



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250052
http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250052
China Journal of General Surgery, 2025, 34(7):1505-1513.

· 文献综述 ·

人工智能在肝移植手术中的应用现状及伦理挑战

侯梦楠^{1,2,3}, 刘旭东^{1,2,4}, 莫晓微², 李文庭¹, 刘赞¹

[1. 海南医科大学第二附属医院 感染病与热带病科, 海南 海口 570311; 2. 海南医科大学, 海南 海口 571199; 3. 海口市妇幼保健院 护理部, 海南 海口 570102; 4. 广东省中医院海南医院 (海南省中医院) 护理部, 海南 海口 570203]

摘要

肝移植是终末期肝病的重要治疗方式, 但其复杂性仍限制了临床应用。随着互联网与大数据发展, 人工智能 (AI) 技术在肝移植手术中的应用逐步拓展, 涵盖供肝评估、器官分配、机器人辅助手术及术后管理等环节, 并展现出显著优势。然而, AI应用也引发一系列伦理问题, 尤以资源分配公平、技术缺陷与不伤害原则冲突、责任归属模糊、患者隐私安全与知情同意等最为突出。本文系统综述AI在肝移植手术中的应用现状及相关伦理挑战, 旨在为其合理应用与持续发展提供参考。

关键词

肝移植; 人工智能; 机器人手术; 伦理学委员会, 临床; 综述

中图分类号: R657.3

Current status and ethical challenges of artificial intelligence in liver transplantation surgery

HOU Mengnan^{1,2,3}, LIU Xudong^{1,2,4}, MO Xiaowei², LI Wenting¹, LIU Zan¹

[1. Department of Tropical Disease and Infectious Disease, the Second Affiliated Hospital of Hainan Medical University, Haikou 570311, China; 2. Hainan Medical University, Haikou 571199, China; 3. Department of Nursing, Haikou Hospital of the Maternal and Child Health, Haikou 570102, China; 4. Department of Nursing, Guangdong Provincial Hospital of Chinese Medicine, Hainan Hospital (Hainan Traditional Chinese Medicine Hospital), Haikou 570203, China]

Abstract

Liver transplantation is a crucial treatment for end-stage liver disease, yet its complexity continues to limit clinical application. With the development of the internet and big data, artificial intelligence (AI) technologies have gradually expanded their use in liver transplantation surgery, covering donor liver evaluation, organ allocation, robot-assisted surgery, and postoperative management, demonstrating significant advantages. However, the application of AI also raises a series of ethical issues, notably fairness in resource allocation, conflicts between technical limitations and the principle of non-maleficence, ambiguous responsibility attribution, patient privacy security, and informed consent. This article systematically reviews the current applications of AI in liver transplantation surgery and the related ethical challenges, aiming to provide a reference for its rational use and sustainable development.

基金项目: 国家重点研发计划重点专项基金资助项目 (2023YFC3011805); 海南省临床医学中心基金资助项目; 海南省高等学校教改研究基金资助项目 (Hnjg2024-80, HYYB202306)。

收稿日期: 2025-02-05; **修订日期:** 2025-05-23。

作者简介: 侯梦楠, 海南医科大学第二附属医院硕士研究生, 主要从事感染病、肝病方面的研究。

通信作者: 刘赞, Email: 13036087586@163.com

Key words Liver Transplantation; Artificial Intelligence; Robotic Surgical Procedures; Ethics Committees, Clinical; Review

CLC number: R657.3

据报道，全球每年因终末期肝病死亡病例超过200万例，约占全球死亡人数的4%^[1]，肝移植被认为是治疗终末期肝病的有效手段，其术后5年生存率可达70%以上^[2]。随着全球代谢性疾病和病毒性肝炎疾病负担的持续加重，肝移植需求呈快速增长趋势，而器官供需失衡和技术壁垒导致全球移植实施能力长期滞后于需求增长^[3]。研究^[4]指出，终末期肝病患者中仅12%能获得移植机会。同时，肝移植手术作为外科领域中最为复杂和最具挑战的手术之一，不仅需考虑供体和受体的“双患者”特征，也需考虑移植过程中所涉及的器官获取与保存、手术技术难题及术后发生并发症等多种复杂情况^[5]。当前，肝移植的临床实践仍存在一定局限，如供肝评估和选择大多依据临床经验、手术规划和辅助存在视野盲点，以及预后存在不确定性等，传统方法中这些问题的解决通常面临时间压力和人力资源限制^[6]。在“健康中国2030”规划的统筹推进下，利用人工智能（artificial intelligence, AI）技术助力医疗发展成为研究热点^[7]。AI技术在肝移植手术中的应用也逐渐成熟，如基于AI算法构建的模型能通过智能手机拍摄的

肝脏图像结合供体临床数据，实现供肝脂肪变性程度的快速评估，该模型可在数秒内完成分析，且无需依赖传统侵入性肝活检^[8]。除此之外，AI技术在优化肝移植分配策略^[9]、机器人协助手术^[10]及预测患者预后方面^[11]也展现出良好性能和进一步发展潜力。然而，在享受AI技术带来便利的同时也伴随着一系列的伦理问题亟须解决，如AI算法的“黑箱”特质使责任划分问题变得棘手、算法偏见和歧视导致供肝分配不均问题更为突出^[12]、机器人进行肝移植手术过程中，可能会出现故障对患者造成的损伤与不伤害原则相冲突等伦理问题^[10]。目前AI技术在肝移植领域的研究大多聚焦于算法优化与临床效益验证方面^[9]，对其潜在的伦理风险缺乏系统评估，这可能会制约AI技术在肝移植手术中的临床转化进程。因此，本文通过综述AI在肝移植手术中的应用现状进而重点分析其涉及的伦理问题，旨在为AI在肝移植手术中的合理应用及长久发展提供参考。图1概括性展示了AI技术在肝移植手术中的主要应用场景及其对应的伦理问题，旨在为下文内容提供结构性导引。

