

可穿戴设备在心肌梗死患者随访管理中的应用

黄宝涛

(四川大学华西医院心脏内科, 四川 成都 610041)

【摘要】 主动健康要求个体主动获得持续的健康能力, 要求慢性病患者自发和积极地关注自身健康, 参与到疾病的管理中来。然而, 常规随访手段不能满足心肌梗死患者的长期管理要求, 患者对自己生命体征的把握, 以及心血管健康状况、药物优化治疗方案和康复锻炼效果缺乏足够的了解手段。具有多种传感器的可穿戴设备为心肌梗死患者危险因素的管理、病情的监测和预警以及预后的判断提供了手段, 为患者和医生在随访期间的互相反馈架起了桥梁。未来有希望借助可穿戴设备指导患者的管理, 改善心肌梗死患者的预后。

【关键词】 可穿戴设备; 心肌梗死; 随访; 预后

【DOI】 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2022.01.005

Application of Wearable Devices in Follow-Up Management of Patients After Myocardial Infarction

HUANG Baotao

(Department of Cardiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, Sichuan, China)

【Abstract】 Active health requires healthy individuals to actively acquire the ability to maintain personal health, and requires patients with chronic diseases to pay close attention to their own health initiatives with joint participation in disease management. However, the routine follow-up procedures do not meet the demands of long-term management of patients with myocardial infarction. After hospital discharge, patients lack effective feedback models for understanding their own vital signs, cardiovascular health status, optimal drug treatment plan, and the effect of cardiac rehabilitation and exercise program. Wearable devices with a variety of sensors provide optional methods for the management of cardiovascular risk factors, disease monitoring and early warning, predicting the prognosis and building bridges between doctors and patients. In the future, there is hope that wearable devices will guide patient management and improve the outcomes of patients with myocardial infarction.

【Key words】 Wearable devices; Myocardial infarction; Follow-up; Prognosis

心血管疾病的管理需贯穿预防、治疗和随访全程, 需个人、医疗机构、社区卫生机构和社会的共同参与。急性心肌梗死患者在接受急诊冠状动脉血运重建后并非结束了疾病的治疗, 在后续生活中还面临心脏重构和心力衰竭(心衰)、心律失常、猝死、再次血运重建和再入院等风险, 因此改变生活方式及规范化的药物治疗非常重要。近年来数字技术的进步促使多种可穿戴设备涌现, 可用于患者的生命体征监测、运动管理、睡眠监测、饮食习惯及药物监测, 这为心血管疾病患者的远程和全程管理提供了可能^[1]。荟萃分析^[2]结果显示, 与常规管理相比, 利用可穿戴设备的信息并结合目标设置、虚拟社会支持、电子教育计划、实时反馈和健康日记等教育支持的管理模式, 更加有

利于慢性病患者危险因素的控制。现就如何充分发挥可穿戴设备在心肌梗死后患者管理中的优势, 对患者进行动态监测、风险预警及预测预后做一综述。

1 戒烟

吸烟是一个重要和可纠正的心血管危险因素, 戒烟可降低发生心肌梗死和缺血性卒中的风险, 且这种获益不受戒烟后体重增加的影响^[3]。在年龄 ≤ 50 岁的心肌梗死患者中, 接近一半的患者有吸烟史, 随访 11 年后, 心肌梗死后 1 年内戒烟的患者全因死亡和心血管风险较持续吸烟者降低 $> 50\%$ ^[4]。目前常用自我报告的吸烟量及习惯来估计患者的烟草依赖程度, 但评估结果不仅受患者记忆的影响, 而且无法获取吸烟深度、吸烟持续时间、每支香烟的吸烟量以及其他

基金项目: 四川省科技计划(四川省科技厅重点研发项目)(2019YFS0351)

