



数字健康技术在中心静脉血管通路装置中的研究进展

刘硕 赵军燕 乔远静 祝瑶瑶 于跃海 裴浩 朱清阳 王玉婷

【摘要】 探讨数字健康技术在中心静脉血管通路装置中的应用现状, 综述其应用形式以及在中心静脉血管通路选择、减轻患者置管术中不适、尖端定位、健康教育、并发症监测及管理、置入后定期维护、操作培训等场景的应用, 以期为我国中心静脉血管通路装置留置及管理实践提供参考。

【关键词】 数字健康技术; 中心静脉血管通路装置; 管理; 护理; 综述

【中图分类号】 R47; R197 [DOI] 10.3969/j.issn.1672-1756.2025.09.027

Research progress on the application of digital health technologies in Central Venous Access Devices / LIU Shuo, ZHAO Junyan, QIAO Yuanjing, ZHU Yaoyao, YU Yuehai, PEI Hao, ZHU Qingyang, WANG Yuting // School of Nursing, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan, 250355, China // Chin Nurs Manag, 2025,25(9):1426-1430

【Abstract】 To explore the latest application status of digital health technologies in Central Venous Access Devices, reviews its application forms and its application in the selection of central venous access, reducing patients' discomfort during placement surgery, tip positioning, health education, complication monitoring and management, regular maintenance after placement, and operation training, to provide a reference for the practice of Central Venous Access Device indwelling and management in China.

【Keywords】 digital health technology; Central Venous Access Device; management; nursing; review

我国 90% 以上的住院患者需要使用血管通路进行静脉输液治疗^[1], 其中包括中心静脉导管 (Central Venous Catheter, CVC)、完全植入式静脉输液港 (Totally Implantable Venous Access Port, TIVAP) 以及经外周静脉置入中心静脉导管 (Peripherally Inserted Central Catheter, PICC) 在内的中心静脉血管通路装置 (Central Venous Access Devices, CVAD) 已广泛应用于长期静脉治疗、输注高渗或刺激性药物、肠外营养支持以及急危重症救治等方面^[2]。全球统计数据显示, CVAD 年置入量达 1 000 万例以上, 其中我国有 200 万例, 约占全球置管总量的 20%, 且呈持续上升趋势^[3]。但目前, 随着 CVAD 领域新理念、新技术、新方法的不断发展, 在规范置管及维护操作、并发症管理、患者健康教育、信息化建设等方面仍面临诸多挑战^[4-5]。数字健康

技术是以云计算、大数据、人工智能、物联网、区块链、移动互联网等前沿科技交汇而成的复杂技术矩阵载体, 是信息通信技术等新兴技术与健康服务结合的产物^[6], 通过实时数据采集、智能分析和远程干预等功能, 在血管通路数据融合、血管通路成像等方面取得良好的应用效果^[7-8]。因此, 文章系统综述国内外数字健康技术在 CVAD 中的研究进展, 旨在为我国今后开展有关研究以及推动 CVAD 留置及管理的数字化、智能化发展提供参考和指导。

1 数字健康技术在 CVAD 中的应用形式

1.1 移动应用程序

在数字化转型驱动医疗模式革新的背景下, 手机应用程序 (App) 正通过智能化、个性化和远程化方式实现医疗资源的优化配置与利用, 极大提高了留置 CVAD 患者院外延续性护理的可及性。为改善患者留

置 CVAD 体验, 提高自我管理能力, Ullman 等^[9] 开发了集成循证医学资源数据库的移动应用程序, 内置动态图形化界面展示当前使用、历史记录及未来计划的 CVAD 相关信息, 并通过时间轴功能为患者提供预约置管、管路维护、并发症识别等关键节点在内的医疗服务规划, 还可实时与医护团队互动交流, 患者满意度较好。此外, 导管消毒智能植入系统将手机 App 与光控一氧化氮释放技术相结合, 手机 App 通过精准调控光源强度和脉冲频率来动态调节一氧化氮释放速率, 为临床提供分阶段抗菌策略, 进而为导管相关感染防控提供了兼具高效性及经济性的数字化干预方案^[10]。