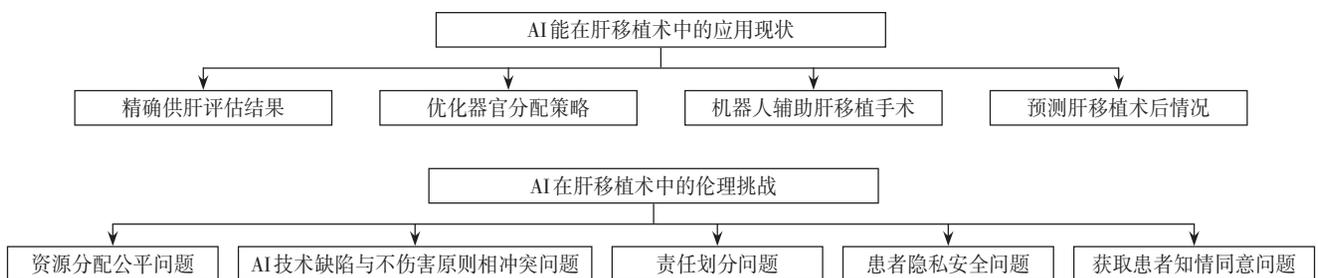


图1 AI在肝移植手术中的应用现状及伦理挑战

Figure 1 The current application status and ethical challenges of AI in liver transplantation surgery

1 AI概述

AI最早由阿兰·图灵在1937年提出，以计算机科学为基础，旨在研究和开发能够模拟、延伸和扩展人类智能的理论、方法、技术和应用系统^[13]。AI是一个广义的计算机学术语，包括但不限于机器学习（machine learning, ML）、深度学

习（deep learning, DL）和机器人技术等，其中ML和DL是AI的重要分支^[14]，其能够自动学习和处理临床中的复杂数据，并依靠强大算法对数据中的特征值进行分析，从而实现某些临床疾病/结局的预测。如使用迁移成分分析与支持向量机算法对肝移植术后发生并发症进行预测时，可通过时间节点划分源领域与目标领域，借助最大均值差

异和最小化分布差异,结合高斯核函数对特征进行降维以实现领域自适应,最终在降维后的源域数据上训练模型,能够有效提升肝移植术后发生并发症的预测性能^[15]。未来随着多模态AI技术和机器人手术的进一步融合,肝移植将向精准化、个性化的方向发展,但在其应用过程中也伴随若干不可避免的伦理问题。英国阿兰·图灵研究所将AI伦理视为一系列价值观、原则和标准,旨在指导AI技术的开发与应用,这意味着在应用AI时应遵循相应的伦理原则和标准,否则可能会对个人和社会产生不同程度的负面影响,这也揭示了人类与机器、工作效率与人类规范之间的潜在冲突^[16]。

2 AI在肝移植手术中的应用现状

2.1 精确供肝评估结果

供肝评估对肝移植手术成功与否及患者术后生活质量影响深远,高质量的供肝有助于术后恢复,降低并发症发生风险,但其在肝移植手术过程中受到供体情况、肝脏获取及转运等多个变量影响,且呈现出随时间变化而更为复杂的多维度非线性关系^[13],传统的统计方法无法满足其评估需求,但AI算法特征可解决这一难题。如供肝脂肪变性是影响移植功能的重要因素之一,肝活检被认为是评估脂肪变性的金标准^[17],然而肝脏的脂肪沉积分布往往呈现不均匀状态,对单一取样点进行评估无法全面反映整个肝脏的脂肪变性情况。DL技术则可对全切片病理图像进行像素级解析,并通过卷积神经网络自动识别脂肪变性区域的空间分布特征。Cesaretti团队^[8]构建的迁移学习模型仅需使用智能手机拍摄肝脏照片,即可在数秒内完成脂肪变性定量分析,其检测敏感度(93%)与诊断准确率(89%)接近病理专家双盲阅片水平,同时打破活检取样对组织完整性破坏这一缺陷。同时,不同操作者在执行活检时存在效率和精确度的差异,使活检结果的可重复性受到影响^[18],而使用AI技术建立标准化特征提取流程可有效改善这一情况。Vanderbeck等^[19]开发的支持向量机分类器可自动区分大泡性($\geq 30\ \mu\text{m}$)与小泡性脂肪变性,其分类准确率达95%,较人工诊断的Kappa一致性系数提升42%,该系统通过纹理特征分析识别脂肪滴的形态学差异,构建包含128维特征向量的诊断矩阵,使脂肪变性分级从

主观描述转化为客观量化指标。综上,AI的快速发展使我们对供肝进行客观、全面、精准的评估成为可能。

2.2 优化器官分配策略

目前,器官捐赠者数量与等待移植患者数量之间的不平衡仍是肝移植手术的致命弱点,而通过精准器官分配实现移植效益最大化是解决这一难题的有效策略^[20]。目前常以终末期肝病评分(model for end-stage liver disease, MELD)结果实施器官分配,MELD评分越高表明患者疾病严重程度越高^[21]。有学者^[13]认为这种基于“病重患者优先”的分配原则违背了肝移植手术中的“获益原则”。因此,许多学者将AI算法应用在器官分配策略中,Bertsimas团队^[22]开发的病死率优化预测模型采用最优分类树算法,有效整合了237项动态临床参数构建了风险评估矩阵,该模型经过训练后能够更准确和客观地确定等待移植名单患者的优先次序,其应用以来,平均每年减少418例等待肝移植患者的死亡。Nagai团队^[23]构建的神经网络分配模型可同时处理供体生物标志物的时序数据与受体影像组学特征,该模型利用癌症基因组图谱(TCGA)肝脏数据库的1.2万例组学数据进行训练,模型结果显示其曲线下面积为0.93,远高于MELD评分的0.86,说明基于神经网络的预测模型效能优于传统的MELD评分。器官分配的目的在于最大程度地提高移植存活的可能性、延长患者生命,对特定供受体分配进行精准预测可对有限的供肝资源进行更合理的分配,以减少供肝浪费,AI算法在此方面发挥了一定的积极作用,有效缓和了日趋严重的器官供需矛盾问题。