通信作者: 黄宝涛, E-mail: baotao.huang@foxmail.com

烟草暴露的信息。可穿戴式传感器通过分析患者点烟的动作、手与嘴的相对位置、手腕的活动(腕带)、呼吸模式(胸腹带)、吸烟时呼吸的声学特点(在胸骨切迹上安置声学传感器)以及生理参数(心率和血压等)变化,或通过患者的头部或胸部佩戴的小型摄像机来观察手的变化这些方式来判断吸烟行为及后续效应^[5-6]。然而,目前传感器对吸烟行为的监测还未广泛用于临床,且受到佩戴者个人对生活方式管理的重视程度影响。尽管如此,TEXT ME 试验^[7]显示,在冠心病患者的常规随访基础上给予改善生活方式的建议、激励性的提醒和支持可显著降低随访 6 个月时患者的吸烟比例,并且提高其他心血管危险因素改善程度。监测吸烟行为并实时反馈可能有利于提高戒烟比例。

2 饮食和饮酒管理与体重控制

目前指南建议心肌梗死患者遵循近似于地中海饮食的模式。这种饮食模式对食物的种类、量、烹饪方式及食用频次作出了要求。目前可穿戴设备通过化学生物传感或物理生物传感的方式对口腔及饮食行为进行连续性的监测^[8]。一些手机应用或传感器根据食物图片和必要的标注,经过图像分割、食物识别以及尺寸估算三个程序分析食物的营养信息^[9]。带有电化学感受器和电路板的护牙套可通过唾液分析测量乳酸、尿酸、葡萄糖和胆固醇水平;水凝胶传感器放置在牙齿上,由于摄入食物的 pH 值不同,水凝胶的膨胀程度存在差异,导致传感器内部发生共振频率变化,可识别食物种类;物理传感器主要是用于监测进餐习惯,这种传感器捕捉进餐时间、持续时间、进食期间的细微动作(咀嚼、吞咽、手腕和手臂的动作)变化等信息^[8-9]。然而,由于化学感受器需佩戴在口腔中,佩戴者的舒适度可能较差,会限制其临床推广,且现有手段对饮食结构的区分度也比较有限。利用佩戴在人体上的声学(如配有麦克风的颈套)和惯性传感器(佩戴在手腕上)可用来监测饮酒活动,而嵌入惯性传感器的容器以及佩戴惯性传感器还可用来估计饮酒量^[10]。但嗜酒者接触的饮酒环境多变,监测结果可能低估实际饮酒量。可穿戴式经皮酒精浓度监测器通过连续测量经皮肤排出的乙醇来了解酒精的饮用量^[11]。由于葡萄糖等必需营养素进入人体后会引引起细胞内外液流动的变化,有一种可穿戴式的腕部装置通过感受到的生物阻抗信号反映进食情况,根据传感器信号推算能量摄入和消耗输出,可估计能量和营养素的摄取,然而其准确性及实用性仍需进一步验证^[12]。可穿戴式相机可用于监测人们在日常活动中不经意的进食和使用饮料等习惯,能为人群找到改善

饮食习惯的靶点提供帮助^[13]。可穿戴相机是当前可能规模应用于心肌梗死后患者饮食管理的手段,它能记录患者真实生活状态中的进食细节,并可对采集的图像进行自动归类,但目前仍缺乏其在冠心病管理中的应用研究。一项研究^[14]显示,应用可穿戴设备反馈减重信息未能提高控制体重的效能。IDEA 试验将体质量指数 25~40 的参与者分为使用可穿戴设备监测饮食和体力活动的强化干预组和规定了低热饮食和增加体力活动等内容的常规干预组,结果显示,随访到 24 个月时,与常规干预组相比,强化干预组体重降低更少,表明可穿戴设备未在传统控制体重策略基础上提供额外获益。这项研究结果提示后续需改进应用策略,利用可穿戴设备改善生活行为,促进危险因素的控制。

