891. doi:10.3389/fphys.2023.1105891.
- [10] Cheng JZ, Ni D, Chou YH, et al. Computer-aided diagnosis with deep learning architecture: applications to breast lesions in US images and pulmonary nodules in CT scans[J]. *Sci Rep*, 2016, 6:24454. doi:10.1038/srep24454.
- [11] Wang P, Liu XG, Berzin TM, et al. Effect of a deep-learning computer-aided detection system on adenoma detection during colonoscopy (CADE-DB trial): a double-blind randomised study[J]. *Lancet Gastroenterol Hepatol*, 2020, 5(4):343–351. doi:10.1016/S2468-1253(19)30411-X.
- [12] 中华医学会外科学分会疝与腹壁外科学组, 中国医疗保健国际交流促进会临床实用技术分会腹壁修复与重建外科学组. 组织结构分离技术规范操作中国专家共识(2020版)[J]. *中国实用外科杂志*, 2020, 40(5):488–493. doi:10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2020.05.02.
- [13] Group of Hernia and Abdominal Wall Surgery of Society of Surgery of Chinese Medical Association, Surgical Group of Abdominal Wall Repair and Reconstruction, Clinical Practical Technical Branch, China International Exchange and Promotive Association for Medical and Health Care. Chinese expert consensus on application of component separation techniques(2020) [J]. *Chinese Journal of Practical Surgery*, 2020, 40(5):488–493. doi:10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2020.05.02.
- [14] Elhage SA, Deerenberg EB, Ayuso SA, et al. Development and validation of image-based deep learning models to predict surgical complexity and complications in abdominal wall reconstruction[J]. *JAMA Surg*, 2021, 156(10):933–940. doi:10.1001/jamasurg.2021.3012.
- [15] Cui P, Zhao S, Chen WX. Identification of the vas deferens in laparoscopic inguinal hernia repair surgery using the convolutional neural network[J]. *J Health Eng*, 2021, 2021:5578089. doi:10.1155/2021/5578089.
- [16] Takeuchi M, Collins T, Lipps C, et al. Towards automatic verification of the critical view of the myopectineal orifice with artificial intelligence[J]. *Surg Endosc*, 2023, 37(6):4525–4534. doi:10.1007/s00464-023-09934-7.
- [17] Ortenzi M, Rapoport Ferman J, Antolin A, et al. A novel high accuracy model for automatic surgical workflow recognition using artificial intelligence in laparoscopic totally extraperitoneal inguinal hernia repair (TEP)[J]. *Surg Endosc*, 2023, 37(11):8818–8828. doi:10.1007/s00464-023-10375-5.
- [18] 吴巨钢, 韩甫, 董文培, 等. 三维可视化技术在复杂腹壁缺损修复重建术前规划中的作用[J]. *上海医学*, 2023, 46(8):541–547. doi:10.19842/j.cnki.issn.0253-9934.2023.08.008.
- [19] Wu JG, Han F, Dong WP, et al. Application of three-dimensional visualization technology in preoperative planning of complex abdominal wall defect repair and reconstruction[J]. *Shanghai Medical Journal*, 2023, 46(8):541–547. doi:10.19842/j.cnki.issn.0253-9934.2023.08.008.
- [20] Ozmen MM, Ozmen A, Koç ÇK. Artificial intelligence for next-generation medical robotics[A]//Atallah S. *Digital Surgery*[M]. Cham: Springer, 2021:25–36. doi:10.1007/978-3-030-49100-0_3.
- [21] Yang GZ, Cambias J, Cleary K, et al. Medical robotics-Regulatory, ethical, and legal considerations for increasing levels of autonomy[J]. *Sci Robot*, 2017, 2(4):eaam8638. doi:10.1126/scirobotics.aam8638.
- [22] Han JP, Davids J, Ashrafian H, et al. A systematic review of robotic

- surgery: from supervised paradigms to fully autonomous robotic approaches[J]. *Int J Med Robot*, 2022, 18(2): e2358. doi: 10.1002/rcs.2358.
- [21] 唐健雄, 李绍春. 从我国疝和腹壁外科的历史谈今后的发展[J]. *中国普通外科杂志*, 2023, 32(10): 1445-1452. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2023.10.001.
