

· 指南与共识 ·

中国器官移植 AI 辅助临床决策专家共识

中国肝移植注册中心 国家肝脏移植质控中心 国家人体捐献器官获取质控中心 中国医师协会器官移植医师分会移植器官质量控制专业委员会 国家创伤医学中心器官保护专业委员会 中国器官移植发展基金会

【摘要】 我国器官捐献与移植事业发展迅速，已跃居成为世界第二捐献与移植大国，但是器官移植数量和质量仍有待进一步提高，以满足广大等待移植受者需求。人工智能（AI）支持多源临床大数据的整合、分析与应用，能够辅助拓展可用供器官、提升移植质量，为缓解移植器官供需失衡提供新的技术基础。为规范 AI 在我国器官捐献与移植全流程的辅助应用，现组织多学科专家制定《中国器官移植 AI 辅助临床决策专家共识》，通过构建统一的数据与模型要求，形成覆盖供者评估维护及器官匹配、器官保存与转运、器官移植手术和术后受者管理等全流程器官捐献与移植临床场景的技术框架，并规范伦理法规约束与责任主体边界，以进一步提升 AI 辅助器官捐献与移植工作的规范化、安全化水平，促进我国器官捐献与移植事业的高质量发展。

【关键词】 人工智能；器官捐献与移植；临床决策；专家共识

【中图分类号】 R617, TP39 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-7445 (2026) 03-01-12

Chinese expert consensus on AI-assisted clinical decision-making in organ transplantation China Liver Transplant Registry, National Center for Healthcare Quality Management in Liver Transplant, National Quality Control Center for Donated Organ Procurement, Committee on Transplant Organ Quality Control, Branch of Organ Transplant Doctor, Chinese Medical Doctor Association, National Trauma Medical Center Organ Protection Committee, China Organ Transplantation Development Foundation. Hangzhou 310006, China

Corresponding authors: Li Jianhui, Email: 1309004@zju.edu.cn

Xin Liming, Email: xinliming@shu.edu.cn

Xu Xiao, Email: zjxu@zju.edu.cn

Zheng Shusen, Email: shusenzheng@zju.edu.cn

【Abstract】 Organ donation and transplantation in China have developed rapidly, ranking second in the world in terms of both donation and transplantation volume. However, both the quantity and quality of organ transplants remain to be further improved to satisfy the demands of the vast number of recipients awaiting transplantation. Artificial intelligence (AI) facilitates the integration, analysis, and application of multi-source clinical big data. It is capable of assisting in expanding the pool of available donor organs and enhancing graft quality, thereby providing a novel technological foundation for alleviating the imbalance between the supply and demand of transplant organs. To standardize the auxiliary application of AI throughout the entire process of organ donation and transplantation in China, a team of multidisciplinary

DOI: 10.12464/j.issn.1674-7445.2026078

基金项目：人工器官与计算医学全省重点实验室自主课题（SZD2025B009）；国家自然科学基金项目（62333014、62073211）；重庆市科文联合医学科研攻关项目（2024GGXM005）；中央高校基本科研业务费专项资金（2025ZFH03）；中国医学科学院中央级公益性科研院所基本科研业务费（2023-PT320-02）；上海市白玉兰人才计划浦江项目（24PJJA029）

执笔作者单位：310006 杭州，树兰（杭州）医院（李建辉）；上海大学（辛立明、刘月华、干张蔚、李龙旭、陈浩鑫、王张权、王文超）；浙江省人民医院（乔银标）；武汉大学中南医院（叶少军）；西安交通大学第一附属医院（丁晨光）；广西医科大学第二附属医院（董建辉）；中国人民解放军南部战区总医院（谭晓宇）；浙江大学医学院附属第一医院（吴昊）

通信作者：李建辉，Email: 1309004@zju.edu.cn；辛立明，Email: xinliming@shu.edu.cn；徐骁，Email: zjxu@zju.edu.cn；郑树森，Email: shusenzheng@zju.edu.cn

experts were convened to formulate the Chinese Expert Consensus on AI-Assisted Clinical Decision-Making in Organ Transplantation. By establishing unified requirements for data and models, this consensus forms a technical framework covering clinical scenarios across the entire workflow of organ donation and transplantation, including donor assessment and maintenance, organ matching, organ preservation and transport, transplant surgery, and post-transplant recipient management. Furthermore, it clarifies ethical and regulatory constraints as well as the boundaries of responsibility subjects. The aim is to further enhance the standardization and safety of AI-assisted organ donation and transplantation, ultimately promoting the high-quality development of this field in China.

【Key words】 Artificial intelligence; Organ donation and transplantation; Clinical decision-making; Expert consensus

器官移植是治疗终末期器官功能衰竭的唯一有效手段。我国器官移植事业已取得长足发展，器官捐献与移植数量已位居全球第二，成为仅次于美国的器官捐献与移植大国^[1]。然而，日益增长的器官移植需求也加重了供器官短缺难题。边缘供器官的拓展利用使移植全流程管理复杂性与风险显著上升，对器官捐献和移植服务的专业性、精准性和时效性提出了更高要求^[2]。目前，我国器官移植服务领域面临的重大挑战包括：器官供需不平衡，供器官数量尚不能满足广大等待移植受者需求；当前器官捐献与移植服务受限于工作效率、知识更新速度及个人经验差异，难以实时、精准、有效地执行器官捐献与移植重大临床决策，对供受者开展个性化的全流程管理。

人工智能（artificial intelligence, AI）技术在数据处理、知识挖掘和风险预测等方面具有显著优势，可以匹配不同的器官捐献与移植服务应用场景。通过辅助移植机构提升服务效率与质量，AI 有助于降低人为差错风险^[3]，并推动全流程器官捐献与移植服务从“经验驱动”向“数据驱动”转型升级。结合公共数据平台及新一代物联网技术后，AI 还将进一步扩大移植供受者管理服务的可及性，助力实现医疗资源均衡化。然而，现阶段 AI 在使用中暴露出的局限性也同样明显，如缺乏完善的评估体系、结果可能存在偏倚、容易出现错误生成、可解释性不足、责任界定不清以及使用者过度依赖等问题，亟待通过科学、规范的措施加以解决^[4]。

为顺应行业迫切需求，本共识以国务院发布的《关于深入实施“人工智能+”行动的意见》《人体器官捐献和移植条例》以及国家卫生健康委员会发布的《人体器官移植技术临床应用管理规定》等法规为指导^[5-6]，系统梳理了 AI 技术在全流程器官捐献与移植服务中的适用场景、发展目标、质量控制、风险挑战与伦理边界，并提出专家意见，为人体器官获取组

织（Organ Procurement Organization, OPO）工作人员、移植医师、医疗机构及技术开发者提供参考，提升 AI 辅助全流程器官捐献与移植服务（AI-assisted organ donation and transplantation, AI-ODT）实践的科学性与安全性，以新一代 AI 深度赋能卫生健康行业高质量发展。

1 共识制定方法

本共识由中国肝移植注册中心、国家肝脏移植质控中心、国家人体捐献器官获取质控中心、中国医师协会器官移植医师分会移植器官质量控制专业委员会、国家创伤医学中心器官保护专业委员会以及中国器官移植发展基金会共同发起，启动时间为 2025 年 4 月，撰写时间为 2025 年 4 月至 8 月，外审时间为 2025 年 8 月至 11 月，定稿时间为 2025 年 11 月。本共识已在国际实践指南注册与透明化平台完成注册（注册号：PREPARE-2025CN1859）。

