

数字化医疗在儿童术后疼痛管理中的应用前景

陈 斐¹, 张羽冠², 朱 波²

¹ 国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院麻醉科, 北京 100021

² 中国医学科学院北京协和医院麻醉科, 北京 100730

通信作者: 朱 波, E-mail: zhubo@pumch.cn

【摘要】近年来, 随着数字化医疗在医学麻醉领域应用逐渐广泛, 其在儿童术后疼痛管理中的作用日益受到关注。数字化医疗不仅为儿童术后疼痛的术前预测、术后监测评估及治疗管理提供了新思路, 同时为麻醉医生制定最佳术后疼痛管理策略提供了新方案。本文通过回顾数字化医疗及其在临床麻醉中的应用, 对该疗法在儿童术后疼痛管理方面的应用前景进行综述, 以期加深临床医师的认知。

【关键词】数字化医疗; 临床麻醉; 小儿术后疼痛; 疼痛治疗

【中图分类号】 R441.1; R614 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-9081(2024)02-0279-06

DOI: 10.12290/xhyxzz.2023-0429

Prospects of Digital Medicine in Postoperative Pain Management in Children

CHEN Fei¹, ZHANG Yuguan², ZHU Bo²

¹Department of Anesthesiology, National Cancer Center/National Clinical Research Center for Cancer/Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100021, China

²Department of Anesthesiology, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100730, China

Corresponding author: ZHU Bo, E-mail: zhubo@pumch.cn

【Abstract】 In recent years, with the gradual and extensive application of digital medical treatment in the field of medical anesthesia, its role in the postoperative pain management of children has attracted increasing attention. It provides new ideas for the preoperative prediction, postoperative monitoring and evaluation, and treatment management of postoperative pain in children, as well as a new scheme for anesthesiologists to formulate the best postoperative pain management strategy for children. This article reviews digital medical treatment and its application in clinical anesthesia, and reviews the application prospects of this therapy in postoperative pain in children, in order to deepen clinicians' knowledge.

【Key words】 digital medical treatment; clinical anesthesia; postoperative pain in children; pain treatment

Funding: National High Level Hospital Clinical Research Funding (2022-PUMCH-B-119)

Med J PUMCH, 2024, 15(2):279-284

术后疼痛是临床最常见、最值得关注的话题之一，是多学科面临的共同挑战，其产生机制涉及多方面原因，如手术创伤、患者精神心理因素、术后感染、围术期镇痛方案欠佳等^[1]。术后疼痛不仅引起患者躯体上的不适，剧烈疼痛还可导致患者焦虑、紧张等心理变化，甚至影响内分泌功能，不利于术后康复。相较于成人，儿童通常无法清楚、准确表述术后疼痛，若得不到妥善处理，可能对患儿及其家庭造成诸多不良影响^[2]。目前，临床针对儿童术后疼痛，主要采取药物为主的干预策略，但存在效果不明显、副作用多、依从性差等缺点，亟需探寻新的疼痛管理策略。随着数字健康领域的兴起，数字化医疗成为临床研究热点，其可为儿童术后疼痛的术前预测、术后监测与管理提供更为详尽的解决方案^[3]。本文回顾了数字化医疗技术及其在临床麻醉中的应用，并对该疗法在儿童术后疼痛管理方面的应用前景作一综述，以期临床提供参考和借鉴。

1 数字化医疗概述

当前社会，科技发展速度日益加快，数字医疗产业正在加速革新和重塑，以适应日益增长的多样化医疗健康需求。数字化医疗^[4]是将数字技术赋能医学的新体现，其是将现代化计算机技术、信息技术应用于整个医疗过程的一种新型现代化医疗方式，即该医疗技术整合了物联网、大数据和人工智能技术，并通过此3个方面影响着临床诊疗，为患者提供更加精准、高效的医疗服务，如基于数字化技术研发的移动设备、平板电脑和可穿戴医疗设备有望改变当下医疗保健和医学教育环境，同时丰富医学信息内涵、拓宽医生诊断技术，使临床诊疗更加智能化。通过利用数字化医疗技术，有助于解决医疗实践、教育和研究过程中存在的多种局限性，并协助完成信息处理和通信任务。目前数字化医疗技术已在医疗体系的多个方面崭露头角，如通过人工智能模型加速针对 COVID-19 的药物再利用及研发^[5]、数字 PCR 对于感染性疾病的溯源^[6]以及远程医疗的应用^[7]等。