- Tang JX, Li SC. Future development of hernia and abdominal wall surgery in China: a historical perspective[J]. *China Journal of General Surgery*, 2023, 32(10): 1445-1452. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2023.10.001.
- [22] 李晨, 田文. 机器人食管裂孔疝修补手术的优势、难点及对策[J]. *中国实用外科杂志*, 2024, 44(4): 411-414. doi: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2024.04.08.
- Li C, Tian W. Advantages, difficulties and countermeasures of robotic repair of hiatal hernia[J]. *Chinese Journal of Practical Surgery*, 2024, 44(4): 411-414. doi: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2024.04.08.
- [23] 王骥, 马红钦, 刘利, 等. 机器人食管裂孔疝修补术 152 例临床分析[J]. *中国实用外科杂志*, 2024, 44(4): 452-455. doi: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2024.04.17.
- Wang J, Ma HQ, Liu L, et al. Clinical analysis of 152 cases of robot-assisted esophageal hiatal hernia repair[J]. *Chinese Journal of Practical Surgery*, 2024, 44(4): 452-455. doi: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2024.04.17.
- [24] Gerull WD, Cho D, Arefanian S, et al. Favorable peri-operative outcomes observed in paraesophageal hernia repair with robotic approach[J]. *Surg Endosc*, 2021, 35(6): 3085-3089. doi: 10.1007/s00464-020-07700-7.
- [25] Sugiyama G, Chivukula S, Chung PJ, et al. Robot-assisted transabdominal preperitoneal ventral hernia repair[J]. *JLS*, 2015, 19(4): e2015.00092. doi: 10.4293/jls.2015.00092.
- [26] Dewulf M, Dietz UA, Montgomery A, et al. Robotic hernia surgery IV. English version: Robotic parastomal hernia repair. Video report and preliminary results[J]. *Chirurgie*, 2022, 93(Suppl 2): 129-140. doi: 10.1007/s00104-022-01779-5.
- [27] 黎鑫, 艾克拜尔·艾力, 阿力木江·麦斯依提, 等. 机器人辅助袖状胃切除联合胃底折叠治疗肥胖症合并食管裂孔疝的单中心回顾性分析[J]. *中国普通外科杂志*, 2022, 31(10): 1347-1354. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2022.10.010.
- Li X, Aikebaier AL, Alimujiang MSYT, et al. Robot-assisted synchronous sleeve gastrectomy and fundoplication surgery for obesity complicated with esophageal hiatal hernia: a single-center retrospective analysis[J]. *China Journal of General Surgery*, 2022, 31(10): 1347-1354. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2022.10.010.
- [28] Ceccarelli G, Pasculli A, Bugiantella W, et al. Minimally invasive laparoscopic and robot-assisted emergency treatment of strangulated giant hiatal hernias: report of five cases and literature review[J]. *World J Emerg Surg*, 2020, 15(1): 37. doi: 10.1186/s13017-020-00316-1.
- [29] Prabhu AS, Carbonell A, Hope W, et al. Robotic inguinal vs transabdominal laparoscopic inguinal hernia repair: the RIVAL randomized clinical trial[J]. *JAMA Surg*, 2020, 155(5): 380-387. doi: 10.1001/jamasurg.2020.0034.
- [30] Ye L, Tang AB, Shenoy R, et al. Clinical and cost outcomes of robot-assisted inguinal hernia repair: a systematic review[J]. *J Am Coll Surg*, 2021, 232(5): 746-763. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2020.12.066.
- [31] Prabhu AS, Dickens EO, Copper CM, et al. Laparoscopic vs robotic intraperitoneal mesh repair for incisional hernia: an Americas Hernia Society quality collaborative analysis[J]. *J Am Coll Surg*, 2017, 225(2): 285-293. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2017.04.011.
- [32] Olavarria OA, Bernardi K, Shah SK, et al. Robotic versus laparoscopic ventral hernia repair: multicenter, blinded randomized controlled trial[J]. *BMJ*, 2020, 370: m2457. doi: 10.1136/bmj.m2457.
- [33] Dhanani NH, Olavarria OA, Holihan JL, et al. Robotic versus laparoscopic ventral hernia repair: one-year results from a prospective, multicenter, blinded randomized controlled trial[J]. *Ann Surg*, 2021, 273(6): 1076-1080. doi: 10.1097/SLA.0000000000004795.