1.2 虚拟现实技术

虚拟现实作为新一代人机交互技术, 建构具备空间维度感知特性的数字化孪生环境, 为用户提供多信息、三维动态、交互式的沉浸式

基金项目: 北京医学奖励基金会项目 (YXJL-2024-1318-0350)

作者单位: 山东中医药大学护理学院, 250355 济南市 (刘硕, 乔远静, 祝瑶瑶, 于跃海, 裴浩, 朱清阳, 王玉婷); 山东第一医科大学第一附属医院 (山东省千佛山医院) 护理学 (赵军燕)

第一作者: 刘硕, 硕士在读

通信作者: 赵军燕, 博士, 副主任护师, 护士长, E-mail:122155984@qq.com



虚拟现实体验^[11]。Mohamadipanah等^[12]以基于虚拟现实的高精度力反馈触觉交互系统为基础搭建生物力学评估平台,参与者通过实时抗阻控制算法在定制虚拟现实场景中进行细微运动力的辨别测试,结果显示,该平台与CVC穿刺模拟器操作时的导管尖端定位、操作时间、手部运动轨迹等参数显著相关,虚拟力觉辨别系统可作为量化CVC置管核心技能的三维生物力学标记。虚拟现实技术在CVAD操作培训、减轻患者术中不适等方面取得了良好的应用效果,未来还需要加强对虚拟现实技术的探索及攻关,更好地为CVAD留置及管理实践提供技术支持。

1.3 人工智能算法

以机器学习、深度学习为代表的医疗人工智能算法是指依托计算机系统高度算法化的整合分析能力,通过解析多模态医疗数据(如影像、电子病历、检验指标)并结合临床指南与循证医学知识库,实现疾病诊断辅助、治疗方案推荐、风险预测以及大数据整合等功能^[13]。Catho等^[14]采用全结构化数据处理模式,系统整合ICU患者信息、CVC相关数据(含置管/拔管时间、尖端位置及留置时长等)以及微生物学证据链,以评估基于电子健康记录的全自动化监测算法对导管相关血流感染识别的有效性,该算法特异度达98.2%,敏感度维持在91.6%左右,显著优于传统监测方法,但目前各大医院大多数结构化数据并未采用统一的编码标准,该算法难以推广适用。因此,还应加强医疗信息标准化建设,以充分发挥人工智能算法在CVAD领域的应用潜力。

1.4 智能信息化平台

智能信息化平台是指融合人工智能、物联网、大数据分析等先进技术

而构建的具备自主感知、智能决策与动态优化的数字化管理系统^[15]。孙黎等^[16]将循证医学证据深度嵌入医院信息系统构建儿童CVAD智能安全管理体系,形成覆盖置管规划、动态维护及精准拔除的全流程智能质量控制链,并提供标准化置管维护提醒、自动导入检验结果及异常预警等功能,提高了临床医护人员的循证实践依从性,降低了患儿CVAD相关并发症发生率。智能信息化平台通过多维架构融合实现了CVAD数智化管理的范式革新,为静脉治疗护理质量的持续改进提供保障。

2 数字健康技术在 CVAD 中的应用场景与效果

2.1 在 CVAD 选择中的应用

2021版美国静脉输液护理学会(Infusion Nurses Society, INS)指南指出,应根据患者血管特征、年龄、共存疾病、静脉治疗史、对血管通路装置的偏好、治疗方案、预期治疗时间等选择适宜的血管通路装置类型^[17]。Bechdel等^[18]为满足临床实践需求,根据2021版INS指南要求开发了由护士驱动基于决策树算法的电子处方系统可集成工具,包括血管通路选择算法及提出相关建议,在为患者血管通路选择提供依据的同时加强了跨学科团队之间的交流合作,保障患者静脉治疗安全。决策辅助工具以循证医学为基础,为患者及家属做出临床决策提供各种客观信息,帮助患者了解不同的治疗方案,从而帮助其实现最佳决策,AVATAR工具是一种基于无线应用服务提供商算法的血管通路选择决策辅助工具^[19],通过整合分析危险因素、实验室检查结果、治疗相关因素等多元数据,为患者生成包含推荐使用装置、优先保留装置及禁忌装置的三级分类建议方案,其智能化决策模型有效简化血管通路评