2 数字化医疗在临床及麻醉领域中的应用

在临床医学领域，数字化医疗在疾病诊断及治疗中展现出了较大优势，如基于人工智能算法对图像信息进行深度挖掘，在病理图像诊断方面具有良好应用前景^[8]；基于 5G 网络技术的远程医疗呈现出数字化

医疗强大的影响力和生命力，有效保障了远程手术的稳定性、实时性和安全性，为多种疾病的治疗提供了新思路。Dang 等^[9]在对数字化医疗的作用及其未来发展趋势进行研究时指出，数字化医疗在诸如患者病程监测的个性化和精确性、数据处理的自动化、人工智能模型的可预测性、基于人工智能算法的临床数据分析、远程可视化医患交流等临床诊疗中均展现了突出优势。研究显示，数字化医疗有助于医学的智能化、精准化发展，可减少手术创伤，促进患者恢复，如基于大数据的加速术后康复预康复策略，可于术前根据患者身体状况及相关检查结果，制定个体化干预方案，使其更好地适应手术应激创伤过程，加速术后康复^[10]。

在麻醉领域，数字化医疗在麻醉风险评估、麻醉药物剂量精准控制、麻醉深度实时监测及麻醉质量反馈评估等多方面均可发挥作用，如通过综合分析患者的病历资料、生理指标、临床特征、血液学参数，有助于快速识别麻醉风险因素，以辅助麻醉方案的制订，降低麻醉不良事件发生风险；术中通过对患者的心电、脑电、肌电活动及血氧等生理指标进行连续、动态监测，有助于准确把控麻醉药物剂量、实时监测麻醉深度变化，以达到最佳麻醉效果；基于在线监测数据记录，结合大数据算法可实现麻醉质量评价和分析，并提供反馈信息，以促进麻醉质量的改进。此外，数字化医疗亦有助于改善临床与麻醉医生之间的沟通、提高工作效率、加强医学教育和降低医院成本，如通过在线教育、监控和行为干预的方法，麻醉医生可帮助患者减少术前焦虑，且通过实时的移动应用程序进行互动，增加医患交流频率；通过数字化技术提供医患交互界面，可使医生术前及时了解患者的机体状态，以辅助疼痛管理，改善患者临床转归。Pan 等^[11]通过文献检索发现，目前已有多种基于数字化技术研发的产品应用于临床麻醉领域，有助于推动该领域高质量发展。

3 数字化医疗在儿童术后疼痛管理中的应用

对于行外科手术的儿童而言，临床数据表明，超过 85% 的患儿会产生术后疼痛，63% 的患儿出院后仍可出现显著疼痛，并对患儿的家庭生活、情感及行为造成一系列不良连锁反应^[12]。若患儿术后急性疼痛得不到及时干预，可能延迟其术后开始活动的时间，并导致阿片类药物用量增加及相关副作用增多。因此，及时对儿童术后疼痛进行干预具有

重要意义。鉴于传统镇痛疗法存在的不足，通过数字化技术研发针对儿童术后疼痛评估及管理的相关应用，有望为缓解儿童术后疼痛提供一种理想的解决方案^[13]。基于目前移动设备的高普及度、移动性、便捷性收集并整合疼痛相关数据，提供在线交流平台促进医患沟通，已被证实对减轻儿童术后急、慢性疼痛具有可行性^[11]。因此，数字化技术为儿童术后疼痛管理提供了可行路径，并有助于减轻患儿及其家庭心理负担与经济负担，在儿童术后疼痛的术前预测、术后监测评估、治疗与管理方面有着广阔的应用前景。