1.1 共识制定团队

本共识制定团队由执笔组、专家组、秘书组构成。执笔组由具有器官移植学、指南方法学、AI 和医学伦理研究及实践背景的器官捐献与移植专家组成，负责共识的初步撰写、修改与完善。专家组由具有多学科背景的专家组成，包括器官捐献与移植学科专家、AI 与信息技术专家和医学伦理专家，负责对共识推荐意见进行整体审阅并提出修改与完善意见。秘书组负责文献检索、协调、统稿和核对等工作。

1.2 共识制定过程

共识编写组以“人工智能”“机器学习”“器官捐献”“器官匹配”“供体评估”“机械灌注”“质量评价”“保存修复”“器官转运”“器官移植”“手术规划”“术中导航”“免疫治疗”“移植预后”“移植随访”“医学伦理”“移植麻醉”及其对应的英文术语为关键词，检索 PubMed、Web of

Science、Embase、Scopus、中国知网、万方数据知识服务平台以及国际、国内权威卫生健康部门官方网站，纳入国内外指南、专家共识、系统评价、荟萃分析、观察性研究、随机对照试验和专题综述等证据和相关政策性信息。检索时间为数据库或网站建立起至 2025 年 11 月 16 日。基于搜集的证据并结合国内 AI-ODT 的经验与总结，执笔组起草共识框架和初稿。随后，专家组通过 2 轮改良德尔非法调查和多轮讨论修改，最终形成推荐意见。

1.3 证据质量和推荐强度

在本共识制定过程中，专家组依据李克特量表对每条推荐意见进行评分，满分为 5 分，5 分代表完全同意，4 分代表同意，3 分代表无意见倾向，2 分代表不同意，1 分代表完全不同意。90% 以上专家同意，视为强推荐；70%~90% 专家同意，视为推荐；同意率低于 70% 则不采纳。经过专家组的审慎评估，共凝练出 18 条推荐意见。

1.4 共识使用者及目标人群

推荐共识使用者为医疗机构从事器官捐献与移植服务工作的专业人员、医院 OPO 管理人员和 AI 相关系统/软件的开发人员；目标人群为捐献者及移植受者。

2 AI-ODT 技术体系

2.1 AI-ODT 的定义与目标

推荐意见 1：AI-ODT 是指在国家相关法规与伦理规范框架下，利用 AI 技术通过数据分析、机器学习和自然语言处理等方法，模拟临床医务工作者管理思维方式和专业能力，自主获取全流程器官捐献与移植领域的专业知识并进行高级推理，在 OPO 工作人员及移植医师主导下，全方位辅助、优化全流程器官捐献与移植服务的一种技术体系（图 1）。（推荐强度：强推荐）

2.2 数据质量与处理

高质量数据集能够显著提高 AI-ODT 临床决策的

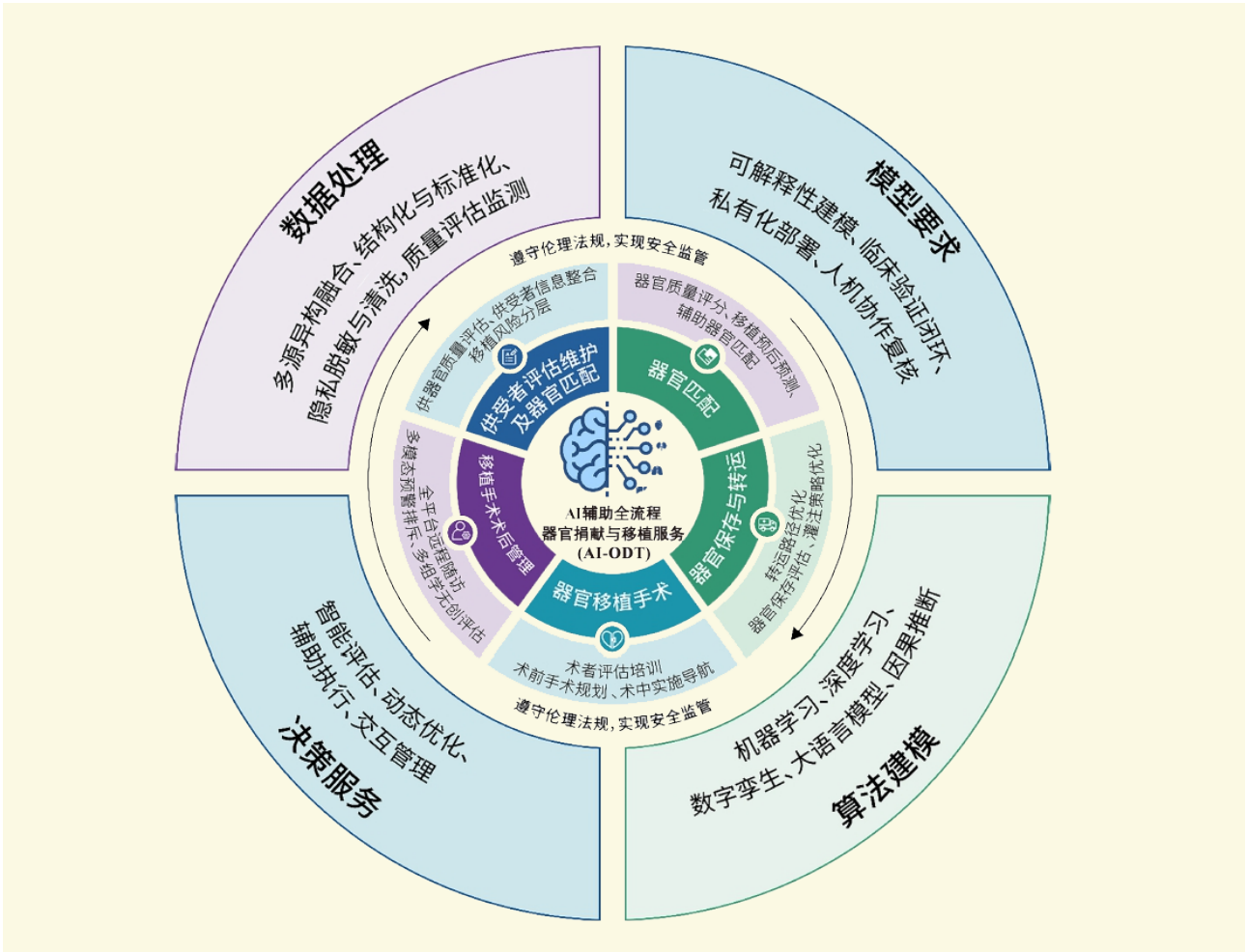


图 1 AI 辅助全流程器官捐献与移植服务技术体系

Figure 1 AI-assisted full-process organ donation and transplantation service technology system

可靠性与可解释性,并减少训练时长。器官捐献与移植服务涵盖供受者临床多维度、多模态、多源性数据,这些数据常分散于不同医疗机构,存在壁垒和标准化不足的问题^[7-8]。数据来源的异质性与不完整性可引发决策偏倚^[9],数据缺陷的叠加效应将导致器官捐献与移植的全链条风险升级。同时,数据安全与隐私脱敏措施不足,阻碍其跨机构共享^[10-11]。低质量的捐献与移植数据可导致 AI 辅助决策系统输出结果产生偏倚,影响决策安全及可信度。

