

移动智能技术在糖尿病足患者自我管理中的应用进展

王小叶¹, 安俊红², 刘倩¹, 任琴¹, 高瑞琴¹, 范丽红¹

(1.山西医科大学 护理学院, 山西 太原 030001;

2.山西医科大学第一医院 整形美容烧伤外科, 山西 太原 030000)

糖尿病足(diabetic foot, DF)是指初诊或者已明确诊断的糖尿病患者,足部出现感染、溃疡或组织破坏,通常伴有神经病变和(或)周围动脉病变,目前已成为全球非创伤性下肢截肢的主要原因^[1]。有数据^[2-3]显示,全球每年约有910~2610万糖尿病患者发生DF,每2秒会有1例溃疡出现,每19秒就有1次截肢发生。有效的自我管理行为可以延缓足部恶化,避免85%的截肢事件^[4]。而DF患者通常受伤口症状困扰、行动不便、认知缺乏等因素导致自我管理能力不足^[5]。移动智能技术是指通过各种新型智能工具和无线设备以满足卫生需求和促进医疗保健的一种辅助手段^[6],近年来逐渐应用于糖尿病领域,在症状监测、疾病治疗、健康教育等方面取得了良好效果^[7]。移动智能技术以高效、便捷的优势为DF患者自我管理提供了新策略,有助于优化患者的生存结局。本文旨在对移动智能技术在DF患者自我管理中的应用形式、效果、存在的不足等进行综述,以期今后相关研究提供参考。

1 移动智能技术在DF患者自我管理中的应用形式

1.1 足部监测 对于DF患者,持续的足部自我监测对评估治疗效果、识别溃疡进展、预测愈合情况至关重要,早期的预警干预可以降低截肢率,改善临床结局^[8]。当前在DF监测领域应用较为广泛的有可穿戴设备和数字图像设备。

1.1.1 可穿戴设备 可穿戴设备基于传感器监测足部健康数据,并通过相关软件或程序进行实时分析和反馈,从更高水平的生态效度上甄别足部异常导致的细微表现^[9]。DF可穿戴设备依据监测信号(压力、温度、湿度等)划分为不同的设备类型,在穿戴形式上大多被设计为智能袜、智能鞋、智能鞋垫等日常易穿戴的物品^[10]。Siren Care是一种智能测温袜子,在跖骨、足部中点和足跟等部位内置6个温度传感器,每隔10秒读取1次足部温度,并在与蓝牙配对的手机上显示高温数值及区域^[11],突发的足部温度升高是溃疡前

兆,故利用该技术能够预测新发溃疡和伤口愈合不佳的迹象,可作为居家DF患者的足部自我筛查工具。该袜子的舒适性和易用性在Reyzelman等^[12]研究中得到验证,35例DF患者表示穿着体验感良好,在日常行走、上下楼梯等不同运动状态下也可以做到精确监测。Tang等^[13]开发了基于TRIPS传感技术的智能鞋垫,可持续监测足底压力和剪切力,并在危险情境下自动减压,避免因异常压力分布引起足部畸形和深度破坏,并及时减轻患者的痛苦。此外,为了打破单一指标监测的局限性,Moulaei等^[14]开发了一款智能鞋,可同时实现压力、湿度及温度多模式监测,以提供更全面、准确的监测数据。未来可将穿戴设备与物联网技术深度融合,通过与其他智能设备的互联互通,实现更便捷、高效的足部监测与干预。

1.1.2 数字图像设备 准确的伤口测量和评估是DF患者自我管理的重要组成部分。高质量的数字图像技术能够精确地监测到DF创面的物理参数(面积、深度等),便于患者自我评估伤口愈合情况^[15]。SilhouetteMobile™系统^[16]是一种含嵌入式数码相机和图像处理软件的手持设备,通过激光投影可快速扫描创面面积,该设备与传统标尺的相对误差精度分别为13.3%和2.3%,尤其针对不规则的DF伤口,其图像分析结果能够呈现伤口变化轨迹图,帮助患者比较和预测伤口的发展趋势及特征,从而增强治疗的信心和配合度,但该设备需要一定的拍摄技巧和充足的光线,使用场景有所局限。Pena等^[15]通过57例DF患者的伤口,评估了Wound Vue智能相机和Visitrak系统的实用性,此组合技术可实现伤口的三维结构重建,展现伤口床内不同组织区域的百分比,有助于患者更直观地了解其足部病变的严重程度,为针对性的实施自我护理提供依据。与传统的测量方式相比,数字图像设备的测量程序更精简,结果更精确,同时减少了交叉感染的风险。然而,数字图像技术只能评估到创面大小、组织类型等局部的表浅状况,对于伤口渗液量及其性质难以显现,未来有望融合更精尖的技术实现伤口微环境的多维度测量,为患者就医和后续随访提供可视化的数据支持。