2.3 机器人辅助肝移植手术

活体肝移植被认为是扩大供肝来源的重要途径,但让供体暴露在手术干预的固有风险中一定程度上会对其发展造成阻碍。因此,减少供体术后疼痛,最大程度减小手术切口及实现快速康复是扩大供肝来源的重要途径^[24],微创外科技术则以最小化的创伤尽可能减轻患者疼痛、缩短恢复期并减少术后并发症的发生^[25]。同时,作为微创方法的合理延伸,机器人辅助肝移植手术展现出核心优势,手术机器人能够通过机械臂携带高清3D摄像头及器械进入腹腔,清晰暴露肝门及肝实质,并利用多自由度机械臂精细游离于血管与胆管中,结合吲哚菁绿荧光显像技术,提升分离精

准度。同时采用超声刀或双极电凝逐步离断肝组织，减少术中出血，并通过下腹小切口取出供肝，保留供体腹壁完整性，缩短术后恢复时间^[26]。此外，手术机器人还能够协助医生在放大视野下完成血管吻合与胆管重建^[27]。Giulianotti等^[28]在2012年首次报道使用机器人系统的肝脏切除术，证实了机器人手术系统的可操作性，为机器人技术在肝移植手术中的应用奠定了基础。随后，Chen等^[29]报道了13例机器人辅助行活体供肝切除，并与54例开放性供肝切除术进行对比，结果表明两组患者的出血量、并发症发生率和供者恢复时间无差异。Broering等^[30]通过比较35例机器人辅助行活体供肝切除和70例开放性供肝切除术之间的预后发现，机器人手术可使术后疼痛减轻、出血量减少及并发症发生率降低。综上，相较于传统手术方式，机器人手术可以复制高度精确的外科手术，还可用来克服可视化减少、运动范围受限和生理性震颤等问题。

2.4 预测肝移植术后情况

通过精准评估肝移植术后患者的死亡风险与并发症发生概率，可实现早期干预以改善患者预后情况，传统方法在肝移植患者术后预测中面临诸多困境，如难以捕捉预后因素间的非线性关系和多维交互作用、对时序数据的动态变化不敏感，无法实时反映患者状态^[31]。AI技术则能够捕捉非线性关系、融合多模态数据解析多维交互，同时采用时序网络建模实现即时反馈，有效提升术后预测精准度和时效性。Zhang等^[32]运用多层感知器预测肝移植受者术后1、2、5年的死亡风险，结果表明其死亡风险呈现出多维且非线性的变化过程，而传统模型无法有效预测这一变化过程，多层感知器则在此方面表现出较高的准确率。Khosravi等^[33]使用Cox回归和神经网络对移植后患者的5年生存率进行预测并探究其影响因素。结果表明神经网络的预测性能优于Cox回归，且年龄、合并肾、肺和血管并发症的移植后患者5年内病死率更高。急性肾损伤（acute kidney injury, AKI）是肝移植术后的一个重要并发症，并与移植物存活率低紧密相关，Lee等^[33]回顾性使用1 211例患者数据，采用多种算法和深度置信网络预测AKI的发生，并开发了AKI风险评估器，表现出良好的预测效果。我国学者^[15]使用ML方法进行建模后对肝移植术后可能会出现6种并发症进行预测，该模型表现出

较高的精准率，能够有效提高肝移植并发症预测的准确率。综上，在肝移植后环境中，AI可以协助指导肝移植受者的管理，尤其是通过预测患者和移植物的存活率，以及及时识别疾病复发和并发症发生的风险因素。

3 AI应用于肝移植手术中的伦理问题

中国已将发展AI上升为国家战略，全面布局新一代AI将成为主导全球科技竞争的关键战略部署，AI技术不仅会对中国技术和产业领域产生颠覆性的影响，对国内的经济、社会、政治等领域也会带来严峻挑战，而伦理治理在AI发展中至关重要^[34]。新一代AI治理专业委员会指出应着重考虑AI的公平、无偏见、透明、可解释、安全、不侵犯隐私、负责任、有利于人类等特性^[35]。因此，探究AI应用于肝移植手术中带来的伦理问题符合当前此领域发展的现实需求。

3.1 资源分配公平问题

AI技术应用于肝移植手术中引发的资源分配公平问题主要体现在两个方面。一方面，现有供肝资源限制了全面满足患者需求的能力，如何精准高效地分配有限的肝脏资源是进行移植手术前的一个重要决策问题^[36]。AI技术虽在此方面发挥了积极作用，但由于其算法本身存在的偏见和歧视为肝脏资源的分配带来了不可避免的公平性问题。首先，算法偏见是AI领域中一个重要且复杂的问题，它涉及算法在决策过程中可能对某些群体产生的不公平偏好。如基于患者既往数据训练供肝分配策略模型，可能会因为其中的主观偏见导致肝脏分配出现不公平决策^[37]。其次，AI算法也可能在不同群体之间产生歧视，如肝移植候选人中可能存在种族、性别或经济地位等方面的歧视。Drezga-Kleiminger等^[36]发现，现有肝移植等待名单中即存在巨大的种族、地区和民族差异，而在偏见和歧视算法下得出的肝脏分配结果可能会放大现有肝脏资源分配不公现状。另一方面，机器人在肝移植手术中的应用虽解决了传统手术的许多难题，但其高昂成本和先进技术会加剧当下医疗资源分配不均及医疗服务质量的两极分化问题^[38]。由于医疗资源的有限性，先进技术的普及速度往往存在区域性差异，只有部分高收入群体能够负担得起配备有机器人且能够进行肝移植手

术的医院,造成贫困人群无法享受先进技术带来的优质医疗服务现况,这势必会加剧不同地区之间医疗资源分配不均问题^[39]。因此,确保AI在肝移植手术应用中的公平性需要通过综合技术创新、医疗技术普惠与区域协作等多方面的共同努力。如技术创新层面开发去偏见的训练数据系统,建立多维度医疗公平性数据集,模型训练过程中主动识别并消除潜在偏见^[40]。医疗技术普惠与区域协作可建立技术转移中心,在区域医疗中心部署模块化AI手术系统,开发云端手术辅助平台实现远程技术共享,实施“1+N”帮扶计划,促进先进技术向基层扩散,缩小区域间医疗技术水平差距^[41]。