3.1 术后疼痛的术前预测

通过数字化医疗术前预测儿童术后疼痛程度，并早期采取干预措施，有助于缓解患儿围术期不良情绪、减少阿片类药物用量，提高术后疼痛管理质量。Laloo 等^[14]研究认为，数字化应用程序可通过多种方式辅助患儿的术前疼痛预测，如通过电子模拟疼痛刺激评估患儿对疼痛的耐受性，并通过移动设备收集患儿的疼痛危险因素指标变化趋势，继而有助于预测术后疼痛程度。术前焦虑与紧张等不良情绪对于围术期疼痛具有一定影响，其机制可能与上述情绪一方面可降低机体对疼痛的耐受性，另一方面可干扰神经兴奋性和激素分泌相关。研究表明，减轻术前不良情绪对于改善术后疼痛具有重要作用^[15]。因此，通过可穿戴医疗设备术前收集患儿的相关情绪变化数据，对于术后疼痛的预测亦具有一定帮助。此外，在日常环境（如家庭、医院）中通过对患儿疼痛症状进行自我或家庭监测，并分析其变化，也可辅助术后疼痛的预测。温哥华大学 Wood 等^[16]学者开展的一项临床研究验证了数字化医疗技术在儿童术后疼痛预测中的作用。该研究共纳入 19 例患儿及其家属进行小组访谈及术前各项风险数据分析并将其转化为可视化信息，结果表明利用数字化医疗可在术前有效预测患儿术后疼痛状况，并有助于降低其术后疼痛风险。

3.2 术后疼痛监测评估

3.2.1 基于大数据——数字化应用程序的开发

利用数字化技术研发疼痛监测程序，并应用于患儿及其家长移动设备已成为迫切需求。Laloo 等^[14]认为应用程序的开发应邀请医疗人员及麻醉疼痛相关人员参与，并需在充足的医学专业知识和科学评估的基础上设计。考虑到应用程序的主要目标用户为接受手术的患儿，因此应用程序的明确目标是提供与疼痛治疗相关的测评、宣教及建议。研究者认为内容全面的应用程序至少应符合以下标准^[14]：（1）具有术后

疼痛跟踪功能，如使用电子色彩模拟量表评估疼痛程度或将小儿疼痛评分量表电子化（包含视觉模拟评分、CRIES、FLACC、Comfor 等量表）；（2）可设定改善疼痛的目标；（3）提供相关知识技能培训，量化疼痛症状；（4）提供相关社会支持、术前与术后疼痛宣教。应用程序开发标准应包括：（1）术前教育和整个围术期的疼痛治疗规划；（2）量化疼痛症状，并根据需要调整治疗目标；（3）可将疼痛非药物治疗（如认知行为策略、物理治疗方式）与指定的药物治疗方式相结合^[14]。

3.2.2 基于人工智能——3D 表情识别系统的开发

目前临床对儿童疼痛程度的评估均由受过专业训练的医护人员完成。一方面专业人员的培训需耗费大量时间与精力，另一方面评估结果受个人主观因素的影响较大，无法及时客观地反映疼痛程度^[17]，因而建立配套的小儿疼痛表情识别系统具有较大临床意义。首先可采用 3D 技术提取患儿疼痛表情特征，然后利用人工智能算法进行深度信息挖掘，并与患儿疼痛评估方法相结合。在此基础上对既往儿童面部疼痛量表进行修订，并将其融入电子设备的应用程序中，有望实现术后疼痛的实时监测与预测，继而根据监测结果采取有效的干预措施，达到缓解患儿疼痛的目的（图 1，2）^[18-19]。随着数字化医疗的不断发展，小儿疼痛表情可通过视频、音频等电子技术的方式记录下来，通过观察并量化分析，将有助于小儿术后疼痛的精准化管理^[20]。

3.2.3 基于物联网——可穿戴医疗设备的开发

可穿戴医疗设备可连续动态识别人体的体态特征、生理指标变化，实时监测身体、运动及新陈代谢状况，并将动态与静态的生命特征、体态特征数据化。对于无法口述表达疼痛的患儿而言，利用可穿戴医疗设备的便捷性，可辅助医生对术后疼痛进行评估与监测。美国麻省理工大学相关团队开发了一种监测系统，可通过分析便携式神经成像设备的脑活动以测量患者的疼痛程度。该可穿戴医疗设备基于新兴的非侵入式脑功能成像技术——功能性近红外光谱技术（functional near-infrared spectroscopy, fNIRS），检测患者脑组织中氧合血红蛋白水平，以揭示其神经元活动，如前额叶皮质在疼痛处理中发挥重要作用，研究人员将 fNIRS 传感器置于受试者前额测量其前额叶皮质活动，然后基于测量的脑氧信号开发出个性化机器学习算法以检测与疼痛反应相关的氧合血红蛋白水平。经验证，该模型检测与评估患者疼痛程度的准确率达 87%^[21]。