1.2 敷料应用 敷料应用是治疗足部溃疡的关键

【收稿日期】 2024-06-05 【修回日期】 2024-11-05
【基金项目】 山西省科技战略研究专项(202204031401146)
【作者简介】 王小叶,硕士在读,电话:0351-4639791
【通信作者】 安俊红,电话:0351-4639791

部分,对于局部创面管理尤为重要。随着现代科技的飞速发展,伤口敷料也在不断更新迭代。智能敷料以高分子生物材料为载体,负载抗生素、生长因子等物质,通过特殊的材料结构或外界响应自主调节药物释放速率,实现对 DF 治疗进程的精准调控^[17]。Liu 等^[18]设计了一款多功能的智能水凝胶敷贴,通过加速止血、改善细胞间通讯和促进血管生成等作用,有效促进足溃疡的愈合。其次,该敷贴通过荧光传感系统直接监测伤口处的葡萄糖水平来实现间接血糖监测,方便疾病的整体管理,节省患者的时间和精力。Janus 智能敷料^[19]是可吸收 DF 创面渗出物的电子敷料,该敷料与集成了 Python-RGB 程序的智能手机相连接,可显示出敷料吸收渗液后颜色转换的 pH 信号,使患者更容易、更客观地决定何时更换敷料。这种智能敷料既保证了伤口治疗的完整性和连续性,同时相对减少敷料的更换次数,简化了患者的创面管理流程。当前,智能敷料尚处于研发阶段,国内较为少见,正逐步从实验室向临床应用过渡,将来还需要开展多中心、大样本的研究来进一步验证其有效性和安全性。

1.3 足部护理教育与康复锻炼 正确的足部自护行为和适当的足部功能锻炼是促进 DF 有效康复的核心要点。但研究^[5]表明,DF 患者普遍存在足部管理知识缺乏、依从性低和对运动锻炼的畏惧心理等问题。移动智能技术的发展为 DF 患者个性化的自我管理提供支持,有助于疾病的早期康复。

1.3.1 移动健康应用程序 移动健康应用程序(mobile health apps, MHA)是以智能设备的应用程序为载体,通过网络提供医疗服务来促进患者健康^[20]。Kilic 等^[21]开发了移动 DF 自助护理系统(m-DAKBAS),通过文本说明、动画演示、情景模拟等多元化的信息传递方式为患者提供易于理解的足部护理和康复指导。该系统还融入了即时测试功能,动态评估患者对护理知识的掌握程度,增强其疾病管理水平。Ferreira 等^[22]研制了一款网络化的 DF 足踝运动软件,包含 3 部分:足部自我评估、足部护理指导以及定制足踝运动,旨在增强肌肉、扩大活动范围并促进功能恢复,根据患者的自身情况制定个性化的康复方案,提升运动自我管理行为。除此之外,智能语音助手作为特殊的应用程序,提供着一种倾听、交流并理解患者需求的疾病管理服务,适用于行动不便、独居的 DF 患者。美国有公司设计了 Orbita Voice 程序助手^[23],该程序会以“家庭助理”的角色,为患者语音播报更换伤口敷料的详细步骤,提醒日常血糖监测及足部检查,还会在特定时间帮助照护者向患者传递信息(例如“中午提醒我妈妈做

足底操”),既减轻了照护者的负担,也能帮助 DF 患者轻松地驾驭疾病管理任务。然而,智能语音技术所提供的服务并非全能,对于坏疽或严重感染的 DF 患者,不能完全依赖智能语音的信息提示,在特定情况下仍需寻求专业的评估和治疗。