- [34] Dhanani NH, Lyons NB, Olavarria OA, et al. Robotic versus laparoscopic ventral hernia repair: two-year results from a prospective, multicenter, blinded randomized clinical trial[J]. *Ann Surg*, 2023, 278(2): 161-165. doi: 10.1097/SLA.0000000000005903.
- [35] Fry BT, Howard RA, Thumma JR, et al. Surgical approach and long-term recurrence after ventral hernia repair[J]. *JAMA Surg*, 2024, 159(9): 1019-1028. doi: 10.1001/jamasurg.2024.1696.
- [36] Daes J, Felix E. Critical view of the myopectineal orifice[J]. *Ann Surg*, 2017, 266(1): e1-e2. doi: 10.1097/SLA.0000000000002104.
- [37] O'Brien WJ, Ramos RD, Gupta K, et al. Neural network model to detect long-term skin and soft tissue infection after hernia repair[J]. *Surg Infect*, 2021, 22(7): 668-674. doi: 10.1089/sur.2020.354.
- [38] Ramshaw B. An introduction to complex systems science and its application to hernia surgery[A]// Hope W, Cobb W, Adrales G. *Textbook of Hernia*[M]. Cham: Springer International Publishing, 2017: 7-13. doi: 10.1007/978-3-319-43045-4_2.
- [39] Ayuso SA, Elhage SA, Zhang YZ, et al. Predicting rare outcomes in abdominal wall reconstruction using image-based deep learning models[J]. *Surgery*, 2023, 173(3): 748-755. doi: 10.1016/j.surg.2022.06.048.
- [40] Yan YD, Yu Z, Ding LP, et al. Machine learning to dynamically predict in-hospital venous thromboembolism after inguinal hernia surgery: results from the CHAT-1 study[J]. *Clin Appl Thromb Hemost*, 2023, 29: 10760296231171082. doi: 10.1177/10760296231171082.
- [41] Hassan AM, Lu SC, Asaad M, et al. Novel machine learning approach for the prediction of hernia recurrence, surgical complication, and 30-day readmission after abdominal wall

- reconstruction[J]. *J Am Coll Surg*, 2022, 234(5): 918–927. doi: 10.1097/XCS.0000000000000141.
- [42] Licari L, Salamone G, Campanella S, et al. Use of the KSVM-based system for the definition, validation and identification of the incisional hernia recurrence risk factors[J]. *G Chir*, 2019, 40(1): 32–38.
- [43] Alonso-Silverio GA, Pérez-Escamirosa F, Bruno-Sanchez R, et al. Development of a laparoscopic box trainer based on open source hardware and artificial intelligence for objective assessment of surgical psychomotor skills[J]. *Surg Innov*, 2018, 25(4): 380–388. doi:10.1177/1553350618777045.
- [44] Zipper CT, Friedrich U, Backhaus J, et al. Incisional hernia repair in a high-fidelity silicone model for open retro-muscular mesh implantation with preparation of the fatty triangle: validation and educational impact study[J]. *Hernia*, 2020, 24(6): 1307–1315. doi: 10.1007/s10029-019-02094-5.
- [45] Muysoms F, Campanelli G, Champault GG, et al. EurAHS: the development of an international online platform for registration and outcome measurement of ventral abdominal wall hernia repair[J]. *Hernia*, 2012, 16(3):239–250. doi:10.1007/s10029-012-0912-7.
- [46] 李昆临, 白柯成, 杨明宇, 等. 第四代达芬奇机器人经双侧腋窝乳晕入路甲状腺手术疗效单中心 649 例分析[J]. *中国普通外科杂志*, 2023, 32(11): 1687–1696. doi: 10.7659/j. issn. 1005-6947.2023.11.007.
- Li KL, Bai KC, Yang MY, et al. Efficacy of bilateral axillo-breast approach thyroidectomy using the 4th-generation Da Vinci surgical robot: a single-center analysis of 649 cases[J]. *China Journal of General Surgery*, 2023, 32(11): 1687–1696. doi: 10.7659/j. issn.1005-6947.2023.11.007.