3.2 AI技术缺陷与不伤害原则相冲突问题

任何新技术的出现都会由于其技术本身存在缺陷或使用者操作不成熟、技术发展进程中存在不确定性而伴随安全风险问题^[42]。AI结果输出的准确率对于保障患者生命安全与健康至关重要,尤其涉及肝移植这类高风险外科手术时,通常对依据AI所做出的临床决策和评估的准确率有着更高要求,但目前AI在该领域所输出的结果准确率并未达到理想水平^[43]。这是由于肝脏的复杂结构及现有医学影像技术在捕捉细节方面的局限性使其无法完全反映出肝脏的实际情况。同时,相关生理参数的测量和采集因受到各种因素干扰而导致的数据质量下降、分布不均等问题也有可能造成医生决策失误,进而影响肝移植手术结果,甚至对患者的生命安全造成威胁^[44]。除此之外,机器人在肝移植手术中的应用虽提高了手术效率,但也带来了一系列技术安全风险问题。肝脏是人体最大的消化腺器官,其解剖结构错综复杂,血管分布密集,而肝移植手术需对肝组织进行复杂的切割、缝合等操作,稍有不慎便可能造成不可逆的肝脏损伤^[25]。研究^[45]表明,在1 797例达芬奇机器人手术中有43例出现机械故障,尽管在肝移植术前会对机器人的安全性和有效性进行验证,术中由专业医师进行操作和监视,但机器人系统的技术缺陷、自主性程序故障或医务人员与机器人配合失误等问题一旦出现均会对患者造成直接损伤^[46],这可能与生命伦理学基本原则之一的“不伤害原则”构成冲突。因此,今后需从数据质量、算法模型安全和可信度等多个层面进行系统性的研究和创新,不断提升AI在此领域结果输出的准确率、安全性和有效性。另外,应对机器人

进行严格的测试和验证,以确保其可靠性和稳定性,最大程度保障患者安全。

3.3 责任划分问题

AI在肝移植手术的整个治疗过程中充当的角色是多方面的,其可作为医疗人员的辅助工具提供决策建议或直接参与到患者的治疗过程中。因此,若是AI在肝移植手术过程中出现故障或错误对患者造成难以挽回的损伤时,这些失误的责任分配则需要根据不同情境、目标和利益相关者进行动态地定义和划分,但AI算法的“黑箱”特质使其责任划分问题变得尤为突出和棘手^[47]。“黑箱”特质,即AI技术的内部运算逻辑和决策过程具有不透明性和不可解释性,这种特质会使责任认定变得模糊和困难^[48]。如依赖AI决策结果造成的诊断或治疗失误,会因其具体决策过程未知,而致受害者和相关方无法明确错误源头,使责任溯源和划分变得困难。调查^[49]显示,当AI造成医疗事故时,约66.0%的公众倾向于医生承担主要责任,43.8%的医生认为AI产品的提供方应当承担主要责任。另外,手术机器人的出现是AI的又一重要里程碑,在肝移植手术中,机器人可辅助医生或由医生设置参数及手术步骤后单独进行操作,在这一过程中,“机器人是否能够作为责任主体”是一个值得深入探讨的问题,也是机器人伦理的基本问题之一^[50]。根据意识与自主之间的关系,可以认为手术机器人不具备意识,则不能作为责任主体,而机器人无法作为责任主体,若造成不良后果,给患者带来伤害,需确认谁来负责的问题。传统法律框架中,责任通常由具体的个人或组织承担,然而在AI系统下,责任的划分问题常常变得模糊,开发者、使用者、数据提供者以及AI本身都涉及其中^[39]。因此,AI技术在肝移植手术中的责任问题不是某个单一群体的问题,而是多元行为主体的问题,这种多重责任的情况使得现存法律制度面临巨大挑战,现有的相关法律法规和伦理框架仍缺乏明确指导,如何加强法律监控及保护,平衡患者、医生、设计者、制造者等各方面权责是迫切需要思考和关注的问题。

3.4 患者隐私安全问题

患者隐私安全是AI应用在医疗领域内被提及次数最多的伦理问题。数据是AI发挥作用的根基,AI技术在肝移植手术应用过程中通过处理大量患者数据来训练模型,并从中挖掘有价值的信息提

供决策方案、优化移植结果和预测患者结局，由于肝移植手术的“双患者”特征，其涉及的数据信息覆盖面更为广泛^[12]。大数据环境下，一旦患者信息泄露则可能会带来身份盗用、污名化等问题，不法分子也可利用数据挖掘预测技术对碎片化的个人健康信息进行处理，以此推测出个人的核心隐私信息，使患者隐私安全的保护难度加大^[51]。因此，如何保护患者信息不被泄露和滥用是AI在肝移植手术长期应用中必须考虑的问题。患者隐私安全受到多方面因素影响，其保护可从技术防护、法规建设、流程管理及伦理规范等维度综合施策^[7]。首先，数据收集与管理过程中，可通过脱敏技术剥离个人可识别信息，按照数据敏感性实施差异化管控，高敏数据采用区块链存证、动态加密，常规数据建立访问权限白名单，以降低泄露、篡改及滥用风险^[51]。其次，政府应发挥主导作用，积极推动建立健全医疗信息数据保护制度，明确数据采集范围及使用流程，并建立三级监管体系，实施常态化风险预警。各医疗单位及健康信息数据管理相关机构应在政府制定的框架下，结合自身业务特点制定具体可行的隐私安全保护规范，并设置专职人员监督执行，以保障信息数据的安全性和完整性^[52]。此外，定期组织数据伦理培训，提升其职业道德水平、强化责任归属、恪守伦理底线也是确保AI技术更好服务患者的有效举措。