1.3.2 智能手游 近年来,电子游戏成为疾病管理的实用工具。智能手游基于网络媒介以游戏化的形式强化 DF 患者的行为教育,并通过奖惩、引导等机制激励患者积极参与足部管理。德国开发了一款智能游戏设备^[24],该设备由视频游戏和传感鞋垫两部分组成,参与者首先需要做一份关于病史知识的问卷方可顺利进入到游戏界面,视频会呈现不同的游戏场景,患者通过穿戴鞋垫来调节足底压力值,依次体验气球飞行、苹果捕捉、跳岛等游戏环节并不断积累分数,游戏结束后会有一份游戏报告,包括最终得分、运动评估及技能指导。值得注意的是,获得最佳分数需要严格遵守预定义的压力阈值,发生偏差会使游戏重新开始,间接增强了足部活动的敏捷性和协调性。Talley 等^[25]开发了一款名为“Kaizen education”的互动游戏平台,首先对患者进行提问,内容涉及多个方面(血糖控制、修剪趾甲、检查鞋类等),随后会按照预定的时间间隔进行针对性的健康教育,患者回答正确并达到预定的分数便可获得相应的奖励,以此促进患者保持健康的护理习惯。

2 移动智能技术在 DF 患者自我管理中的应用效果

2.1 提高患者自我管理的依从性 传统式的自我管理主要依靠出院前医护人员单向灌输式的健康教育,这种被动接受的方式往往导致患者依从性较低^[26]。而借助移动智能技术的干预可使 DF 患者更主动地参与自我管理。Najafi 等^[27]借助新型压敏鞋垫系统(surrosense Rx),从身体佩戴和警报响应两方面评估了患者的依从性,结果显示,相较于接收较少警报的患者,每 2 h 至少接收到 1 次警报的患者更容易坚持减缓足部压力的行为,表明监测预警功能可积极地影响自我管理行为,强化患者参与足部管理的意愿。Qin 等^[28]研究显示,与常规护理相比,应用智能手机热成像评估技术进行干预的患者,其足溃疡复发的风险降低 59%,DF 自我护理行为显著提高($P < 0.05$)。今后,医护人员可通过监测设备、应用程序等智能化产品与 DF 患者建立联系,做到持续追踪、教育及管理患者,提供更全面的医疗服务。

2.2 改善负性情绪,减轻伤残忧虑 DF 患者由于伤口长期愈合不良、活动受限等因素,容易产生焦虑、抑郁等负性情绪和对截肢的恐惧感^[29]。智能监测设备能够实时捕捉足部异常并发出预警信号,提

醒患者及时采取干预,从而有效避免病情恶化,减少因病情不确定而产生的焦虑情绪^[14]。INTELLIN 应用程序^[30]除了支持 DF 患者的日常管理,还会提供临床最新资讯和截肢的决策信息,降低患者对截肢的恐惧心理。智能手游将疾病知识和康复技能以更有吸引力和趣味性的方式呈现,沉浸式的体验有助于激发 DF 患者的积极情绪^[24]。综上,移动智能技术的发展在逐步改变患者对疾病管理的认知和态度,增强其康复的信心和动力,减轻因伤残带来的心理负担。

3 移动智能技术应用于 DF 患者自我管理中的问题和建议

3.1 患者接受度有差异,大范围推广受限制 研究^[31]表明,多数 DF 患者是老年群体,而移动智能技术恰恰存在“表层适老化”现象,即当前的数字产品未考虑老年人群特有的人力特征和健康属性而进行深层次改造,难以真正满足老年群体的实际需求^[32]。彭燕霞等^[33]对 606 名社区老年人使用移动技术的现状展开调查,结果显示,有 39.27% 的老年人缺乏使用意愿。究其原因,可能是老年人生理功能有所下降,难以突破固有思维,故在使用过程中容易出现无助和紧张感^[33]。其次,患者的受教育程度也影响自我管理水平。个人文化程度越高,其移动智能技术的焦虑水平越低,能更快掌握使用技术设备的相关知识 with 技能,从而激发健康促进行为^[34]。此外,不同背景的 DF 患者在使用智能媒介时会受到客观条件束缚,例如,行动不便的患者很难使用智能设备正确拍摄伤口图像、合并有视网膜病变的患者在智能手机阅读方面有困难等^[35],这些因素将进一步阻碍智能技术的推广和应用。将来应立足于人群特点研发简便易用的移动设备,或增设培训课程帮助患者适应信息化技术。对于有特殊需求的患者,可让家属辅助或代替患者进行设备的使用。