在国家层面,需遵循国家药品监督管理局人工智能医疗器械行业标准的有关要求,从完备性、一致性、时效性等维度对移植相关数据开展综合评估与量化监测,以保证其具有可比性与可追溯性^[12]。医疗机构需通过标准化数据治理、动态更新机制与多模态信息整合,构建涵盖供受者评估、手术、围手术期管理及随访全流程的规范化数据集和防错闭环,并确保多中心数据兼容,从而形成面向器官捐献与移植行业的高质量数据集、可信数据空间以及准确且与时俱进的知识库,为 AI-ODT 决策的专业性与多中心协作研究提供双重保障^[13]。技术开发者需配合医疗机构持续优化数据采集的标准、逻辑和范围,以建立客观、统一的数据质量评估框架,为构建高稳健性和高适应性的 AI-ODT 系统奠定基础^[14]。

数据处理是在确保数据质量的前提下,将临床数据转化为可用于 AI-ODT 决策的规范化和结构化信息的关键环节^[15]。器官捐献与移植数据处理涵盖从数据采集至模型输入的全流程,主要包括数据脱敏、清洗与标注等步骤。在数据脱敏环节中,应对供受者的敏感信息进行匿名化、去标识化处理,并建立相应的审查与审计机制,兼顾移植数据的高度隐私属性与必要的可追溯性。清洗过程包含剔除或修正逻辑错误数据、补全或标注缺失数据、统一数据格式,以保障数据质量和数据链完整性。在数据标注阶段,针对原始医疗数据添加标准化标签,应筛选具有移植经验的合格标注人员进行交叉标注,并进行抽样一致性检验^[12, 16-18]。

推荐意见 2: 建议构建集成化、标准化的多中心数据平台,实现多源异构数据的深度融合与结构化,形成可追溯、可测试且具代表性的高质量数据集,以支持多中心协作研究及适应医疗机构的临床任务需求。(推荐强度:强推荐)

推荐意见 3: 标准化数据处理应进行捐献与移植

全流程的数据脱敏、清洗、标注管理,确保数据的隐私合规、质量可靠与标签准确。(推荐强度:强推荐)

2.3 模型开发与维护

AI 模型常被视为“黑箱”,但其构建、验证、部署等开发环节与临床应用的维护过程仍需符合循证医学逻辑^[19]。在模型构建的过程中,算法可解释性是实现 AI-ODT 合规可靠的核心。可解释的 AI 技术能在给出结果的同时提供推理依据,辅助临床医师理解并纠正偏差^[20-21]。AI 模型在部署前的验证过程中,需先通过内部测试和外部验证进行算法优化,证明模型具备高稳健性与高适应性,再对模型专业能力开展前瞻性临床验证,构建技术临床相结合的模型验证闭环机制^[22-23]。模型部署阶段应在数据安全与隐私保护框架下实施,优先采用本地化、私有化部署方式,防止敏感数据外泄,确保模型运行安全合规^[24]。此外,在 AI-ODT 的实际场景中,数据分布失衡、临床方案变化、政策调整等均会影响 AI 模型输出信息的有效性,因此需建立包含监控预警与版本管理的闭环机制,定期基于最新数据维护模型,通过持续迭代更新及时修正临床应用中的模型偏差^[25]。

相较于面向单一任务的传统 AI 模型,大语言模型在语义理解和内容生成方面能力更强,在医疗问答、病历解读以及临床决策支持等方面已有多种应用^[26]。然而,通用大语言模型在医学问答场景下,错误生成现象仍不可避免,可能会给出表述流畅但与专业知识和事实情况不符的欺骗性回答,对潜在供受者造成负面影响并引发对 AI-ODT 的不信任^[27]。因此,需要引入移植医学构建专科化的垂类大语言模型,基于由多学科专家搭建并持续更新的专业知识库,确保大语言模型开发的数据来源具备高专业性和高准确度。临床医师在大语言模型的实际使用中,须对模型输出的结果进行真实性和可解释性的人工复核,控制因错误生成带来的风险,维护 AI-ODT 工作的专业公信力^[28-29]。

推荐意见 4: AI-ODT 应建立覆盖构建、验证、部署与持续维护的完整闭环。模型架构需具备可解释性,能够证明模型具有稳健性与适应性;模型部署时应符合数据安全与隐私保护要求,采用本地化、私有化部署;临床使用中需定期维护与更新模型,确保 AI 辅助结果可靠、安全。(推荐强度:强推荐)

推荐意见 5: 在 AI-ODT 中部署大语言模型时,应优先考虑基于移植医学知识体系构建的专科化垂类

模型, 确保训练数据来源的专业性、准确性。模型在实际应用中必须由临床医师对输出信息进行人工复核, 纠正大语言模型错误生成导致的误导性决策, 维护 AI-ODT 的专业可信度。(推荐强度: 强推荐)

3 AI-ODT 应用

3.1 AI 辅助供受者评估维护及器官匹配

AI 通过整合供受者多源临床数据辅助供受者评估维护及匹配, 包括供器官质量评估、供受者匹配和受者预后预测。传统供受者评估方法包括终末期肝病模型(model for end-stage liver disease, MELD)评分、肾脏捐献者风险指数(kidney donor risk index, KDRI)等静态评估体系以及临床医师的经验。AI 可以利用现病史、原发病、影像学及实验室检查等临床相关信息, 综合分析供者血流动力学、内环境稳态及氧代谢状态等, 辅助临床医师制定器官功能监测与支持、凝血功能维护及炎症控制等干预策略, 改善器官微循环灌注和氧合, 提高捐献器官的质量和数量, 进而提升器官利用率, 缓解器官短缺现状^[30]。在供受者匹配中, AI 通过整合病史资料、检查及检验结果等多模态临床数据, 辅助识别影响器官移植等待名单管理与分配决策的关键因素, 包括供受者年龄、病史、基因特征及生活方式等^[31-32]。AI 辅助的医学影像分割能实现供器官三维体积的精准计算, 提升移植手术供受者器官体积匹配度, 降低术后因移植器官体积不匹配引起的小肝综合征、肾功能不全等严重并发症发生率^[33-34]。AI 通过全面的关键风险特征分析, 能实现移植候选者围手术期死亡风险精准分层, 辅助临床医师进行高效、精准的供受者匹配决策, 降低受者移植并发症风险, 提高供器官有效移植率^[35]。AI 通过机器学习和深度神经网络, 能够基于公共大数据平台(如美国器官共享联合网络等)建立预后模型, 提高受者风险评估的准确性, 优化候选者排序和预后判断, 提高器官匹配的效率和公平性^[36-37]。

推荐意见 6: AI-ODT 能够基于现病史、检查、检验及生理参数等多源信息开展供者评估与风险识别, 并辅助制定器官功能监测与支持策略, 提升可获得器官的质量与数量。(推荐强度: 强推荐)

推荐意见 7: AI-ODT 可以整合供受者多维度数据, 并基于算法识别影响匹配与预后的关键特征, 实现器官精确匹配、移植风险分层及候选者排序优化, 从而提升器官分配的效率、公平性与移植安全性。

(推荐强度: 强推荐)

3.2 AI 辅助捐献器官保存与转运

AI 通过整合供者临床多源信息、器官保存功能评估参数及转运状态, 结合机械灌注平台实时监测数据, 辅助器官获取保存与转运, 实现转运过程中的器官质量控制, 提高器官灌注的安全性和稳定性。AI 辅助的机械灌注平台通过持续采集分析灌注温度、压力、流速及灌注模式等关键物理参数, 结合离体器官功能及受者预后评估结果, 能够建立器官数字孪生模型, 实现供器官灌注技术与方案的持续优化^[38-39]。此外, 基于灌注阶段器官动态的多模态信息整合, AI 辅助的机械灌注系统还能够结合供器官离体理化功能实时评估, 综合灌注保存中组织形态、生物标志物及细胞代谢等多组学数据分析, 对器官功能状态进行实时推理与解释, 进行移植器官离体保存过程中实时监测和评价, 辅助移植医师进行离体器官灌注过程数据解读、决策支持与功能修复干预方案的优化, 改善移植器官质量^[40-41]。