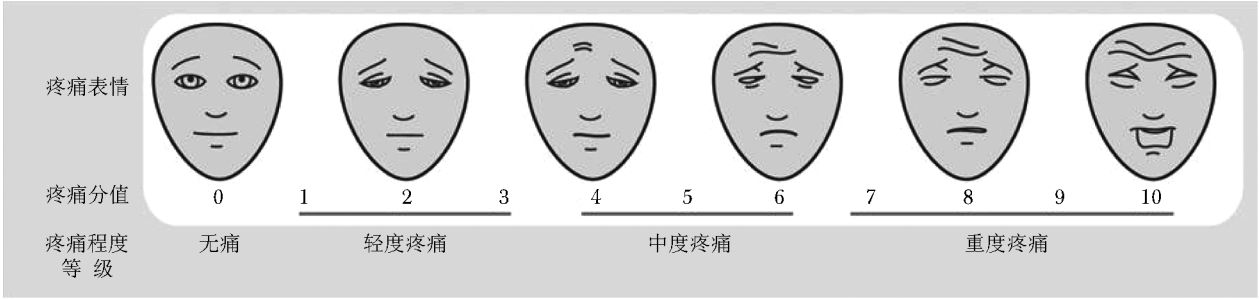


图 1 小儿面部表情疼痛量表表示意图^[18]

Fig. 1 Schematic representation of the pediatric facial expression pain scale^[18]

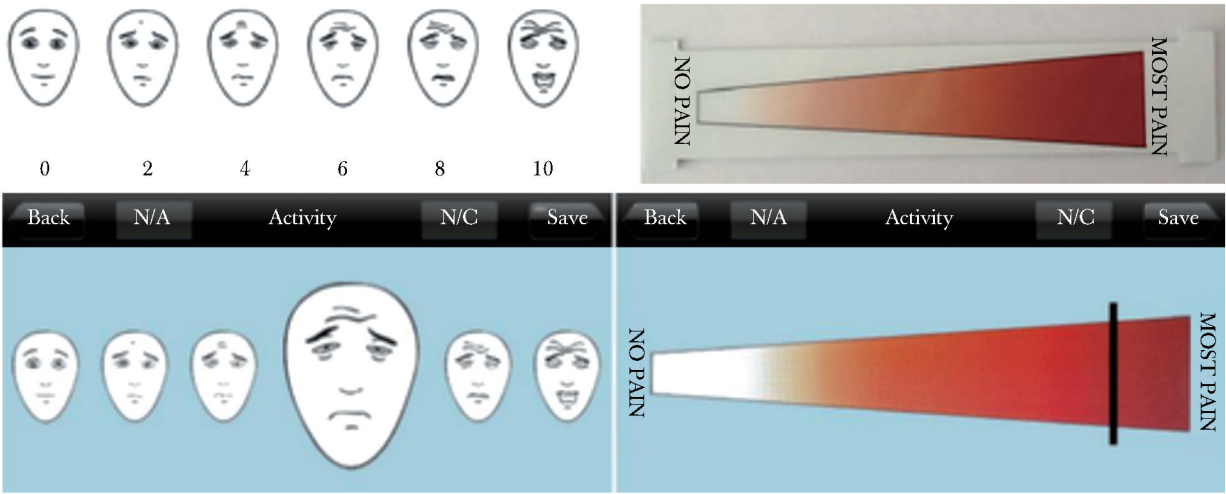


图 2 小儿面部表情疼痛量表与电子设备应用程序相结合的示意图^[19]

Fig. 2 Schematic of the pediatric facial expression pain scale combined with an electronic device application^[19]

此外，生活中常见的一些可穿戴设备，如听诊记录仪、无创血糖监测仪、心电监测仪、脉氧仪、血压监测仪等，均可有效监测患儿的生命体征、自动采集相关数据并反馈给专业医生，以便临床医生及时处理患儿术后疼痛。尽管可穿戴医疗设备的应用技术尚不成熟，但其可通过使用较小的元件，实现更加精确的数据收集、快速分析，以减少不必要的医疗损耗，有效提高医疗质量，因此，该技术的应用有望在未来的小儿术后镇痛中扮演重要角色^[22]。