3.2 政策法规有待完善,数据隐私难以保障 在足部智能设备和平台连接共享的过程中,可能会存在患者信息数据的泄露、窃取、入侵等潜在风险。虽然一些移动应用和软件设有相应的安全防护和管控条例,但在保护信息的实践中仍有差距^[36];且 DF 患者普遍存在病耻感,此类患者对于自身病程隐私极为敏感^[37],信息安全性至关重要。朱光等^[38]研究表明,出于自我保护意识,患者的隐私忧虑会负向影响智能手机程序的使用意愿,这将限制智能技术的普及应用,打消 DF 患者自我管理的积极性。相关部门和机构需要制订严格的隐私保护政策,建立数据访问和授权机制,同时政府要进一步完善相关法律和监管体系,提高各类移动智能技术准入的门槛,协同保障患者的隐私安全。

3.3 智能设备成本高昂,医保覆盖不足 虽然移动智能设备在 DF 患者中的应用前景广阔,但在医疗支付方面仍面临诸多挑战。智能设备的研发和制造成本较高,导致售价不菲,对于医疗机构和患者而言都是一笔不小的经济支出。目前,我国医疗支付体系尚未完全覆盖智能医疗设备领域,医保政策在这方面的报销范围和比例上也存在不足,进一步加重了患者的经济负担^[39]。未来可以考虑将符合标准的基础智能设备纳入医疗报销范畴,同时建立新型智能产品的定价与补贴机制,将新兴技术的临床应用落地到惠民政策中,扩大覆盖范围,打破地区限制,为更多偏远地区的 DF 患者带去福音。

4 小结

移动智能技术在 DF 患者的自我管理中具有较好的应用效果。一方面,移动智能设备可实现足部监测和即时治疗,使患者更易于掌握疾病发展动态,做出合理的自我管理决策,减轻自我管理负担。另一方面,移动智能技术以教育性、趣味性的特点指导患者足部护理和康复锻炼,以间接缓解其负面情绪,促进疾病的整体管理。目前,我国移动智能技术在 DF 中的应用仍在起步阶段,应用范围不够广泛、设备成本较高、患者的接受程度和数据隐私管理等问题值得进一步考量。未来还需借鉴国外研究经验、立足人群特征探索移动智能技术在 DF 领域的多元化发展。

【关键词】 糖尿病足;智能技术;自我管理;综述

doi:10.3969/j.issn.2097-1826.2024.11.005

【中图分类号】 R473.58 【文献标识码】 A

【文章编号】 2097-1826(2024)11-0017-04

【参考文献】

- [1] NETTEN J J V, BUS S A, APELQVIST J, et al. Definitions and criteria for diabetic foot disease [J/OL]. [2024-06-01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31943705/>. DOI:10.1002/dmrr.3268.
- [2] SORBER R, ABULARRAGE C J. Diabetic foot ulcers: epidemiology and the role of multidisciplinary care teams [J]. *Semin Vasc Surg*, 2021, 34(1): 47-53.
- [3] ARMSTRONG D G, TAN T W, BOULTON A J M, et al. Diabetic foot ulcers: a review [J]. *Jama*, 2023, 330(1): 62-75.
- [4] SCHAPER N C, NETTEN J J V, APELQVIST J, et al. Prevention and management of foot problems in diabetes: a summary guidance for daily practice 2015, based on the IWGDF guidance documents [J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2017(124): 84-92.
- [5] 齐梦影, 龙飞艳, 肖倩, 等. 糖尿病足患者居家自我管理认知及体验的质性研究 [J]. *解放军护理杂志*, 2019, 36(7): 24-27.
- [6] HOWARD T, AHLUWALIA R, PAPANAS N. The advent of artificial intelligence in diabetic foot medicine: a new horizon, a new order, or a false dawn? [J]. *Int J Low Extrem Wounds*, 2023, 22(4): 635-640.
- [7] SHAN R, SARKAR S, MARTIN S S. Digital health technology and mobile devices for the management of diabetes mellitus:

- state of the art [J]. *Diabetologia*, 2019, 62(6): 877-887.
- [8] 蔡青, 杨筱曼, 袁书琪, 等. 老年糖尿病患者创面管理的最佳证据总结[J]. *护理学杂志*, 2024, 39(7): 91-95.
 - [9] OELAND G, PRIOR Y, REEVES N D, et al. Patient and provider perspective of smart wearable technology in diabetic foot ulcer prevention: a systematic review [J/OL]. [2024-06-01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34946304/>. DOI: 10.3390/medicina57121359.
 - [10] 汪怡, 袁丽, 李饶. 智能可穿戴设备在糖尿病患者足部监测中的研究进展[J]. *中国医学装备*, 2022, 19(8): 185-188.
 - [11] SRASS H, EAD J K, ARMSTRONG D G. Adherence and the diabetic foot: high tech meets high touch? [J/OL]. [2024-06-01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37571682/>. DOI: 10.3390/s23156898.
 - [12] REYZELMAN A M, KOELEWYN K, MURPHY M, et al. Continuous temperature-monitoring socks for home use in patients with diabetes: observational study [J/OL]. [2024-06-01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30559091/>. DOI: 10.2196/12460.
 - [13] TANG J, BADER D, MOSER D, et al. A wearable insole system to measure plantar pressure and shear for people with diabetes [J/OL]. [2024-06-01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36991838/>. DOI: 10.3390/s23063126.
 - [14] MOULAEI K, MALEK M, SHEIKHTAHERI A. A smart wearable device for monitoring and self-management of diabetic foot: a proof of concept study [J/OL]. [2024-06-01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33260090/>. DOI: 10.1016/j.ijmedinf.2020.104343.
 - [15] PENE G, KUANG B, SZPAK Z, et al. Evaluation of a novel three-dimensional wound measurement device for assessment of diabetic foot ulcers [J]. *Adv Wound Care (New Rochelle)*, 2020, 9(11): 623-631.
 - [16] LUCAS Y, NIRI R, TREUILLET S, et al. Wound size imaging: ready for smart assessment and monitoring [J]. *Adv Wound Care (New Rochelle)*, 2021, 10(11): 641-661.
 - [17] FARAHANI M, SHAFIEE A. Wound healing: from passive to smart dressings [J/OL]. [2024-06-01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34174163/>. DOI: 10.1002/adhm.202100477.
 - [18] LIU H, LI Z H, CHE S T, et al. A smart hydrogel patch with high transparency, adhesiveness and hemostasis for all-round treatment and glucose monitoring of diabetic foot ulcers [J]. *J Mater Chem B*, 2022, 10(30): 5804-5817.
 - [19] XU Z, FAN J L, TIAN W G, et al. Cellulose-Based pH-responsive janus dressing with unidirectional moisture drainage for exudate management and diabetic wounds healing [J/OL]. [2024-06-01]. <https://webofscience.clarivate.cn/wos/woscc/full-record/WOS:001076462200001>. DOI: 10.1002/adfm.202307449.
 - [20] 王婧婷, 郑朱婷, 董小兰, 等. 移动健康应用程序评价工具的研究进展[J]. *军事护理*, 2023, 40(2): 87-91.
 - [21] KILIC MERYEM, KARADAG A. Developing and evaluating a mobile foot care application for persons with diabetes mellitus: a randomized pilot study [J]. *Wound Manag Prev*, 2020, 66(10): 29-40.
 - [22] FERREIRA J S S P, SACCO I C N, SIQUEIRA A A, et al. Rehabilitation technology for self-care: customised foot and ankle exercise software for people with diabetes [J/OL]. [2024-06-01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31220155/>. DOI: 10.1371/journal.pone.0218560.