器官转运是一项需在全流程中不断完善和规范的多部门、多系统协同参与的复杂工作。AI 算法通过持续学习和优化辅助运输信息、环境参数与移植结局的标准化整合, 实现跨区域、多中心等复杂条件下的移植器官安全转运与溯源。在转运开始前, AI 通过整合路况、气象、航班等交通信息, 能够快速完成多目标路径优化计算, 综合权衡时间、风险与成本因素, 生成优化后的转运方案, 推动供者所在医院、转运团队与移植中心之间的高效对接^[42]。在转运过程中, AI 能够结合物联网和地理信息系统, 持续获取实时路况和气象数据, 动态调整运输路径, 自动更新预测到达时间, 实现转运全流程的可视化管理^[43]。依托统一的 AI 辅助器官转运平台, 供受者特征、运输状态及关键过程节点等信息可以被集中记录、归纳和追溯, 形成可用于质量改进与流程优化的数据基础, 提升器官安全性、转运效率及移植质量。

推荐意见 8: AI-ODT 能够辅助机械灌注平台在器官保存与转运过程中进行物理、生理等多模态数据的采集, 开展实时器官质量评估与风险推断, 并通过模型推理辅助维持灌注稳态与策略优化, 提升离体器官的可用性和评估准确性。(推荐强度: 强推荐)

推荐意见 9: AI-ODT 能够整合交通、气象与实时路况信息, 完成多目标路径优化并动态调整运输方案, 通过辅助统一调度平台实现运输节点的标准化记

录与溯源,建立可视化管理体系,提升跨机构器官转运的安全性及效率。(推荐强度:推荐)

3.3 AI 辅助器官捐献及移植手术

在捐献器官获取、修整及受者移植等手术过程中,AI 可通过分析供受者的器官与组织特征进行术前手术策略规划,能够有效降低术中风险并改善预后。基于大规模检验、检查数据集训练的 AI 模型,能够对 CT 或 MRI 图像以及实验室检验数据进行更为精准的解读,从而协助医师完成术前规划,有效提高手术的精确性与安全性。AI 能够整合供受者的血压、心率、检验数据等信息,实现围手术期风险的早期识别,制定个体化麻醉管理方案^[44]。对于捐献者手术策略规划,AI 可以准确分割供器官与周围组织,识别病灶,减少器官损伤,制定个体化手术方案^[45]。对于受者手术策略规划,AI 可利用 3D 重建及虚拟现实(virtual reality, VR)技术,实现移植术前个体化手术路径模拟,通过识别血管变异与关键吻合点,预测不同血管重建方案的潜在风险,从而辅助移植医师制定受者手术方案。

AI 驱动的移植手术导航系统可以提供术中实时指导并提高手术精度。通过影像分析,AI 可在移植术中辅助医师进行精确操作,实现创伤最小化、缩短术程并减少术后并发症^[46]。配备 AI 功能的实时增强现实手术导航系统,可将术前影像数据与术野操作融合,精确识别关键结构,降低器官损伤的风险^[47]。结合 AI 和荧光显影辅助成像技术的机器人系统,通过分析术中成像和实时数据引导手术器械,提供实时反馈和调整,提高机械臂操作精度与安全性,从而降低人为失误的风险并改善手术效果^[48-51]。

基于真实数据的 AI 驱动外科培训系统,可通过 VR 平台辅助移植外科医师进行复杂手术技术培训,从而提升手术技能^[52]。此外,AI 已被应用于手术动作识别与术者技能量化评估等领域,能够在无标注的手术视频中自动解析操作步骤并量化术者的操作质量^[53-54]。

推荐意见 10: AI 通过对术前检验及影像数据的精确解析,能够全面评估供受者器官与相关组织特征,支持个体化手术方案制定并实现术前手术路径模拟,从而有效降低术中风险、提升操作安全性并改善移植手术预后。(推荐强度:强推荐)

推荐意见 11: AI 驱动的术中实时导航可在移植手术中提供精确指导,减少器官损伤。结合 AI 和荧

光显影辅助成像技术的机器人系统可以协助医师完成移植手术操作,提高机械臂操作精度与安全性,降低人为失误的风险并改善手术效果。(推荐强度:强推荐)

推荐意见 12: 基于真实数据的 AI 驱动外科培训系统可借助 VR 平台对移植手术进行仿真模拟训练,有效提升术者的操作水平。AI 能够在无标注手术视频中自动解析操作步骤并客观衡量操作质量,为外科培训提供更客观、精确的技能评估标准。(推荐强度:强推荐)

3.4 AI 辅助器官移植术后管理

AI 通过整合分析移植术后多维动态数据,构建集风险预测、智能预警及辅助决策于一体的模型体系。该体系贯穿早期并发症防治到中长期随访的全流程管理过程,为临床提供关键决策支持,提升干预的精准性与时效性,改善移植物和受者的长期存活与生活质量。

移植术后受者面临早期原发性移植物无功能、超急性与急性排斥反应及严重感染等严峻挑战。AI 技术通过融合围手术期及重症监护治疗中多源临床信息,构建风险预警模型,实现对早期原发性移植物无功能的快速识别^[55]。在重症监护治疗中,AI 动态追踪生命体征及器官功能波动,综合分析受者术后影像学、病理评估及免疫标志物等关键指标,早期预测超急性与急性排斥反应的发生,辅助移植医师调整免疫抑制策略^[56]。AI 结合供受者既往感染史、免疫状态、炎症指标及环境暴露等综合临床信息,辅助制定个体化感染防控措施,降低移植后重症感染发生率^[57]。

在度过急性风险期并进入中长期恢复阶段后,移植物功能监测与维护、慢性排斥反应的早期识别以及共病管理等是提高受者生活质量的关键。AI 模型整合分析受者药代动力学、基因组学、生物标志物及病理学检查等个体特征,实现对术后中长期移植物功能的无创精准评估,从而减少对侵入性活检的依赖,辅助移植医师实时监测移植物功能及制定干预策略^[58-59]。基于受者代谢组学、免疫标志物及病理学检查等关键数据分析,AI 可精准识别并预测受者体内免疫抑制药的暴露水平及免疫状态。针对慢性排斥反应,AI 有助于实现早期识别与预警,协助移植医师及时制定和调整免疫治疗策略^[60-61]。综合性 AI 平台通过整合物联网及可穿戴设备采集的生理参数,基于受者临床多模态数据构建风险预测模型,对移植物

的中长期风险精细化分层,实现长期精准的共病管理与治疗策略优化^[62-63],同时该平台还能对受者开展持续性远程健康监测,提升随访的主动性和效率^[64-67]。以大语言模型为代表的AI技术,能够加强随访过程中医患沟通复杂治疗方案与潜在风险的时效性与精准性^[68-69]。

推荐意见 13: AI能够整合围手术期与重症监护阶段的多源数据,动态监测受者生命体征与器官功能状态,构建术后早期严重并发症的风险预警模型,并在液体管理、感染控制及免疫抑制剂初期调整中提供实时辅助,提升干预效率与安全性。(推荐强度:强推荐)