3.3 术后疼痛治疗与管理

3.3.1 智能化患者自控镇痛技术

传统患者自控镇痛（patient-controlled analgesia, PCA）已广泛应用于儿童围术期镇痛，其虽可提高个体化用药水平，但大量患儿术后疼痛无法得到有效缓解，其主要原因与该镇痛模式对术后镇痛的关键信息不能实时获取与反馈相关^[23]。将传统 PCA 与物联网及人工智能相结合的新型镇痛技术，即智能化 PCA（artificial intelligence PCA, AI-PCA）有望弥补传统

PCA 的不足^[24]。AI-PCA 具有远程监控、智能报警、智能分析与评估等功能，可自动记录并保存自控键按压频率和背景剂量等信息，显著延长医嘱执行时间，实现术后镇痛动态化管理，提高患儿术后镇痛质量。研究显示，相较于传统 PCA，AI-PCA 可显著降低患儿术后中重度疼痛和相关不良反应发生率，提高患儿镇痛满意度，并有助于增加围术期疼痛治疗有效性^[25]。此外，AI-PCA 亦具有其他临床麻醉辅助功能：（1）实现全员各病区患者镇痛信息集中化管理；（2）可提供一个全新的镇痛量化指标——镇痛质量指数（analgesic quality index, AQI），以客观反映疼痛管理能力与水平，对科室镇痛质量进行实时控制和智能管理考核；（3）可自动统计药液残余；对于儿童患者而言，需为其提供更为精确的镇痛药物用量，AI-PCA可自动记录、计算患儿用药数据，自动统计撤泵后残余药量，生成登记表；（4）自动生成质控数据。2018 年，中国首部《智能化病人自控镇痛管理专家共识》^[23]发布，进一步促进了 AI-PCA 的规范

化发展和推广应用，推动了精准镇痛的实现。

3.3.2 基于虚拟现实技术的疼痛辅助治疗

虚拟现实（virtual reality, VR）技术已越来越多地应用于生活的各个领域，其在儿童围术期疼痛治疗中的可行性和有效性也得到了相应关注^[26]。自 2000 年以来，VR 长期被用于专科诊所患者的辅助镇痛，应用最初是为了减轻烧伤患者的疼痛，其为一种沉浸式认知疗法，可提供一个完全或部分仿真场景，通过强互动感让患者沉浸于其中，从而转移其注意力，消除与疼痛的情感联系并产生持续性影响，使大脑无法对疼痛信号作出反应，以达到缓解疼痛的目的^[27]。一项随机对照试验验证了 VR 技术在术后镇痛中的作用。该研究共纳入 52 例接受肠道微创手术的患者并随机分为 VR 组和标准组，结果显示 VR 组患者对于术后镇痛的满意度更高，且该组患者均未出现设备相关并发症。73% 的患者可完成术后相关疗程直至出院，并表示在使用此设备时疼痛、焦虑和恶心程度较低。76.2% 的患者表示愿意再次使用 VR 设备或希望有一个针对疼痛治疗的 VR 程序^[26]。另一项随机临床试验验证了 VR 游戏在烧伤患儿更换敷料期间疼痛管理中的作用。该研究共纳入 90 例烧伤患儿并随机分为 VR 游戏组与对照组，结果显示与对照组患儿相比，VR 游戏组患儿疼痛评分显著降低^[28]。研究显示，身临其境的 VR 互动可转移患儿的注意力，导致机体对痛觉传入信号的反应减慢，与标准组或其他分散注意力的方法相比，VR 技术能有效改善患儿包括疼痛强度、疼痛相关活动干扰、情绪干扰、睡眠干扰、压力干扰在内的多项疼痛相关指标，有望成为儿童围术期多模式镇痛和焦虑控制的辅助工具^[29-30]。

4 小结与展望

数字化医疗干预技术的进步推动了麻醉镇痛策略的多元化发展，为儿童术后疼痛管理提供了更多选择，具有良好的应用前景，但目前尚缺乏针对数字化医疗技术的高质量临床研究证据，以支持儿童术后疼痛预测、监测评估及治疗管理。因此，对于临床麻醉而言，亟待开发基于数字化技术、内容全面且具有理论基础的相关应用，在做好患者隐私保护和数据标准化的同时，从围术期疼痛预测、监测及治疗方面提供多维度高质量循证医学证据，以进一步验证该镇痛策略的有效性，促进数字化医疗干预技术在儿童围术期镇痛领域的应用和推广。值得注意的是，仅依靠数字化医疗干预技术有时并不能