估流程,满足患者个体化需求,帮助患者制订科学合理的血管通路选择方案。此外,我国学者赵益等^[20]为妇科恶性肿瘤患者开发包括问题清单、静脉化疗通路装置选择表、决策辅助手册在内的化疗血管通路决策辅助工具,但多以视频及文字形式展现,尚未与数字健康技术相结合。因此,建议相关后续研究可结合数字健康技术,打破医疗信息空间及时间限制。

2.2 在减轻患者置管术中不适的应用

利用虚拟现实技术将疼痛等不适转移的干预策略被称为数字镇静(Digital Sedation, DS),其可通过转移注意力减轻患者血管通路置管术中疼痛、焦虑、恐惧等心理困扰,Gerçeker等^[21]将DS应用于TIVAP置入术中以减轻血液肿瘤患儿疼痛、焦虑及恐惧情况,观察组患儿在研究者指导下从3类预设的沉浸式场景(海洋生物探索、过山车模拟及森林生态观察)中自主选择一项体验,结果显示,与对照组相比,观察组患儿术中疼痛、焦虑及恐惧评分显著下降。Schaaake等^[22]将DS应用于PICC置管以减轻患者术中疼痛和焦虑情况,观察组佩戴虚拟现实头戴式显示设备,沉浸于仰卧位视角的热带岛屿虚拟场景(含海浪声、海鸥鸣叫等环境音效),并设置动画角色“Emma”引导呼吸训练,借助动作捕捉技术实时反馈:患者静止时给予语音鼓励,肢体活动时则发出保持体位提示。结果显示,与对照组相比,观察组术中疼痛和焦虑评分无显著差异,但此研究为单中心随机对照试验,研究结果可能受样本量及选择偏倚影响。目前研究表明,数字化健康干预手段多聚焦于患者置管术中不适,未来研究还需要通过数据驱动的个性化



干预策略,为完善 CVAD 术前准备、缩短术后恢复时间、降低医源性损伤等围手术期全流程管理提供支撑。

2.3 在 CVAD 尖端定位中的应用

近年来,数字健康技术的快速发展有效解决医学图像中的复杂问题,显著提升 CVAD 术中尖端定位的精准度,其中,基于深度学习的自动化模型能够准确监测胸片图像中的导管轮廓,自动识别导管尖端位置,减少人为判读误差,明显优于传统的人工分析方法^[23]。Brescia 等^[24]开发了腔内心电图(IC-ECG)口袋式无线导管尖端监测系统,采用双导联配置,腔内置入端通过无菌电缆连接导管尖端,体表端电极固定于患者对侧肩部,监测主机经蓝牙将实时信号传输至移动终端,实现心电波形可视化呈现与数据存储,符合临床无菌操作规范。此外,电磁导航定位技术是一种将电磁引导与 IC-ECG 定位相结合的新兴无创定位法,通过胸骨体表 Y 形传感器实时追踪磁性 PICC 导丝尖端磁场信号,同步连接双导联腔内心电监测,实现导管尖端定位与心电波形动态显示^[25]。目前国外常用的是 Sherlock 3CG[®] 尖端确认系统(Tip Confirmation System, TCS),可有效减少患者 X 线暴露风险,缩短治疗等待时间,提高医疗资源利用率,Yamagishi 等^[26]研究评估了 Sherlock 3CG[®] TCS 在 114 例住院患者 PICC 穿刺中的置管成功率和定位准确率,结果显示,该技术的置管成功率为 97.3%,定位准确率为 83.8%,未发现导管尖端异位于颈内静脉或其他静脉的情况。但该技术目前兼容设备有限,仅能与特定型号的导丝和 PICC 配合使用,限制了其临床应用范围,且在 CVC 及 TIVAP 中的适用性尚待验证。