推荐意见 14: AI能够基于多组学数据及临床特征预测免疫抑制药的暴露水平,支持个体化剂量优化;同时通过对无创生物标志物以及病理结果的智能分析,实现对亚临床排斥反应风险的早期识别。(推荐强度:强推荐)

推荐意见 15: AI结合可穿戴设备与物联网技术,可对术后受者生理参数进行持续监测,实现对慢性排斥反应风险进行早期预警;大语言模型则辅助治疗方案解释、潜在供受者教育及医患沟通,为随访提供信息支持和决策参考。(推荐强度:强推荐)

4 伦理法规与责任主体

隐私保护是合理使用医疗健康数据需要关注的核心伦理问题。AI-ODT所需的临床数据涉及供受者隐私,在使用时必须遵守《中华人民共和国网络安全法》《中华人民共和国数据安全法》《中华人民共和国个人信息保护法》《互联网信息服务算法推荐管理规定》《生成式人工智能服务管理暂行办法》等国家法律法规以及《关于促进和规范“人工智能+医疗卫生”应用发展的实施意见》等规范性文件。医疗机构需充分告知器官供受者隐私数据的采集过程与具体用途并获得知情同意,不得将敏感数据用于除医疗或科研外的其他情形。在数据监管之外,AI-ODT本身作为医疗器械,其发布和使用必须遵守《人体器官捐献和移植条例》《人工智能医疗器械注册审查指导原则》等要求,以确保供受者捐献移植记录等隐私信息在严格框架下得到全面保护^[13,16,70]。

在满足数据隐私要求的基础上,还需保证AI模型的公平性与可靠性,明确AI是辅助而非替代。AI-ODT应遵循科技伦理审查要求,持续评估训练数据

的代表性,避免输出结果产生偏倚。技术开发者和医疗机构需要收集多样化数据,通过重采样技术平衡数据,确保模型能够平等地覆盖不同群体。此外,技术开发者应对模型透明度进行披露,确保算法具有可解释性、可溯源性和透明性;临床医师还应结合应用场景对模型进行复核,定期根据最新数据验证模型有效性,持续对AI-ODT进行临床可靠性评估^[71-72]。

目前关于AI-ODT的责任归属仍为模糊地带。现有其他医用软件的开发经验能够帮助构建技术开发者、医疗机构及临床医师三方共同参与的医疗风险防控体系,划分责任边界,确保在出现问题时能够明确责任归属。器官捐献与移植中心在部署AI-ODT的过程中,需建立持续监管教育机制,注重“移植医学+AI”复合型人才培养,同时对临床医师加强使用AI工具的原则教育,明确医师在具体工作中的主导地位。技术开发者应通过模型验证与持续维护确保AI-ODT输出内容的准确性,最大限度地避免错误结果。临床医师需要始终依据专业标准,独立审核AI-ODT方案的合理性。三方分别在AI-ODT可靠性和临床决策正确性上承担不可替代的主体责任^[73]。

推荐意见 16: AI-ODT必须严格遵守国家数据安全与隐私保护法律法规,保障供受者知情同意权,确保敏感健康数据在采集、处理和使用各环节合法合规;同时,AI-ODT作为医疗器械,其研发和部署应符合相关监管要求,确保供受者信息在严密制度框架下得到保护。(推荐强度:强推荐)

推荐意见 17: AI-ODT是辅助而非替代。AI-ODT的开发与应用应遵循科技伦理要求,通过训练数据审查、模型算法透明度优化以及模型效果的持续验证,确保AI输出的公平性、稳健性和可靠性,避免出现偏倚与临床误用。(推荐强度:强推荐)

推荐意见 18: AI-ODT应建立由技术开发者、医疗机构及临床医师共同参与的风险防控与责任分担体系。开发者负责模型质量与持续维护,医疗机构负责部署管理与信息安全,医师主导临床决策并对AI建议进行独立审核,三方共同确保AI-ODT安全、规范、可追溯。(推荐强度:强推荐)

5 小结

AI-ODT在器官移植供器官长期短缺、需求持续增长的现实背景下,对于提升器官捐献及移植流程效率与质量具有重要意义。本共识围绕AI-ODT的定

义、目标以及在不同应用场景中的作用,对技术体系标准、数据模型要求、隐私安全保护、临床决策支持、伦理法规及责任主体边界等关键问题进行了共识制定,旨在与广大 OPO、移植临床、医疗机构工作人员和技术开发者共同推进 AI-ODT 体系建设,为 AI 在移植医学中的科学、规范应用提供技术性指导,提升 AI 辅助器官捐献与移植过程标准化与高效化水平,更好地保障人民群众生命健康,持续推动我国器官捐献与移植事业高质量发展。

主审专家:

郑树森 浙江大学医学院附属第一医院
 窦科峰 空军军医大学西京医院
 董家鸿 清华大学附属北京清华长庚医院
 夏 强 上海交通大学医学院附属仁济医院
 叶启发 武汉大学中南医院
 薛武军 西安交通大学第一附属医院
 徐 骁 江苏省人民医院
 霍 枫 中国人民解放军南部战区总医院
 赵洪涛 中国器官移植发展基金会
 孙煦勇 广西医科大学第二附属医院
 杨家印 四川大学华西医院
 刘连新 中国科学技术大学附属第一医院
 郭文治 郑州大学第一附属医院
 刘 军 山东省立医院
 蒋文涛 天津市第一中心医院
 吴忠均 重庆医科大学附属第一医院

编审专家(按姓氏拼音排序):

白燕南 福州大学附属省立医院
 蔡金贞 青岛大学附属医院
 陈超群 郑州大学第一附属医院
 陈静瑜 浙江大学医学院附属第二医院
 陈 峻 浙江省人民医院
 陈 实 福州大学附属省立医院
 陈知水 华中科技大学同济医学院附属同济医院
 代贺龙 中南大学湘雅二医院
 丁振斌 复旦大学附属中山医院
 董 磊 南京大学
 董念国 华中科技大学同济医学院附属协和医院
 窦 剑 河北医科大学第三医院
 范晓礼 武汉大学中南医院
 丰贵文 郑州大学第一附属医院
 傅志仁 上海交通大学医学院附属瑞金医院

高良辉 海南医科大学第一附属医院
 高 毅 南方医科大学珠江医院
 顾 民 南京医科大学第二附属医院
 郭 华 树兰(杭州)医院
 郭志勇 中山大学附属第一医院
 何晓顺 中山大学附属第一医院
 胡宗强 云南楚雄州人民医院
 季 茹 中国人民解放军南部战区总医院
 蒋国平 树兰(杭州)医院
 姜 楠 厦门大学附属第一医院
 焦作义 兰州大学第二医院
 寇玉辉 北京大学人民医院
 蓝柳根 广西医科大学第二附属医院
 李 立 昆明市第一人民医院
 李启勇 树兰(杭州)医院
 李玉民 兰州大学第二医院
 廖吉祥 广西医科大学第二附属医院
 刘治坤 浙江省人民医院
 刘致中 内蒙古包钢医院
 陆才德 宁波市李惠利医院
 吕国悦 吉林大学第一医院
 吕 毅 西安交通大学第一附属医院
 欧阳青 中国人民解放军南部战区总医院
 彭心宇 石河子大学第一附属医院
 蒲 苗 中国器官移植发展基金会
 邱 涛 武汉大学人民医院
 邱 伟 吉林大学第一医院
 冉江华 昆明市第一人民医院
 饶 伟 青岛大学附属医院
 尚文俊 郑州大学第一附属医院
 寿张飞 树兰(杭州)医院
 司 晶 福建医科大学孟超肝胆医院
 司 伟 山东省立医院
 宋瑞鹏 中国科学技术大学附属第一医院
 孙纪三 天津市第一中心医院
 孙晓艳 中国人民解放军总医院
 吐尔干艾力·阿吉 新疆医科大学第一附属医院
 屠振华 浙江大学医学院附属第一医院
 万鹏夏 树兰(杭州)医院
 汪 恺 浙江省人民医院
 王长希 中山大学附属第一医院
 王继洲 中国科学技术大学附属第一医院