 - [23] BASATNEH R, NAJAFI B, ARMSTRONG D G. Health sensors, smart home devices, and the internet of medical things: an opportunity for dramatic improvement in care for the lower extremity complications of diabetes [J]. *J Diabetes Sci Technol*, 2018, 12(3): 577-586.
 - [24] MING A T, LOREK E, WALL J, et al. Unveiling peripheral neuropathy and cognitive dysfunction in diabetes: an observational and proof-of-concept study with video games and sensor-equipped insoles [J/OL]. [2024-06-01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38495786/>. DOI: 10.3389/fendo.2024.1310152.
 - [25] TALLEY M H, OGLE N, WINGO N, et al. Kaizen: interactive gaming for diabetes patient education [J]. *Games Health J*, 2019, 8(6): 423-431.
 - [26] POUWER F, PERRIN B, LAVENDER A, et al. The quest for wellness: how to optimise self-care strategies for diabetic foot management? [J/OL]. [2024-06-01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38041482/>. DOI: 10.1002/dmrr.3751.
 - [27] NAJAFI B, RON E, ENRIQUEZ A, et al. Smarter sole survival: will neuropathic patients at high risk for ulceration use a smart insole-based foot protection system? [J]. *J Diabetes Sci Technol*, 2017, 11(4): 702-713.
 - [28] QIN Q, OE M, NAKAGAMI G, et al. The effectiveness of a thermography-driven preventive foot care protocol on the recurrence of diabetic foot ulcers in low-medical resource settings: an open-labeled randomized controlled trial [J/OL]. [2024-06-01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37586286/>. DOI: 10.1016/j.ijnurstu.2023.104571.
 - [29] FAYFMAN M, SCHECHTER M C, AMOBI C N, et al. Barriers to diabetic foot care in a disadvantaged population: a qualitative assessment [J/OL]. [2024-06-01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32917487/>. DOI: 10.1016/j.jdiacomp.2020.107688.
 - [30] HAYCOCK S, CAMERON R, EDGE M, et al. Implementation of a novel mHealth application for the management of people with diabetes and recently healed foot ulceration: a feasibility study [J/OL]. [2024-06-01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36506489/>. DOI: 10.1177/20552076221142103.
 - [31] SHAO Z C, WANG Z L, BI S X, et al. Establishment and validation of a nomogram for progression to diabetic foot ulcers in elderly diabetic patients [J/OL]. [2024-06-01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37082126/>. DOI: 10.3389/fendo.2023.1107830.
 - [32] 覃朝晖, 黄文昊. “适老化”服务下的数字健康技术: 供给现状及发展策略研究[J]. *卫生软科学*, 2023, 37(10): 22-27.
 - [33] 彭燕霞, 高云飞, 雍敬敬, 等. 社区老年人对数字健康技术焦虑的现状 & 护理对策分析[J]. *中华护理杂志*, 2023, 58(11): 1345-1351.
 - [34] 熊佳铭, 余红雨, 苏瑾, 等. 老年慢性病患者移动医疗照护体验的 Meta 整合[J]. *中华护理杂志*, 2022, 57(13): 1641-1649.
 - [35] FOONG H F, KYAW B M, UPTON Z, et al. Facilitators and barriers of using digital technology for the management of diabetic foot ulcers: a qualitative systematic review [J]. *Int Wound J*, 2020, 17(5): 1266-1281.
 - [36] 李为, 沈黎, 吴繁, 等. 移动医疗 APP 隐私政策可读性及内容分析研究[J]. *医学信息学杂志*, 2022, 43(9): 25-29.
 - [37] 袁丹, 谢薇, 董画千, 等. 糖尿病患者病耻感的质性研究[J]. *中华现代护理杂志*, 2022, 28(9): 1133-1138.
 - [38] 朱光, 刘虎, 杜欣蒙. 隐私忧虑背景下的移动医疗 APP 使用意愿研究——基于三方博弈的视角[J]. *数据分析与知识发现*, 2019, 3(5): 93-106.
 - [39] 丁甜甜, 钱爱兵, 谈在祥. 国内外互联网医疗服务定价与医保支付政策对比分析[J]. *中国医院*, 2022, 26(9): 10-13.

(本文编辑: 沈园园)