3.5 获取患者知情同意的问题

获取患者知情同意是肝移植手术过程中不可或缺的一环，也是临床诊疗中的基本伦理要求之一，其前提是医务人员充分、准确、完整地将整个手术过程中的必要信息告知患者，以确保患者充分理解手术的益处、风险及替代方案，从而自主做出符合其价值观和偏好的决策^[42]。AI技术的应用在为肝移植手术带来诸多优势的同时，也使获取患者知情同意变得更具挑战，如AI在生成肝移植手术决策及诊疗方案时依赖于患者健康数据，所以患者对数据采集的知情同意和平台方对数据使用的透明性，成为评估这一领域是否符合科技伦理的关键因素，知情同意涉及患者是否充分了解其健康数据如何被采集、储存和使用，而由于智能诊疗系统的技术复杂性，患者可能在缺乏足够信息的情况下即同意数据的采集和使用^[53]。针对机器人参与的肝移植手术，获取患者知情同意

的挑战不仅体现在医务人员的完全告知方面，还体现在其自身是否充分了解机器人辅助手术的潜在风险^[54]，当医务人员无法清晰理解手术机器人的工作原理，会使他们在给予知情同意时面临困惑，甚至在某种程度上失去控制权，使获取患者知情同意的程序变得表面化^[48]。除此之外，AI在肝移植手术中的应用是一种新技术，但这种技术创新会对患者产生信息误导，使其认为“新”的治疗方式效果也会更为优越，导致患者未能充分知情而盲目做出非理性的知情同意决定^[42]。同时，存在认知障碍或智力残疾不能完全理解使用AI所带来的风险与利益的患者，是否有知情同意的能力或应由谁来代替其进行知情同意仍值得进一步探讨^[54]。因此，为了更加有效地获取患者的知情同意，需伦理委员会、研究者、临床医师及公众共同努力，在进行知情同意过程时加强监督，避免提供不正当的诱导或欺骗信息，伦理委员会需提升其审查监管职能，只有多方协同，才能更好地保护患者的安全和权益。

4 结 语

AI作为医疗领域内一项极具前景的颠覆性创新技术，为肝移植手术提供了新的技术赋能，应用AI构建临床模型、优化器官分配策略、进行移植术后预测成为帮助临床医生及患者作出关键决策的有效工具，也实现了医务人员及患者权益的最大化。但包括肝移植手术在内的多个医学领域内AI的临床实践与应用所面临的伦理问题依旧紧迫和棘手，如AI在肝移植手术中存在的资源分配公平、AI技术缺陷与不伤害原则相冲突、责任划分、患者隐私安全及获取患者知情同意等伦理问题很大程度上影响了其在肝移植手术中的发展及社会接受度。除此之外，AI技术在肝移植手术中的应用仍存在多重潜在风险，如技术故障导致医患关系紧张升级、算法更新滞后于医学进展导致决策依据片面化、技术公司通过算法获得医疗决策话语权、数据垄断导致医疗资源配置权转移等问题。因此，有效可靠且科学的伦理治理是AI技术在肝移植手术中可持续发展、创新与应用的关键。当前，一些国家和组织已开始采取行动，制定AI伦理指导原则和政策。欧盟实施了通用数据保护条例，以保护个人数据不被滥用。中国政府

也在积极推动AI伦理和法律框架的建设,以确保技术的发展不会损害公民的权利和利益,但仅制定伦理准则并不能完全为AI研发使用者带来有效的实践指导,同时现存的伦理准则也存在不够细化、难以落地的问题。因此,未来如何将抽象的伦理原则转化为具体的实践仍是该领域一个重要的挑战。