王海峰 吉林大学第二医院
王立明 大连医科大学附属第二医院
王琳 空军军医大学西京医院
王硕 树兰（杭州）医院
王彦峰 武汉大学中南医院
王正昕 复旦大学附属华山医院
卫强 浙江省人民医院
魏来 华中科技大学同济医学院附属同济医院
魏林 首都医科大学附属北京友谊医院
魏绪勇 西湖大学医学院附属杭州市第一人民医院
温培豪 郑州大学第一附属医院
吴基华 广西医科大学第二附属医院
吴向未 石河子大学第一附属医院
谢海洋 浙江大学医学院附属第一医院
谢琴芬 树兰（杭州）医院
徐剑 海南医科大学第一附属医院
许磊波 中山大学孙逸仙纪念医院
许亚宏 西南交通大学附属成都市第三人民医院
姚自勤 中国科学技术大学附属第一医院
杨洪吉 四川省人民医院
杨扬 中山大学附属第三医院
杨岳 常州市第一人民医院
杨兆华 复旦大学附属中山医院
杨诏旭 空军军医大学西京医院
杨喆 树兰（杭州）医院
易述红 中山大学附属第三医院
于光圣 山东省立医院
张嘉凯 郑州大学第一附属医院
张建军 上海交通大学医学院附属仁济医院
张建政 中国人民解放军总医院第四医学中心
张水军 郑州大学第一附属医院
张蕙 福建医科大学附属协和医院
张宏伟 石河子大学第一附属医院
张升宁 云南省第一人民医院
张武 树兰（杭州）医院
张英才 中山大学附属第三医院
赵婕 中国器官移植发展基金会
钟林 南昌大学第二附属医院
钟林 深圳市第三人民医院
钟艺武 树兰（杭州）医院
钟自彪 武汉大学中南医院
周华 山西省第二人民医院

周江桥 武汉大学人民医院
周威 武汉大学中南医院
朱有华 海军军医大学附属长海医院
庄莉 树兰（杭州）医院

执笔专家:

李建辉 树兰（杭州）医院
辛立明 上海大学
刘月华 上海大学
干张蔚 上海大学
乔银标 浙江省人民医院
叶少军 武汉大学中南医院
丁晨光 西安交通大学第一附属医院
董建辉 广西医科大学第二附属医院
谭晓宇 中国人民解放军南部战区总医院
吴昊 浙江大学医学院附属第一医院
李龙旭 上海大学
陈浩鑫 上海大学
王张权 上海大学
王文超 上海大学

编写秘书处:

干张蔚 上海大学
李浩宇 浙江大学医学院附属第一医院
所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献:

- [1] 国家卫生健康委员会. 2022 年国家医疗服务与质量安全报告[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2023.
- [2] ANDERSON D J, LOCKE J E. Progress towards solving the donor organ shortage[J]. Nat Rev Nephrol, 2023, 19(2): 83-84. DOI: 10.1038/s41581-022-00664-y.
- [3] LOUPY A, PREKA E, CHEN X, et al. Reshaping transplantation with AI, emerging technologies and xenotransplantation[J]. Nat Med, 2025, 31(7): 2161-2173. DOI: 10.1038/s41591-025-03801-9.
- [4] SPANN A, STRAUSS A T, DAVIS S E, et al. The role of artificial intelligence in chronic liver diseases and liver transplantation[J]. Gastroenterology, 2025, 169(3): 456-470. DOI: 10.1053/j.gastro.2025.05.012.
- [5] 中华人民共和国国务院. 人体器官捐献和移植条例[EB/OL]. (2023-12-14) [2025-10-27]. https://www.gov.cn/zhengce/content/202312/content_6920195.htm.
- [6] 国家卫生健康委. 人体器官移植技术临床应用管理规定[EB/OL]. (2024-04-19) [2025-10-27]. https://zwfw.nhc.gov.cn/kzx/zcfg/yljrtqgyzyzgdsp_240/202408/t20240815_2832.html xxgkhide=1.
- [7] HOSSEINZADEH E, AFKANPOUR M, MOMENI M, et al. Data quality assessment in healthcare, dimensions, methods and tools: a systematic review[J]. BMC Med Inform Decis Mak, 2025, 25(1): 296. DOI: 10.1186/s12911-025-03136-y.