完全满足儿童术后疼痛管理的需要，必要时与其他镇痛疗法相结合方可获得较为满意的镇痛效果。此外，大量复杂的外科手术、心理、社会环境及与患者相关的风险因素均可影响术后镇痛质量，尤其焦虑、抑郁、较低的自我感觉认知能力等心理因素与术后疼痛增加密切相关，且围术期心理治疗被证实可有效减轻术后疼痛。鉴于常见的心理缓解方式如转移注意力、放松和图像引导，均可通过数字化技术轻松实现，故将心理和生理疼痛治疗与数字化技术相结合，可能是数字化医疗干预发展的重要方向，有望进一步减轻患儿术后疼痛、提高术后镇痛效果。相信随着数字化医疗技术的不断创新和发展，其将会为儿童术后疼痛的管理带来更多机遇。

作者贡献：陈斐负责文献收集、论文撰写；张羽冠负责论文修订；朱波负责拟定写作思路，指导论文撰写并最终定稿。

利益冲突：所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

[1] Cachemaille M, Grass F, Fournier N, et al. Pain intensity in the first 96 hours after abdominal surgery: a prospective cohort study [J]. *Pain Med*, 2020, 21 (4): 803-813.

[2] Elshazly M, Shaban A, Gouda N, et al. Ultrasound-guided lumbar erector spinae plane block versus caudal block for postoperative analgesia in pediatric hip and proximal femur surgery: a randomized controlled study [J]. *Korean J Anesthesiol*, 2023, 76 (3): 194-202.

[3] Aulenkamp J L, Mosch L, Meyer-Frießem C H, et al. Application possibilities of digital tools in postoperative pain therapy [J]. *Schmerz*, 2023, 37 (4): 234-241.

[4] Lin B Y, Wu S J. Digital transformation in personalized medicine with artificial intelligence and the Internet of medical things [J]. *OMICS*, 2022, 26 (2): 77-81.

[5] Zhou Y D, Wang F, Tang J, et al. Artificial intelligence in COVID-19 drug repurposing [J]. *Lancet Digit Health*, 2020, 2 (12): e667-e676.

[6] Pomari E, Piubelli C, Perandin F, et al. Digital PCR: a new technology for diagnosis of parasitic infections [J]. *Clin Microbiol Infect*, 2019, 25 (12): 1510-1516.

[7] Liu K P G, Tan W L B, Yip W L J, et al. Making a traditional spine surgery clinic telemedicine-ready in the “new normal” of coronavirus disease 2019 [J]. *Asian Spine J*, 2021, 15 (2): 164-171.

[8] Bera K, Schalper K A, Rimm D L, et al. Artificial intelligence in digital pathology—new tools for diagnosis and preci-