2.4 在 CVAD 留置患者健康教育中的应用

CVAD 留置时间长,治疗间歇期患者需要带管出院。由于患者自我管理知识储备不足、自我效能感水平较低以及院外延续性护理服务缺失等问题, CVAD 置管患者全流程精准化健康教育已成为改善其生活质量、延长导管使用时间的关键^[27-28]。Jin 等^[29]将专家共识、循证指南与数字可视化技术相结合,开发了 TIVAP 多模态健康教育体系,呈现留置 TIVAP 期间日常生活注意事项、分级运动康复指导及植入后并发症预防策略等内容,该研究还创新性地引入二维码即时访问机制,使患者可通过移动终端实现健康教育内容的按需调取与场景化学习。国内学者肖力^[30]构建了基于移动医疗的留置 CVAD 患者全流程健康管理方案,该 App 包括“我的导管”“健康知识库”“心理社会支持”3 大板块,在健康知识库板块按照置管前、置管中、置管后、带管居家期及拔管时 5 个不同阶段,以时间轴为参考为每一阶段提供精准化、具象化的健康支持和指导,提高患者认知水平及自我管理效能。传统健康教育常采用单向信息传递模式,以简单的灌输式教育为主,导致患者在出院后依从性降低,因此,还应发挥远程延续性护理等数字化健康干预手段的即时反馈与行为追踪等优势,探究其主要形式、内容要素及干预效果。

2.5 在 CVAD 并发症监测及管理中的应用

人工智能算法如自然语言处理算法、全自动算法以其高度敏感性和特异性,通过精准分析电子健康记录以及与 CVAD 相关的影像学报告,来识别评估、动态监测及管理气

胸、导管相关血流感染等相关并发症,减少了人为偏差,提高了准确率^[31]。人工神经网络旨在通过模拟神经元之间的连接和信号处理方式来实现机器学习任务,Fu 等^[32]通过该算法自动学习乳腺癌患者 PICC 置入后血栓风险特征来构建 PICC 相关性血栓预测模型,有助于识别血栓风险高危人群并指导临床干预。此外,无创监测技术是指在不侵入人体或破坏组织完整性的前提下,通过外部传感器、影像学或生物信号分析等手段实时或定期获取生理数据的技术,Gil 等^[33]基于此开发了一种远程无线生物标志物传感器,将传感器置入 TIVAP 端口中,实时监测 pH 值和乳酸浓度并自动输入移动终端进行数据交互,并可视化呈现给医护人员,实时监测穿刺点感染情况。人工智能算法、远程无创监测技术等数字健康技术有效提升并发症监测管理效率,为精准医疗时代 CVAD 置管后提供可验证、可迭代的智能化管理方式。

2.6 在 CVAD 置入后定期维护中的应用

CVAD 传统维护模式依赖人工观察与经验判断,存在监测滞后、风险预警不足、操作标准化程度低等局限性^[34]。物联网传感设备、人工智能算法与医疗大数据平台的深度融合为 CVAD 置管后定期维护提供了全新策略。在置管后维护时机监测方面,Davis 等^[35]开发了新型实时数据可视化工具,该工具以可视化界面实时更新基于 ICU 住院患者电子病历系统的生命体征、用药记录、实验室检测结果及导管状态等数据,并采用颜色编码机制对导管相关护理问题分级标识,帮助医护人员快速识别需要优先干预的高危病例,从而提升临床导管维护效率