3 运动康复治疗

心肺康复锻炼可降低冠状动脉介入治疗术后全因死亡风险,降低再入院率,增加药物依从性,改善生活质量^[15]。在心脏康复参与者中使用可穿戴活动跟踪器可提高参与者的每日步数及有氧运动能力^[16]。UP-STEP ACS 研究^[17]计划评估 Fitbit Charge 2 体力活动监测设备对发生过急性冠状动脉综合征的患者 6 分钟步行试验改善的效果,以及对心血管危险因素、情绪、生活质量和康复治疗依从性的影响。一项纳入 34 项临床试验,共 3 793 例有糖尿病、糖尿病前期、肥胖或心血管疾病患者的荟萃分析^[18]结果显示,使用加速度计、运动跟踪器或计步器等可穿戴设备能显著增加 15 周随访的体力运动量,如果可穿戴设备联合专业人士面对面的咨询,将进一步提高运动量。就性别来看,使用可穿戴设备改善运动量在男性中的效果更为显著。

4 恢复活动

体力活动的改变反映了心肌梗死患者的疾病状态是处于稳定期、恶化期还是好转期。体力活动明显降低的患者发生心衰再入院或死亡的风险更高^[19]。研究发现,在患者的可穿戴式除颤器对持续性室性心律失常产生干预的前 2 周,可观察到其体力活动的降低。因此,对于猝死高危患者,如果使用可穿戴设备监测到其体力活动的持续降低,将有助于发现近期可能出现的心脏骤停等恶性心律失常事件^[20-21]。可穿戴设备还可用于睡眠质量监测,睡眠中断次数增加与长期随访中心衰的发生相关。因此可通过分析白天小憩与夜间睡眠质量等参数,预测心肌梗死患者未来发生心衰的风险^[22]。

REALiSM-HF^[23]是一项正在进行的研究,使用可穿戴设备监测心衰住院患者的日常体力活动情况,并

观察可穿戴设备监测的数据与患者报告的结局以及包括生物标志物、6 分钟步行试验、生活质量评分和超声心动图参数之间的关系。可穿戴式相机可对患者的生活方式进行监督,提高自我管理效能。可穿戴式相机可置于患者胸前高度的位置,捕捉患者的饮食摄入、体力活动、日常生活活动或久坐等行为,这为自我报告日志补充了可靠信息^[24]。一项小样本研究^[25]让心衰患者佩戴 1 个月小型可穿戴相机,每 30 s 拍摄一次精致图像,利用人工智能技术,自动将这些图像进行分类,确定系统是否具备可识别体力活动、药物管理、饮食摄入以及膳食准备等日常活动的能力。研究发现,可穿戴式相机对饮食摄入的图像识别精度最高,其次是膳食准备和体力活动。利用这项技术可能对心肌梗死患者的长期自我管理提供帮助,这种管理模式对患者预后会产生何种影响仍需观察。

5 血压控制

可穿戴式血压监测仪能评估心肌梗死患者 24 h 及白天和夜间的平均血压、昼夜节律、睡眠血压以及血压变异性。它可使患者在最小的压力状态和最接近日常生活的真实状态下频繁地进行血压测量。通过增加不同环境状态下血压测量频次,可穿戴设备能提高高血压的筛查效率,减小对血压测量技能的依赖,便于发现预后不良的血压表型(如隐匿性高血压或血压变异性异常),促进患者积极参与自我管理,提高治疗依从性,减少医疗支出,且可用来预测未来心血管不良事件^[26-28]。