- sion oncology [J]. *Nat Rev Clin Oncol*, 2019, 16 (11): 703-715.
- [9] Dang A, Arora D, Rane P. Role of digital therapeutics and the changing future of healthcare [J]. *J Family Med Prim Care*, 2020, 9 (5): 2207-2213.
 - [10] 刘子嘉, 黄宇光, 罗爱伦. 麻醉与加速术后康复 [J]. *中华麻醉学杂志*, 2016, 36 (8): 909-912.
Liu Z J, Huang Y G, Luo A L. Anesthesia and accelerated postoperative rehabilitation [J]. *Chin J Anesthesiol*, 2016, 36 (8): 909-912.
 - [11] Pan S, Rong L Q. Mobile applications in clinical and perioperative care for anesthesia: narrative review [J]. *J Med Internet Res*, 2021, 23 (9): e25115.
 - [12] Makhoul M M, Garibay E R, Jenkins B N, et al. Postoperative pain: factors and tools to improve pain management in children [J]. *Pain Manag*, 2019, 9 (4): 389-397.
 - [13] Richardson P A, Harrison L E, Heathcote L C, et al. mHealth for pediatric chronic pain: state of the art and future directions [J]. *Expert Rev Neurother*, 2020, 20 (11): 1177-1187.
 - [14] Lalloo C, Shah U, Birnie K A, et al. Commercially available smartphone apps to support postoperative pain self-management: scoping review [J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2017, 5 (10): e162.
 - [15] 朱剑钊, 倪坤, 朱慧杰, 等. 术前焦虑与围术期不良事件相关性的研究进展 [J]. *临床麻醉学杂志*, 2022, 38 (5): 536-539.
Zhu J K, Ni K, Zhu H J, et al. Research advances of correlation between preoperative anxiety and perioperative adverse events [J]. *J Clin Anesthesiol*, 2022, 38 (5): 536-539.
 - [16] Wood M D, Correa K, Ding P J, et al. Identification of requirements for a postoperative pediatric pain risk communication tool: focus group study with clinicians and family members [J]. *JMIR Pediatr Parent*, 2022, 5 (3): e37353.
 - [17] Niu T C, Liu M J, Fang Y, et al. Post-operative pain in children: comparison of pain scores between parents and children [J]. *J Paediatr Child Health*, 2023, 59 (8): 943-947.
 - [18] 李玉静. 基于 Gabor 小波变换和 LBP 结合的新生儿疼痛表情识别研究 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2014.
Li Y J. Neonatal pain expression recognition based on Gabor wavelet and local binary pattern [D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2014.
 - [19] Sun T, West N, Ansermino J M, et al. A smartphone version of the Faces Pain Scale-Revised and the Color Analog Scale for postoperative pain assessment in children [J]. *Paediatr Anaesth*, 2015, 25 (12): 1264-1273.
 - [20] Aydin AI, Özyazıcıoğlu N. Assessment of postoperative pain in children with computer assisted facial expression analysis [J]. *J Pediatr Nurs*, 2023, 71: 60-65.
 - [21] Rawe I M, Lowenstein A, Barcelo C R, et al. Control of postoperative pain with a wearable continuously operating pulsed radiofrequency energy device: a preliminary study [J]. *Aesthetic Plast Surg*, 2012, 36 (2): 458-463.
 - [22] Manickam P, Mariappan S A, Murugesan S M, et al. Artificial intelligence (AI) and Internet of medical things (IoMT) assisted biomedical systems for intelligent healthcare [J]. *Biosensors (Basel)*, 2022, 12 (8): 562.
 - [23] 中华医学会麻醉学分会“智能化病人自控镇痛管理专家共识”工作小组. 智能化病人自控镇痛管理专家共识 [J]. *中华麻醉学杂志*, 2018, 38 (10): 1161-1165.
Chinese Society of Anesthesiology Task Force on Management of Artificial Intelligent Patient-Controlled Analgesia. Expert consensus on management of artificial intelligent patient-controlled analgesia [J]. *Chin J Anesthesiol*, 2018, 38 (10): 1161-1165.
 - [24] Wang R, Wang S S, Duan N, et al. From patient-controlled analgesia to artificial intelligence-assisted patient-controlled analgesia: practices and perspectives [J]. *Front Med (Lanshan)*, 2020, 7: 145.
 - [25] 王韶双, 段娜, 李小刚, 等. 智能化病人自控镇痛对术后镇痛患者不良反应与满意度的影响 [J]. *广东医学*, 2020, 41 (11): 1097-1100.
Wang S S, Duan N, Li X G, et al. Effects of artificial intelligent patient-controlled analgesia on the adverse reactions and satisfaction for postoperative patients [J]. *Guangdong Med J*, 2020, 41 (11): 1097-1100.
 - [26] Haisley K R, Straw O J, Müller D T, et al. Feasibility of implementing a virtual reality program as an adjuvant tool for peri-operative pain control; results of a randomized controlled trial in minimally invasive foregut surgery [J]. *Complement Ther Med*, 2020, 49: 102356.
 - [27] Ding L Y, Hua H X, Zhu H F, et al. Effects of virtual reality on relieving postoperative pain in surgical patients: a systematic review and meta-analysis [J]. *Int J Surg*, 2020, 82: 87-94.
 - [28] Xiang H, Shen J B, Wheeler K K, et al. Efficacy of smartphone active and passive virtual reality distraction vs standard care on burn pain among pediatric patients: a randomized clinical trial [J]. *JAMA Netw Open*, 2021, 4 (6): e2112082.
 - [29] Olbrecht V A, O'Connor K T, Williams S E, et al. Transient reductions in postoperative pain and anxiety with the use of virtual reality in children [J]. *Pain Med*, 2021, 22 (11): 2426-2435.
 - [30] Arane K, Behboudi A, Goldman RD. Virtual reality for pain and anxiety management in children [J]. *Can Fam Physician*, 2017, 63 (12): 932-934.

(收稿: 2023-09-11 录用: 2023-10-09)

(本文编辑: 董 哲)