与患者安全管理水平。此外, Russo 等^[36]将虚拟现实游戏应用于留置 CVAD 的肿瘤患儿, 患儿在 CVAD 维护过程中体验结合即时奖励机制的 MantaRay 及 VitaminBee 两项沉浸式游戏, 前者通过头部运动操控虚拟魔鬼鱼在视觉特效与空间化环境音效构建的多感官沉浸式水下生态系统中进行探索性航行, 后者控制三维空间中的花粉投射到飞行蜜蜂身上。结果显示, 通过注意力转移, 患儿维护过程中痛苦水平显著降低且家属满意度高。

2.7 在 CVAD 培训中的应用

医护人员操作水平是决定 CVAD 安全性、适用性和可靠性的关键环节。严肃游戏是一种具有明确学习目标的数字干预游戏形式, 旨在通过沉浸式的互动环境来增强用户学习动机和参与感, 增强培训效果, Yabrodi 等^[37]基于严肃游戏整合 CVAD 循证操作规范与指南构建沉浸培训场景, 操作者通过临床角色代入机制, 在高仿真虚拟现实场景中完成从导管置入到术后维护的完整临床路径, 并借助实时生理引擎反馈系统对操作者的无菌技术执行、导管穿刺手法及并发症识别等进行动态监测与纠错。此外, 新生儿 PICC 虚拟仿真教学系统^[38]利用多模态交互和虚拟现实引擎, 开发针对新生儿血管解剖结构与临床操作的沉浸式训练模块, 运用 3D 组织力学反馈技术模拟早产儿血管特征, 使学习者在零医疗风险环境下掌握导管尖端定位、血管穿透力感知等核心技能, 并通过团队协作任务提升学员急救协同能力。尹慢慢等^[39]构建 PICC 置管术虚拟仿真培训平台, 应用 360° 全景 3D 技术和人体解剖分层透视技术, 通过血管超声

实时影像可视化呈现血管解剖结构, 规范静脉治疗专科护士穿刺进针等置管操作流程, 显著提升置管操作培训效果。虚拟仿真的沉浸性、交互性和构想性有利于学习者更深层理解掌握理论知识、提升临床实践水平。

3 小结

综上所述, 数字健康技术在 CVAD 全生命周期数智化管理中具有巨大应用潜力, 前景广阔。但目前在我国尚处于初步探索阶段, 且国内学者相关认知有待提高。未来, 亟须开展大样本、多中心、高质量的随机对照试验进一步验证其应用效果, 研发适合我国国情和文化的数字健康技术, 从而为我国留置 CVAD 患者提供更具可及性、便捷性的数字化、智能化护理服务, 进一步推动我国静脉治疗护理事业的持续健康发展。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突。

作者贡献声明 刘硕: 文献检索与分析、论文撰写及修改; 赵军燕、乔远静: 论文指导与质量控制、论文审校; 祝瑶瑶、于跃海、裴浩: 论文修改; 朱清阳、王玉婷: 文献检索与分析。

参考文献

- [1] 孙红, 王蕾, 关欣, 等. 全国部分三级甲等医院静脉治疗护理现状分析[J]. 中华护理杂志, 2014, 49 (10): 1232-1237.
- [2] BUCHANAN C, BURT A, MOUREAU N, et al. Registered Nurses' Association of Ontario (RNAO) best practice guideline on the assessment and management of vascular access devices [J]. J Vasc Access, 2024, 25 (5): 1389-1402.
- [3] 邹英华, 杨婧. 中心血管通路技术和应用新进展[J]. 中国医疗器械信息, 2021, 27 (5): 39-41, 164.
- [4] 聂圣肖, 王蕾, 孙红. 743家医院静脉治疗质量管理现状调查[J]. 中华现代护理杂志, 2020, 26 (36): 5017-5022.