作者贡献声明:侯梦楠负责研究问题的提出与设计、论文撰写与修改;刘旭东、莫晓微负责文章构思、文献收集与整理;李文庭负责文章的质量控制及审校;刘赞负责文章最终版本修订,对文章整体负责,全体作者阅读并同意最终文本。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] World Health Organization. Global hepatitis report 2024: action for access in low- and middle-income countries[EB/OL]. [2025-04-18]. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240091672>.
- [2] Ivanics T, Limkemann A, Patel MS, et al. Long-term outcomes of retransplantation after live donor liver transplantation: a Western experience[J]. *Surgery*, 2023, 173(2): 529-536. doi: 10.1016/j.surg.2022.09.022.
- [3] Sugawara Y, Hibi T. Recent trends and new developments in liver transplantation[J]. *Biosci Trends*, 2024, 18(3): 206-211. doi: 10.5582/bst.2024.01176.
- [4] Bajaj JS, Choudhury AK, Xie Q, et al. Global disparities in mortality and liver transplantation in hospitalised patients with cirrhosis: a prospective cohort study for the CLEARED Consortium[J]. *Lancet Gastroenterol Hepatol*, 2023, 8(7):611-622. doi:10.1016/S2468-1253(23)00098-5.
- [5] Lerut J. Living donor liver transplantation: a complex but worthwhile undertaking[J]. *Hepatobiliary Pancreat Dis Int*, 2020, 19(4):305-306. doi:10.1016/j.hbpd.2020.06.018.
- [6] 孙文星,滕大洪.人工智能在肝移植中的应用[J].实用器官移植电子杂志,2024,12(6):557-562. doi: 10.3969/j.issn.2095-5332.2024.06.016.
Sun WX, Teng DH. The application of artificial intelligence in liver transplantation[J]. *Practical Journal of Organ Transplantation: Electronic Version*, 2024, 12(6):557-562. doi:10.3969/j.issn.2095-5332.2024.06.016.
- [7] 周罗晶,邵旸,张瑞,等.智慧医疗场景下人工智能应用伦理问题与治理路径探讨[J].中国医院,2024,28(2):38-41. doi:10.19660/j.issn.1671-0592.2024.2.10.
Zhou LJ, Shou Y, Zhang R, et al. Ethical issues of artificial intelligence applications in smart healthcare scenarios and its governance path[J]. *Chinese Hospitals*, 2024, 28(2): 38-41. doi: 10.19660/j.issn.1671-0592.2024.2.10.
- [8] Cesaretti M, Brustia R, Goumard C, et al. Use of artificial intelligence as an innovative method for liver graft macrosteatosis assessment[J]. *Liver Transpl*, 2020, 26(10): 1224-1232. doi: 10.1002/lt.25801.
- [9] Pruinelli L, Balakrishnan K, Ma SS, et al. Transforming liver transplant allocation with artificial intelligence and machine learning: a systematic review[J]. *BMC Med Inform Decis Mak*, 2025, 25(1):98. doi:10.1186/s12911-025-02890-3.
- [10] Di Benedetto F, Magistri P, Di Sandro S, et al. Safety and efficacy of robotic vs open liver resection for hepatocellular carcinoma[J]. *JAMA Surg*, 2023, 158(1):46-54. doi:10.1001/jamasurg.2022.5697.
- [11] Liu CL, Soong RS, Lee WC, et al. Predicting short-term survival after liver transplantation using machine learning[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1):5654. doi:10.1038/s41598-020-62387-z.
- [12] Bhat M, Rabindranath M, Chara BS, et al. Artificial intelligence, machine learning, and deep learning in liver transplantation[J]. *J Hepatol*, 2023, 78(6):1216-1233. doi:10.1016/j.jhep.2023.01.006.
- [13] 梁智星,叶林森,杨扬.人工智能在肝移植中的应用[J].临床肝胆病杂志,2022,38(1):30-34. doi: 10.3969/j.issn.1001-5256.2022.01.005.
Liang ZX, Ye LS, Yang Y. Application of artificial intelligence in liver transplantation[J]. *Journal Clinical Hepatobiliary*, 2022, 38(1): 30-34. doi:10.3969/j.issn.1001-5256.2022.01.005.
- [14] 吴阳,张万广.人工智能在肝癌精准诊疗中的研究进展[J].中国普通外科杂志,2025,34(1):33-39. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.240561.
Wu Y, Zhang WG. Research progress of artificial intelligence in precision diagnosis and treatment of liver cancer[J]. *China Journal of General Surgery*, 2025, 34(1):33-39. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.240561.
- [15] 曹鸿亮,张莹,武斌,等.基于迁移成分分析和支持向量机的肝移植并发症预测方法[J].计算机应用,2021,41(12):3608-3613. doi: 10.11772/j.issn.1001-9081.2021060886.
Cao HL, Zhang Y, Wu B, et al. Prediction method of liver transplantation complications based on transfer component analysis and support vector machine[J]. *Journal of Computer Applications*, 2021, 41(12): 3608-3613. doi: 10.11772/j.issn.1001-9081.2021060886.
- [16] 唐晓玲,郑楚月.技术伦理视域下美国教育人工智能伦理问题审视:现实表征与规避策略[J].广西师范大学学报:哲学社会科学版,2024,60(3):118-129. doi: 10.16088/j.issn.1001-6597.2024.03.010.
Tang XL, Zheng CY. An examination of the ethical issues of artificial intelligence in American education from the perspective of technical ethics: realistic representation and avoidance strategies[J]. *Journal of Guangxi Normal University: Philosophy and Social Sciences Edition*, 2024, 60(3):118-129. doi:10.16088/j.issn.1001-6597.2024.03.010.
- [17] 卢鑫峰,郭海军,项晶晶.人工智能辅助移植病理在肝移植精准