- [47] 周鹏, 徐婧, 刘永祥, 等. 国产机器人手术系统在甲状腺癌手术中应用的安全性及疗效[J]. *中国普通外科杂志*, 2024, 33(5): 753–761. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.05.008.
- Zhou P, Xu J, Liu YX, et al. Safety and efficacy of using domestically manufactured robotic surgical system for thyroid cancer surgery[J]. *China Journal of General Surgery*, 2024, 33(5): 753–761. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.05.008.
- [48] 覃湘泉, 赵晶晶, 罗佳, 等. 机器人辅助超精细被膜解剖技术在甲状腺癌手术中的应用: 附 1 045 例报告[J]. *中国普通外科杂志*, 2023, 32(11): 1677–1686. doi: 10.7659/j. issn. 1005-6947.2023.11.006.
- Qin XQ, Zhao JJ, Luo J, et al. The application of robot-assisted super-meticulous capsular dissection in thyroid cancer surgery: a report of 1 045 cases[J]. *China Journal of General Surgery*, 2023, 32(11):1677–1686. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2023.11.006.
- [49] 韩明宇, 王文秀, 王玉行, 等. 腹部无辅助切口机器人 taTME 术式治疗“困难骨盆”的低位直肠癌: 附 3 例报告[J]. *中国普通外科杂志*, 2023, 32(4): 506–513. doi: 10.7659/j. issn. 1005-6947.2023.04.004.
- Han MY, Wang WX, Wang YH, et al. Safety and efficacy of atural orifice robot-assisted transanal total mesorectal excision for low rectal cancer in "difficult pelvic" conditions: a report of 3 cases[J]. *China Journal of General Surgery*, 2023, 32(4): 506–513. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2023.04.004.
- [50] 刘洋, 郭子阳, 刘月平, 等. 人工智能辅助技术在进展期胃癌原发灶不同区域 HER-2 评估及判断预后中的应用[J]. *中国普通外科杂志*, 2023, 32(4): 566–574. doi: 10.7659/j. issn. 1005-6947.2023.04.011.
- Liu Y, Guo ZY, Liu YP, et al. Application of artificial intelligence-assisted technology in assessment of HER-2 expression in different regions of primary lesions of advanced gastric cancer and prognostic estimation[J]. *China Journal of General Surgery*, 2023, 32(4):566–574. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2023.04.011.
- [51] 郝俊, 王帅, 朱军, 等. 神经网络预测模型辅助诊断结肠癌微卫星状态的研究[J]. *中国普通外科杂志*, 2023, 32(4):488–496. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2023.04.002.
- Hao J, Wang S, Zhu J, et al. Neural network prediction model for assisting diagnosis of microsatellite status in colorectal cancer[J]. *China Journal of General Surgery*, 2023, 32(4): 488–496. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2023.04.002.
- [52] 张丹阳, 雷鹏, 张宇波, 等. 胰十二指肠肠切除术后临床相关胰瘘风险预测模型构建及验证[J]. *中国普通外科杂志*, 2024, 33(3):366–375. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.03.007.
- Zhang DY, Lei P, Zhang YB, et al. Construction and validation of a risk prediction model for clinically relevant pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy[J]. *China Journal of General Surgery*, 2024, 33(3):366–375. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.03.007.
- [53] 姜改明, 郑凯, 李宇铠, 等. 机器人辅助、荧光腹腔镜导航保留十二指肠全胰切除术 1 例临床报告[J]. *中国普通外科杂志*, 2024, 33(3):456–461. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.03.018.
- Jiang GM, Zheng K, Li YK, et al. Clinical report of one case of robot-assisted and fluorescence-guided laparoscopic duodenum-preserving total pancreatectomy[J]. *China Journal of General Surgery*, 2024, 33(3): 456–461. doi: 10.7659/j. issn. 1005-6947.2024.03.018.

(本文编辑 宋涛)

本文引用格式: 彭晓煜, 石和凯, 宋致成, 等. 人工智能在疝与腹壁外科的应用与未来发展[J]. *中国普通外科杂志*, 2024, 33(10):1580–1587. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.10.004

Cite this article as: Peng XY, Shi HK, Song ZC, et al. Application and future development of artificial intelligence in hernia and abdominal wall surgery[J]. *Chin J Gen Surg*, 2024, 33(10): 1580–1587. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2024.10.004