- [5] 董方方, 王蕾, 高伟, 等. 1926所医院静脉治疗质量管理现状的调查研究[J]. 中华护理杂志, 2024, 59 (20): 2447-2455.
- [6] 徐向东, 周光华, 吴士勇. 数字健康的概念内涵、框架及推进路径思考[J]. 中国卫生信息管理杂志, 2022, 19 (1): 41-46.
- [7] IORGA A, VELEZIS M J, MARINAC-DABIC D, et al. Venous Access: National Guideline and Registry Development (VANGUARD): advancing patient-centered venous access care through the development of a national coordinated registry network [J]. J Med Internet Res, 2023, 25: e43658.
- [8] VT G. A novel design proposal for low-cost vein-viewer for medical and non-contact biometric applications using NIR imaging [J]. J Med Eng Technol, 2021, 45 (4): 303-312.
- [9] ULLMAN A J, GIBSON V, KLEIDON T M, et al. An mHealth application for chronic vascular access: consumer led co-creation [J]. J Pediatr Nurs, 2024, 76: 68-75.
- [10] CHUG M K, BRISBOIS E J. Smartphone compatible nitric oxide releasing insert to prevent catheter-associated infections [J]. J Control Release, 2022, 349: 227-240.
- [11] BARAGASH R S, ALDOWAH H, GHAZAL S. Virtual and augmented reality applications to improve older adults' quality of life: a systematic mapping review and future directions [J]. Digit Health, 2022, 8: 20552076221132099.
- [12] MOHAMADIPANAH H, PARTHIBAN C, NATHWANI J, et al. Can a virtual reality assessment of fine motor skill predict successful central line insertion? [J]. Am J Surg, 2016, 212 (4): 573-578, e1.
- [13] VAN MOURIK M S M, VAN ROODEN S M, ABBAS M, et al. PRAISE: providing a roadmap for automated infection surveillance in Europe [J]. Clin Microbiol Infect, 2021, 27 Suppl 1: S3-19.
- [14] CATHO G, FORTCHANTRE L, TEIXEIRA D, et al. Surveillance of catheter-