- [8] RICHESSON R L, KRISCHER J. Data standards in clinical research: gaps, overlaps, challenges and future directions[J]. *J Am Med Inform Assoc*, 2007, 14(6): 687-696. DOI: 10.1197/jamia.M2470.
- [9] YU M, KING K L, ALI HUSAIN S, et al. Discrepant outcomes between national kidney transplant data registries in the United States[J]. *J Am Soc Nephrol*, 2023, 34(11): 1863-1874. DOI: 10.1681/ASN.00000 00000000194.
- [10] FARRIS A B, MOGHE I, WU S, et al. Banff Digital Pathology Working Group: going digital in transplant pathology[J]. *Am J Transplant*, 2020, 20(9): 2392-2399. DOI: 10.1111/ajt.15850.
- [11] PERAKSLIS E D, KNECHTLE S J, MCCOURT B, et al. Doing it right: caring for and protecting patient information for US organ donors and transplant recipients[J]. *Patterns*, 2023, 4(4): 100734. DOI: 10.1016/j.patter.2023.100734.
- [12] 国家药品监督管理局. 人工智能医疗器械 质量要求和评价 第 2 部分: 数据集通用要求: YY/T 1833.2—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [13] 国家卫生健康委办公厅, 国家发展改革委办公厅, 工业和信息化部办公厅, 等. 关于促进和规范“人工智能+医疗卫生”应用发展的实施意见[EB/OL]. (2025-10-20)[2025-10-27]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202511/content_7047018.htm
- [14] BHAT M, RABINDRANATH M, CHARA B S, 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.
- [15] BENEVENTO E, ALOINI D, VAN DER AALST W M P. How can interactive process discovery address data quality issues in real business settings? evidence from a case study in healthcare[J]. *J Biomed Inform*, 2022, 130: 104083. DOI: 10.1016/j.jbi.2022.104083.
- [16] 国家药品监督管理局医疗器械技术审评中心. 人工智能医疗器械注册审查指导原则[EB/OL]. (2022-03-10)[2025-10-27]. https://www.cncsdr.org/ggtz/ggzz/202203/t20220311_304188.html.
- [17] 中国医疗器械行业协会. 深度学习辅助决策医疗器械软件审评要点[EB/OL]. (2019-07-01)[2025-11-16]. <https://www.mdcp.com/doc/materialDownload/深度学习辅助决策医疗器械软件审评要点.pdf>.
- [18] 国家药品监督管理局. 人工智能医疗器械质量要求和评价第 3 部分: 数据标注通用要求: YY/T 1833.3—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [19] 于兰亦, 翟晓梅. 人工智能在临床实践中的创新应用和伦理挑战[J]. *数字医学与健康*, 2024, 2(2): 108-112. DOI: 10.3760/cma.j.cn101909-20231127-00073.
- [20] YU L Y, ZHAI X M. Innovative applications and ethical challenges of artificial intelligence in clinical practice[J]. *Digit Med Health*, 2024, 2(2): 108-112. DOI: 10.3760/cma.j.cn101909-20231127-00073.
- [20] EL-SAPPAGH S, ALONSO J M, RIAZUL ISLAM S M, et al. A multilayer multimodal detection and prediction model based on explainable artificial intelligence for Alzheimer's disease[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 2660. DOI: 10.1038/s41598-021-82098-3.
- [21] LAMY J B, SEKAR B, GUEZENNEC G, et al. Explainable artificial intelligence for breast cancer: a visual case-based reasoning approach[J]. *Artif Intell Med*, 2019, 94: 42-53. DOI: 10.1016/j.artmed.2019.01.001.
- [22] LIU Y, YU W, DILLON T. Regulatory responses and approval status of artificial intelligence medical devices with a focus on China[J]. *NPJ Digit Med*, 2024, 7(1): 255. DOI: 10.1038/s41746-024-01254-x.
- [23] KELLY C J, KARTHIKESALINGAM A, SULEYMAN M, et al. Key challenges for delivering clinical impact with artificial intelligence[J]. *BMC Med*, 2019, 17(1): 195. DOI: 10.1186/s12916-019-1426-2.
- [24] SHEN T, LI Y, CAO Y, et al. Rapid deployment of large language model DeepSeek in Chinese hospitals demands a regulatory response[J]. *Nat Med*, 2025, 31(10): 3233-3238. DOI: 10.1038/s41591-025-03836-y.
- [25] ROSCHEWITZ M, MEHTA R, JONES C, et al. Automatic dataset shift identification to support safe deployment of medical imaging AI[C]//Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention – MICCAI 2025. Cham: Springer, 2026: 67-76. DOI:10.1007/978-3-032-04981-0_7.
- [26] BEDI S, LIU Y, ORR-EWING L, et al. Testing and evaluation of health care applications of large language models: a systematic review[J]. *JAMA*, 2025, 333(4): 319-328. DOI: 10.1001/jama.2024.21700.
- [27] PAL A, UMAPATHI L K, SANKARASUBBU M. Med-HALT: medical domain hallucination test for large language models[C]//Proceedings of the 27th Conference on Computational Natural Language Learning (CoNLL). Singapore. Stroudsburg, PA, USA: ACL, 2023: 314-334. DOI:10.18653/v1/2023.conll-1.21.
- [28] NG K K Y, MATSUBA I, ZHANG P C. RAG in health care: a novel framework for improving communication and decision-making by addressing LLM limitations[J]. *Nejm Ai*, 2025, 2(1): 1-12. DOI: 10.1056/aira2400380.
- [29] 国家卫生健康委办公厅, 国家中医药局综合司, 国家疾控局综合司. 卫生健康行业人工智能应用场景参考指引[EB/OL]. (2024-11-14) [2025-10-27]. <https://www.nhc.gov.cn/guihuaxxs/c100133/202411/3dee425b8dc34f739d63483c4e5c334c.shtml>.
- [30] MONTGOMERY A E, RANA A. Current state of artificial intelligence in liver transplantation[J]. *Transplant Rep*, 2025, 10(2): 100173. DOI: 10.1016/j.tpr.2025.100173.
- [31] SCHATTENBERG J M, CHALASANI N, ALKHOURI N. Artificial intelligence applications in hepatology[J]. *Clin Gastroenterol Hepatol*, 2023, 21(8): 2015-2025. DOI: 10.1016/j.cgh.2023.04.007.
- [32] TSCHUOR C, FERRARESE A, KUEMMERLI C, et al. Allocation of liver grafts worldwide—is there a best system?[J]. *J Hepatol*, 2019, 71(4): 707-718. DOI: 10.1016/j.jhep.2019.05.025.
- [33] JEONG J G, CHOI S, KIM Y J, et al. Deep 3D attention CLSTM U-Net based automated liver segmentation and volumetry for the liver transplantation in abdominal CT volumes[J]. *Sci Rep*, 2022, 12: 6370. DOI: 10.1038/s41598-022-09978-0.
- [34] SHAVER C M, REESE P P, GRIESEMER A, et al. Scientific advances in the assessment, modification, and generation of transplantable organs for patients with end-