- 诊治中的应用[J]. 实用器官移植电子杂志, 2023, 11(5):474-478. doi:10.3969/j.issn.2095-5332.2023.05.017.
- Lu XF, Guo HJ, Xiang JJ. Application of artificial intelligence assisted transplantation pathology in accurate diagnosis and treatment of liver transplantation[J]. Practical Journal of Organ Transplantation: Electronic Version, 2023, 11(5): 474-478. doi: 10.3969/j.issn.2095-5332.2023.05.017.
- [18] Ratziu V, Hompesch M, Petitjean M, et al. Artificial intelligence-assisted digital pathology for non-alcoholic steatohepatitis: current status and future directions[J]. J Hepatol, 2024, 80(2):335-351. doi: 10.1016/j.jhep.2023.10.015.
- [19] Vanderbeck S, Bockhorst J, Komorowski R, et al. Automatic classification of white regions in liver biopsies by supervised machine learning[J]. Hum Pathol, 2014, 45(4): 785-792. doi: 10.1016/j.humpath.2013.11.011.
- [20] 刘迎春, 杨斌. 人工智能在肝移植中的应用研究进展[J]. 器官移植, 2024, 15(6):883-888. doi:10.3969/j.issn.1674-7445.2024084.
- Liu YC, Yang B. Research progress on the application of artificial intelligence in liver transplantation[J]. Organ Transplantation, 2024, 15(6):883-888. doi:10.3969/j.issn.1674-7445.2024084.
- [21] Kim WR, Mannalithara A, Heimbach JK, et al. MELD 3.0: the model for end-stage liver disease updated for the modern era[J]. Gastroenterology, 2021, 161(6): 1887-1895. e4. doi: 10.1053/j.gastro.2021.08.050.
- [22] Bertsimas D, Kung J, Trichakis N, et al. Development and validation of an optimized prediction of mortality for candidates awaiting liver transplantation[J]. Am J Transplant, 2019, 19(4): 1109-1118. doi:10.1111/ajt.15172.
- [23] Nagai SJ, Nallabasannagari AR, Moonka D, et al. Use of neural network models to predict liver transplantation waitlist mortality[J]. Liver Transpl, 2022, 28(7):1133-1143. doi:10.1002/lt.26442.
- [24] 周志义, 陈峻, 杨家印, 等. 微创时代的供肝获取:新机遇与新挑战[J]. 实用器官移植电子杂志, 2024, 12(3):193-197. doi:10.3969/j.issn.2095-5332.2024.03.001.
- Zhou ZY, Chen J, Yang JY, et al. Liver Donation Acquisition in the Minimally Invasive Era: New Opportunities and Challenges[J]. Practical Journal of Organ Transplantation: Electronic Version, 2024, 12(3):193-197. doi:10.3969/j.issn.2095-5332.2024.03.001.
- [25] 中华医学会器官移植学分会, 中国医师协会器官移植医师分会. 中国活体肝移植供者微创手术技术指南(2024年版)[J]. 中国普外基础与临床杂志, 2024, 31(3): 285-296. doi: 10.7507/1007-9424.202402055.
- Branch of Organ Transplant of China Medical Association, Branch of Organ Transplant Physicians of Chinese Medical Doctor Association. Chinese guidelines for minimally invasive surgical technique in living donor liver transplantation (2024 edition) [J]. Chinese Journal of Bases and Clinics in General Surgery, 2024, 31(3):285-296. doi:10.7507/1007-9424.202402055.
- [26] 李星霏, 罗湘, 李涛. 机器人活体供肝切取术的现状与进展[J]. 器官移植, 2022, 13(6): 730-735. doi: 10.3969/j.issn.1674-7445.2022.06.006.
- Li XF, Luo X, Li T. Current status and progress on robot living donor liver hepatectomy[J]. Organ Transplantation, 2022, 13(6): 730-735. doi:10.3969/j.issn.1674-7445.2022.06.006.
- [27] 张璐, 王经琳, 任昊桢, 等. 机器人辅助肝切除术临床应用进展[J]. 中华腔镜外科杂志: 电子版, 2021, 14(6):375-378. doi: 10.3877/cma.j.issn.1674-6899.2021.06.013.
- Zhang L, Wang JL, Ren HZ, et al. Progress in clinical application of robot assisted hepatectomy[J]. Chinese Journal of Laparoscopic Surgery: Electronic Edition, 2021, 14(6):375-378. doi:10.3877/cma.j.issn.1674-6899.2021.06.013.
- [28] Giulianiotti PC, Tzvetanov I, Jeon H, et al. Robot-assisted right lobe donor hepatectomy[J]. Transpl Int, 2012, 25(1):e5-e9. doi:10.1111/j.1432-2277.2011.01373.x.
- [29] Chen PD, Wu CY, Hu RH, et al. Robotic liver donor right hepatectomy: a pure, minimally invasive approach[J]. Liver Transpl, 2016, 22(11):1509-1518. doi:10.1002/lt.24522.
- [30] Broering DC, Elsheikh Y, Alnemaary Y, et al. Robotic versus open right lobe donor hepatectomy for adult living donor liver transplantation: a propensity score-matched analysis[J]. Liver Transpl, 2020, 26(11):1455-1464. doi:10.1002/lt.25820.
- [31] Khosravi B, Pourahmad S, Bahreini A, et al. Five years survival of patients after liver transplantation and its effective factors by neural network and cox proportional hazard regression models[J]. Hepat Mon, 2015, 15(9):e25164. doi:10.5812/hepatmon.25164.
- [32] Zhang M, Yin F, Chen B, et al. Mortality risk after liver transplantation in hepatocellular carcinoma recipients: a nonlinear predictive model[J]. Surgery, 2012, 151(6):889-897. doi:10.1016/j.surg.2011.12.034.
- [33] Lee HC, Yoon SB, Yang SM, et al. Prediction of acute kidney injury after liver transplantation: machine learning approaches vs. logistic regression model[J]. J Clin Med, 2018, 7(11): 428. doi: 10.3390/jcm7110428.
- [34] 吴逸菲, 樊春良. 中国语境下人工智能伦理治理的路径塑造: 基于价值-工具二维理性的融合框架[J]. 科学学研究, 2025, 43(1): 79-90. doi:10.16192/j.cnki.1003-2053.20240306.001.
- Wu YF, Fan CL. Shaping the ethical governance path of Artificial Intelligence in the Chinese context: Based on value-instrument rationality[J]. Studies in Science of Science, 2025, 43(1): 79-90. doi:10.16192/j.cnki.1003-2053.20240306.001.
- [35] 陶海燕, 周吉银. 浅议中国人工智能伦理治理的对策[J]. 中国医学伦理学, 2020, 33(6): 703-707. doi: 10.12026/j.issn.1001-8565.2020.06.12.
- Tao HY, Zhou JY. Discussion on the Countermeasures of Ethical Governance of Artificial Intelligence in China[J]. Chinese Medical Ethics, 2020, 33(6): 703-707. doi: 10.12026/j.issn.1001-8565.2020.06.12.
- [36] Drezga-Kleiminger M, Demaree-Cotton J, Koplín J, et al. Should AI allocate livers for transplant? Public attitudes and ethical considerations[J]. BMC Med Ethics, 2023, 24(1):102. doi:10.1186/s12910-023-00983-0.
- [37] Ayllón MD, Ciria R, Cruz-Ramírez M, et al. Validation of artificial