- associated bloodstream infections: development and validation of a fully automated algorithm [J]. *Antimicrob Resist Infect Control*, 2024, 13 (1): 38.
- [15] 王玉, 许翠萍, 王光娅, 等. 远程医疗在炎症性肠病患者中的应用研究进展[J]. *中国慢性病预防与控制*, 2023, 31 (6): 467-469, 474.
- [16] 孙黎, 贺芳, 沙晓妍, 等. 儿童中心静脉血管通路装置安全管理信息化平台的构建与应用[J]. *中国护理管理*, 2024, 24 (8): 1141-1146.
- [17] GORSKI L A, HADAWAY L, HAGLE M E, et al. Infusion therapy standards of practice [J]. *J Infus Nurs*, 2021, 44 (1S Suppl 1): S1-224.
- [18] BECHDEL B A, BARDMAN K J, MACHEMER C. Developing a nurse-driven vascular access device order set using the electronic medical record [J]. *J Infus Nurs*, 2022, 45 (1): 20-26.
- [19] FARAONE V, APREA P, SPENCER T R. AVATAR®: an electronic evidence-based medicine friendly tool for vascular access planning [J]. *Minerva Med*, 2018, 109 (4): 326-333.
- [20] 赵益, 林梦, 王思浓, 等. 决策辅助工具在妇科恶性肿瘤患者静脉化疗通路选择中的应用[J]. *中国护理管理*, 2024, 24 (12): 1798-1803.
- [21] GERÇEKER G Ö, BEKTAŞ M, AYDINOK Y, et al. The effect of virtual reality on pain, fear, and anxiety during access of a port with huber needle in pediatric hematology-oncology patients: randomized controlled trial [J]. *Eur J Oncol Nurs*, 2021, 50: 101886.
- [22] SCHAAKE R, LEOPOLD I, SANDBERG A, et al. Virtual reality for the management of pain and anxiety for IR procedures: a prospective, randomized, pilot study on digital sedation [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2024, 35 (6): 825-833.
- [23] LEE H, MANSOURI M, TAJMIR S, et al. A deep-learning system for fully-automated Peripherally Inserted Central Catheter (PICC) tip detection [J]. *J Digit Imaging*, 2018, 31 (4): 393-402.
- [24] BRESCIA F, ANNETTA M G, PITTIRUTI M. A new wireless device for bedside assessment of tip location of central venous access devices using intracavitary ECG: a retrospective study [J]. *J Vasc Access*, 2025, 26 (4): 1408-1412.
- [25] EDANAGA M, SATO H, OCHIAI G, et al. The tip position of peripherally inserted central catheters by the Sherlock 3CG system was almost deeper than Zone B: a case series [J]. *Cureus*, 2023, 15 (6): e40711.
- [26] YAMAGISHI T, ASHIDA H, IGARASHI T, et al. Clinical impact of the Sherlock 3CG® Tip Confirmation System for peripherally inserted central catheters [J]. *J Int Med Res*, 2018, 46 (12): 5176-5182.
- [27] 夏玉雪. PICC带管患者精准化健康教育方案的构建与应用研究[D]. 济南: 山东中医药大学, 2023.
- [28] 赵改婷, 孙秀梅, 刘志敏, 等. 河北省42所医院中心血管通路装置使用及管理现状调查[J]. *护理学杂志*, 2019, 34 (8): 63-66.
- [29] JIN Z, NIU Z, WU C, et al. Preoperative animated videos reduce education time and increase content awareness for patients with digital subtraction angiography-guided implantable venous access ports [J]. *Medicine*, 2024, 103 (46): e40486.
- [30] 肖力. 基于移动医疗App的中心静脉血管通路置管患者健康管理方案的构建研究[D]. 成都: 成都中医药大学, 2021.
- [31] KARMEFORS IDVALL M, TANUSHI H, BERGE A, et al. The accuracy of fully-automated algorithms for the surveillance of central venous catheter-related bloodstream infection in hospitalised patients [J]. *Antimicrob Resist Infect Control*, 2024, 13 (1): 15.
- [32] FU J, CAI W, ZENG B, et al. Development and validation of a predictive model for peripherally inserted central catheter-related thrombosis in breast cancer patients based on artificial neural network: a prospective cohort study [J]. *Int J Nurs Stud*, 2022, 135: 104341.
- [33] GIL B, LO B, YANG G Z, et al. Smart implanted access port catheter for therapy intervention with pH and lactate biosensors [J]. *Mater Today Bio*, 2022, 15: 100298.
- [34] 冯丽娟, 汪晖. 基于智慧医疗的020模式在PICC专科护理门诊的实践及应用[J]. *中国护理管理*, 2020, 20 (10): 1449-1453.
- [35] DAVIS C L, BJORING M, HURSH J, et al. The intensive care unit bundle board: a novel real-time data visualization tool to improve maintenance care for invasive catheters [J]. *Appl Clin Inform*, 2023, 14 (5): 892-902.
- [36] RUSSO L, TOZZI A E, MASTRONUZZI A, et al. Feasibility of a VR intervention to decrease anxiety in children with tumors undergoing CVC dressing [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, 19 (19): 11953.
- [37] YABRODI M, ABULEBDA K, PEARSON K J, et al. Using a serious game to teach central line care in pediatric critical care nursing [J]. *Am J Nurs*, 2025, 125 (2): 36-42.
- [38] FU T T, WANG X J, XIAO S Q, et al. Development and evaluation of a PICC virtual simulator in neonatal nursing: a randomized controlled trial [J]. *Nurse Educ Today*, 2024, 141: 106306.
- [39] 尹慢慢, 李秀婷, 盛源, 等. PICC置管术虚拟仿真平台的构建及临床培训应用评价[J]. *中华医学教育探索杂志*, 2023, 22 (5): 753-758.

[收稿日期: 2025-03-27]

[修回日期: 2025-07-15]

(本文编辑: 陈雪)