- stage organ diseases[J]. *Lancet*, 2025, 406(10501): 376-388. DOI: 10.1016/S0140-6736(25)00239-9.
- [35] BERRY P, KOTHA S. The fundamental importance of exploring the risks alongside the benefits of artificial intelligence[J]. *J Hepatol*, 2024, 80(5): e223-e225. DOI: 10.1016/j.jhep.2023.06.020.
- [36] SCHWANTES I R, AXELROD D A. Technology-enabled care and artificial intelligence in kidney transplantation[J]. *Curr Transplant Rep*, 2021, 8(3): 235-240. DOI: 10.1007/s40472-021-00336-z.
- [37] SENANAYAKE S, WHITE N, GRAVES N, et al. Machine learning in predicting graft failure following kidney transplantation: a systematic review of published predictive models[J]. *Int J Med Inform*, 2019, 130: 103957. DOI: 10.1016/j.ijmedinf.2019.103957.
- [38] NAKAYAMA T, SASAKI K. Advanced viability assessment in machine perfusion: what lies ahead?[J]. *EBioMedicine*, 2024, 108: 105351. DOI: 10.1016/j.ebiom.2024.105351.
- [39] WANG S, YANG M, LIU Y, et al. Aortic pressure control based on deep reinforcement learning for ex vivo heart perfusion[J]. *Appl Sci*, 2024, 14(19): 8735. DOI: 10.3390/app14198735.
- [40] SAGE A T, DONAHOE L L, SHAMANDY A A, et al. A machine-learning approach to human ex vivo lung perfusion predicts transplantation outcomes and promotes organ utilization[J]. *Nat Commun*, 2023, 14(1): 4810. DOI: 10.1038/s41467-023-40468-7.
- [41] DUMBILL R, KNIGHT S, HUNTER J, et al. Prolonged normothermic perfusion of the kidney prior to transplantation: a historically controlled, phase 1 cohort study[J]. *Nat Commun*, 2025, 16(1): 4584. DOI: 10.1038/s41467-025-59829-5.
- [42] MANTECCHINI L, PAGANELLI F, MORABITO V, et al. Transportation of organs by air: safety, quality, and sustainability criteria[J]. *Transplant Proc*, 2016, 48(2): 304-308. DOI: 10.1016/j.transproceed.2015.12.050.
- [43] TALMALE G, SHRAWANKAR U. Dynamic clustered hierarchical real time task assignment & resource management for IoT based smart human organ transplantation system[C]//2017 Conference on Emerging Devices and Smart Systems (ICEDSS). Mallasamudram, India. IEEE, 2017: 103-109. DOI:10.1109/ICEDSS.2017.8073667.
- [44] CAO Y, WANG Y, LIU H, et al. Artificial intelligence revolutionizing anesthesia management: advances and prospects in intelligent anesthesia technology[J]. *Front Med*, 2025, 12: 1571725. DOI: 10.3389/fmed.2025.1571725.
- [45] 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.
- [46] OH N, LIM M, KIM B, et al. AI-assisted intraoperative navigation for safe right liver mobilization in pure laparoscopic donor hepatectomy: an experimental multi-institutional validation study[J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 27935. DOI: 10.1038/s41598-025-11627-1.
- [47] CHEN X, XU H, QI Q, et al. AI-based chest CT semantic segmentation algorithm enables semi-automated lung cancer surgery planning by recognizing anatomical variants of pulmonary vessels[J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 1021084. DOI: 10.3389/fonc.2022.1021084.
- [48] BELLINI V, GUZZON M, BIGLIARDI B, et al. Artificial intelligence: a new tool in operating room management. role of machine learning models in operating room optimization[J]. *J Med Syst*, 2019, 44(1): 20. DOI: 10.1007/s10916-019-1512-1.
- [49] SLAGTER J S, OUTMANI L, TRAN K T C K, et al. Robot-assisted kidney transplantation as a minimally invasive approach for kidney transplant recipients: a systematic review and meta-analyses[J]. *Int J Surg*, 2022, 99: 106264. DOI: 10.1016/j.ijsu.2022.106264.
- [50] KHALIEL F H, HAQ M I, ALSULBUD A K, et al. "First-in-human" totally robotic orthotopic heart transplant[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2025, 44(6): 1000-1003. DOI: 10.1016/j.healun.2025.02.1685.
- [51] SONE K, TANIMOTO S, TOYOHARA Y, et al. Evolution of a surgical system using deep learning in minimally invasive surgery (Review)[J]. *Biomed Rep*, 2023, 19(1): 45. DOI: 10.3892/br.2023.1628.
- [52] YILMAZ R, BAKHAIDAR M, ALSAYEGH A, et al. 828 real-time artificial intelligence instruction in comparison to human expert instruction in surgical technical skills teaching—a randomized controlled trial[J]. *Br J Surg*, 2023, 110(Supplement_7): znad258.077. DOI: 10.1093/bjs/znad258.077.
- [53] LUONGO F, HAKIM R, NGUYEN J H, et al. Deep learning-based computer vision to recognize and classify suturing gestures in robot-assisted surgery[J]. *Surgery*, 2021, 169(5): 1240-1244. DOI: 10.1016/j.surg.2020.08.016.
- [54] KIYASSEH D, MA R, HAQUE T F, et al. A vision transformer for decoding surgeon activity from surgical videos[J]. *Nat Biomed Eng*, 2023, 7(6): 780-796. DOI: 10.1038/s41551-023-01010-8.
- [55] BAE S, MASSIE A B, CAFFO B S, et al. Machine learning to predict transplant outcomes: helpful or hype? a national cohort study[J]. *Transpl Int*, 2020, 33(11): 1472-1480. DOI: 10.1111/tri.13695.
- [56] MALDONADO A Q, WEST-THIELKE P, JOYAL K, et al. Advances in personalized medicine and noninvasive diagnostics in solid organ transplantation[J]. *Pharmacotherapy*, 2021, 41(1): 132-143. DOI: 10.1002/phar.2484.
- [57] SCARDONI A, BALZARINI F, SIGNORELLI C, et al. Artificial intelligence-based tools to control healthcare associated infections: a systematic review of the literature[J]. *J Infect Public Health*, 2020, 13(8): 1061-1077. DOI: 10.1016/j.jiph.2020.06.006.
- [58] GRSKOVIC M, HILLER D J, EUBANK L A, et al. Validation of a clinical-grade assay to measure donor-derived cell-free DNA in solid organ transplant recipients[J]. *J Mol Diagn*, 2016, 18(6): 890-902. DOI: 10.1016/j.jmoldx.2016.07.003.
- [59] O'CONNELL P J, ZHANG W, MENON M C, et al. Biopsy transcriptome expression profiling to identify kidney transplants at risk of chronic injury: a multicentre, prospective study[J]. *Lancet*, 2016, 388(10048): 983-

993. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)30826-1.
- [60] WOILLARD J B, LABRIFFE M, DEBORD J, et al. Tacrolimus exposure prediction using machine learning[J]. *Clin Pharmacol Ther*, 2021, 110(2): 361-369. DOI: 10.1002/cpt.2123.
- [61] LIPKOVA J, CHEN T Y, LU M Y, et al. Deep learning-enabled assessment of cardiac allograft rejection from endomyocardial biopsies[J]. *Nat Med*, 2022, 28(3): 575-582. DOI: 10.1038/s41591-022-01709-2.
- [62] RAYNAUD M, AUBERT O, DIVARD G, et al. Dynamic prediction of renal survival among deeply phenotyped kidney transplant recipients using artificial intelligence: an observational, international, multicohort study[J]. *Lancet Digit Health*, 2021, 3(12): e795-e805. DOI: 10.1016/S2589-7500(21)00209-0.
- [63] LOUPY A, COUTANCE G, BONNET G, et al. Identification and characterization of trajectories of cardiac allograft vasculopathy after heart transplantation: a population-based study[J]. *Circulation*, 2020, 141(24): 1954-1967. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.119.044924.
- [64] OLAWADE D B, MARINZE S, QURESHI N, et al. The impact of artificial intelligence and machine learning in organ retrieval and transplantation: a comprehensive review[J]. *Curr Res Transl Med*, 2025, 73(2): 103493. DOI: 10.1016/j.retram.2025.103493.
- [65] VIVEK K, PAPALOIS V. AI and machine learning in transplantation[J]. *Transplantology*, 2025, 6(3): 23. DOI: 10.3390/transplantology6030023.
- [66] DE CANNIÈRE H, CORRADI F, SMEETS C J P, et al. Wearable monitoring and interpretable machine learning can objectively track progression in patients during cardiac rehabilitation[J]. *Sensors*, 2020, 20(12): 3601. DOI: 10.3390/s20123601.
- [67] HASSAN M K, EL DESOUKY A I, ELGHAMRAWY S M, et al. A Hybrid real-time remote monitoring framework with NB-WOA algorithm for patients with chronic diseases[J]. *Future Gener Comput Syst*, 2019, 93: 77-95. DOI: 10.1016/j.future.2018.10.021.
- [68] ENDO Y, SASAKI K, MOAZZAM Z, et al. Quality of ChatGPT responses to questions related to liver transplantation[J]. *J Gastrointest Surg*, 2023, 27(8): 1716-1719. DOI: 10.1007/s11605-023-05714-9.
- [69] SINGLA R, LODHI S, KIBRET T, et al. Accuracy, clarity, and comprehensiveness of ChatGPT outputs for commonly asked questions about living kidney donation[J]. *Clin Transplant*, 2025, 39(9): e70303. DOI: 10.1111/ctr.70303.
- [70] 国家卫生健康委办公厅, 国家中医药局综合司, 国家疾控局综合司. 关于进一步加强医疗机构电子病历信息使用管理的通知[EB/OL]. (2025-06-23) [2025-10-27]. <https://www.nhc.gov.cn/yzygj/c100068/202506/c68abee7c54b4651a774cd533761780b.shtml>.
- [71] Penn LPS Online. The importance of ethical considerations in research and clinical trials [EB/OL]. (2024-7-30) [2025-10-15]. <https://lpsonline.sas.upenn.edu/features/importance-ethical-considerations-research-and-clinical-trials>.
- [72] EGUIA H, SÁNCHEZ-BOCANEGRA C L, VINCIARELLI F, et al. Clinical decision support and natural language processing in medicine: systematic literature review[J]. *J Med Internet Res*, 2024, 26: e55315. DOI: 10.2196/55315.
- [73] U. S. Department of Energy. Generative Artificial Intelligence Reference Guide (Version 2) [EB/OL]. (2024-06-14) [2025-10-15]. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-06/Generative%20AI%20Reference%20Guide%20v2%206-14-24.pdf>.

(收稿日期: 2026-03-10)

(本文编辑: 谢诗韵 邬加佳)