- neural networks as a methodology for donor-recipient matching for liver transplantation[J]. *Liver Transpl*, 2018, 24(2):192-203. doi: 10.1002/lt.24870.
- [38] Rueda J, Rodríguez JD, Jounou IP, et al. "Just" accuracy?Procedural fairness demands explainability in AI-based medical resource allocations[J]. *AI Soc*, 2022: 1-12. doi: 10.1007/s00146-022-01614-9.
- [39] 吴博臻, 古津贤. 手术机器人临床应用的伦理风险及对策研究[J]. *中国医学伦理学*, 2020, 33(1):17-20. doi: 10.12026/j.issn.1001-8565.2020.01.04.
- Wu BZ, Gu JX. Ethical risks and countermeasures of clinical application of surgical robots[J]. *Chin Med Ethics*, 2020, 33(1):17-20. doi:10.12026/j.issn.1001-8565.2020.01.04.
- [40] Strauss AT, Sidoti CN, Sung HC, et al. Artificial intelligence-based clinical decision support for liver transplant evaluation and considerations about fairness: a qualitative study[J]. *Hepatol Commun*, 2023, 7(10): e0239. doi: 10.1097/HC9.0000000000000239.
- [41] 刘镇江, 刘笑天. 医疗AI与临床诊疗实践:伦理风险的解析与防范[J]. *锦州医科大学学报:社会科学版*, 2025, 23(2):20-25. doi: 10.13847/j.cnki.lnmu(sse).2025.02.006.
- Liu ZJ, Liu XT. Medical AI and Clinical Practice: Analysis and Prevention of Ethical Risks[J]. *Journal of Jinzhou Medical University: Social Science Edition*, 2025, 23(2): 20-25. doi: 10.13847/j.cnki.lnmu(sse).2025.02.006.
- [42] 王紫合, 寇楠楠. 神经外科手术机器人临床应用的伦理探析[J]. *医学与社会*, 2024, 37(2): 118-123. doi: 10.13723/j.yxysh.2024.02.019.
- Wang ZH, Kou NN. Ethical Analysis on the Clinical Application of Neurosurgical Robots[J]. *Medicine and Society*, 2024, 37(2): 118-123. doi:10.13723/j.yxysh.2024.02.019.
- [43] 吴鹏, 高柳村, 汤善宏. 应用人工智能技术诊治肝脏疾病研究进展[J]. *实用肝脏病杂志*, 2023, 26(2):293-296. doi: 10.3969/j.issn.1672-5069.2023.02.036.
- Wu P, Gao LC, Tang SH. Artificial intelligence in the diagnosis and treatment of patients with liver diseases[J]. *Journal of Practical Hepatology*, 2023, 26(2): 293-296. doi: 10.3969/j.issn.1672-5069.2023.02.036.
- [44] 孟海鹏, 高晶晶, 王群, 等. 病理学检查在肝移植供肝质量评价中的应用[J]. *中国现代普通外科进展*, 2019, 22(11):912-917. doi: 10.3969/j.issn.1009-9905.2019.11.022.
- Meng HP, Gao JJ, Wang Q, et al. Application of pathological examination in quality evaluation of liver transplantation donor liver[J]. *Chinese Journal of Current Advances in General Surgery*, 2019, 22(11):912-917. doi:10.3969/j.issn.1009-9905.2019.11.022.
- [45] Kim WT, Ham WS, Jeong W, et al. Failure and malfunction of da Vinci Surgical systems during various robotic surgeries: experience from six departments at a single institute[J]. *Urology*, 2009, 74(6): 1234-1237. doi:10.1016/j.urology.2009.05.071.
- [46] Attanasio A, Scaglioni B, De Momi E, et al. Autonomy in surgical robotics[J]. *Annu Rev Control Robot Auton Syst*, 2021, 4:651-679. doi:10.1146/annurev-control-062420-090543.
- [47] 叶卓俊, 沈艳丽, 江晓, 等. 医学人工智能领域伦理治理重点研究[J]. *中国医学伦理学*, 2024, 37(1):39-44. doi:10.12026/j.issn.1001-8565.2024.01.05.
- Ye ZJ, Shen YL, Jiang X, et al. Research on the focus of ethical governance in the field of artificial intelligence in medicine[J]. *Chinese Medical Ethics*, 2024, 37(1): 39-44. doi: 10.12026/j.issn.1001-8565.2024.01.05.
- [48] Durán JM, Jongsma KR. Who is afraid of black box algorithms?On the epistemological and ethical basis of trust in medical AI[J]. *J Med Ethics*, 2021, 18: medethics-2020-106820. doi: 10.1136/medethics-2020-106820.
- [49] Khullar D, Casalino LP, Qian YT, et al. Public vs physician views of liability for artificial intelligence in health care[J]. *J Am Med Assoc*, 2021, 28(7):1574-1577. doi:10.1093/jama/ocab055.
- [50] 陶林. 论医学人工智能的运用、伦理风险与规制[J]. *青岛科技大学学报:社会科学版*, 2022, 38(2):63-69. doi:10.3969/j.issn.1671-8372.2022.02.011.
- Tao L. On the application, ethical risk and regulation of medical artificial intelligence[J]. *Journal of Qingdao University of Science and Technology:Social Sciences*, 2022, 38(2):63-69. doi:10.3969/j.issn.1671-8372.2022.02.011.
- [51] Polevikov S. Advancing AI in healthcare: a comprehensive review of best practices[J]. *Clin Chim Acta*, 2023, 548: 117519. doi: 10.1016/j.cca.2023.117519.
- [52] 侯滢. 人工智能在糖尿病个性化治疗中的伦理挑战与治理策略[J]. *医学与哲学*, 2024, 45(23):34-37. doi:10.12014/j.issn.1002-0772.2024.23.08.
- Hou Y. The Ethical Challenge and Governance Strategies of Artificial Intelligence in Personalized Diabetes Treatment[J]. *Medicine & Philosophy*, 2024, 45(23): 34-37. doi: 10.12014/j.issn.1002-0772.2024.23.08.
- [53] Lam K, Abramoff MD, Balibrea JM, et al. A Delphi consensus statement for digital surgery[J]. *NPJ Digit Med*, 2022, 5(1):100. doi: 10.1038/s41746-022-00641-6.
- [54] 孟丽君, 李义庭, 孙莹炜, 等. 人工智能在康复领域研究应用的伦理审视[J]. *中国医学伦理学*, 2025, 38(2):166-172. doi:10.12026/j.issn.1001-8565.2025.02.04.
- Meng LJ, Li YT, Sun YW, et al. Ethical examination of the research and application of artificial intelligence in the field of rehabilitation[J]. *Chinese Medical Ethics*, 2025, 38(2): 166-172. doi:10.12026/j.issn.1001-8565.2025.02.04.

(本文编辑 宋涛)

本文引用格式:侯梦楠,刘旭东,莫晓微,等.人工智能在肝移植手术中的应用现状及伦理挑战[J].*中国普通外科杂志*, 2025, 34(7):1505-1513. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250052

Cite this article as: Hou MN, Liu XD, Mo XW, et al. Current status and ethical challenges of artificial intelligence in liver transplantation surgery[J]. *Chin J Gen Surg*, 2025, 34(7):1505-1513. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.250052