6 药物治疗依从性

规律使用心肌梗死及心衰二级预防药物,并按时准确地滴定药物剂量与心肌梗死患者的预后相关^[29]。心肌梗死患者不仅要规律地服用能改善预后的心血管药物,而且还需对地高辛和华法林等可能发生中毒或不良反应的药物加强监测。此外,由于个体基因型的差异,患者对氯吡格雷等药物代谢可能存在不同反应。可穿戴设备可以皮肤贴片、眼镜或戒指等形式通过对汗液、唾液和眼泪等体液检测药物浓度,更加省时,以较少的花费且不依赖于实验室的大型器械等优势对患者的依从性进行管理^[30]。然而,目前该项技术主要应用于毒物筛查等领域,未来有待设计专门的传感器监测常用的心血管二级预防药物的血药浓度,并且确定药物浓度与临床终点的关系。除了化学传感器外,还有研究设计了一种可穿戴式惯性传感器佩戴于手腕上,该设备探测患者吃药时扭开药瓶帽和把药从手上放到嘴里两个阶段的动作,并且设定了两个动作的先后顺序,用于监测患者是否规律服药^[31]。这种技术监测的前提是患者使用统一造型外观的药瓶,对

于需服用多种心血管药物的患者,如何区分服用药物种类及剂量的问题仍待解决。

7 随访管理中的综合应用

一项研究^[32]观察了利用包含可穿戴式手表、血压监测设备及手机应用程序在内的数字健康干预手段对急性心肌梗死患者 30 d 内再入院的影响。这项数字干预手段以指南的建议为标准,通过患者对冠心病二级预防药物使用每日打卡、使用可穿戴设备监测患者的生命体征及运动追踪、推送冠心病治疗的教育资料以及在线与医生互动或预约门诊等形式对心肌梗死患者进行管理。选用历史人群作为对照,研究发现,使用数字健康干预手段的患者自我管理效能更高。校正混杂因素后,使用数字健康干预手段的心肌梗死患者 30 d 内因各种原因再入院的风险降低约一半。LINK-HF 研究^[33]使用一次性多传感器贴片连续对心衰患者进行监测,预测心衰患者的再入院风险。研究将贴片放置在患者胸部记录其生理数据,该贴片可收集连续的心电图波形、三轴加速度测量数据、皮肤阻抗、皮肤温度、运动与体位等信息。数据通过智能手机持续上传到云分析平台,利用机器学习设计一个算法来预测心衰的恶化。研究纳入 100 例好转出院的心衰患者,分析平台根据患者出院时相对稳定的状态拟出一个基线模型,根据稳定状态的基线模型与实际监测值之间的差异大小设定触发临床报警的阈值。研究共观察到 24 例心衰恶化事件,该平台可预警心衰恶化,模型敏感性为 76%~88%,特异性为 85%,初始报警和再入院相距的中位时间为 6.5 d。远程家庭监测可实时地了解心衰患者的生命体征、体重、全身组织比例、体力活动和心电图信息,若多个指标出现异常,可触动失代偿报警,进而促使心血管专家采取个体化的措施,决定对患者是进行优化药物治疗、门诊随访还是建议急诊就诊。远程家庭监测的管理模式与常规随访管理相比,可减少全因死亡和再入院风险^[34]。

8 病情评估及治疗指导

心肌梗死是心衰的主要原因。心肌梗死患者出院后,约 13% 的患者在 30 d 内,20%~30% 的患者在 1 年内诊断为心衰,而且心肌梗死后心衰的发生率在出院后 1 个月内最高,之后会出现下降并稳定在年发生率 1.3%~2.2%^[35]。研究人员根据组织的水合作用引起生物阻抗变化的这个原理设计了一种可穿戴背心,评估急性失代偿性心衰患者的肺淤血程度。由于液体量增加后对电流的阻力降低,因而阻抗测值较小,根据这种原理,可动态评估患者肺淤血的进展情况^[36]。一项研究^[37]使用可穿戴式生物阻抗监测仪监

测患者的胸阻抗,根据阻抗变化将急性心衰患者分为阻抗增加组和减小组。在 1 年的随访中,与阻抗增加组相比,阻抗减小组患者全因死亡或心衰住院的风险比为 4.96。身体低垂部位的水肿是心衰患者常见的症状,但难以量化。一种测量脚踝曲度的传感器可用于心衰患者脚踝水肿的评估,与常规测量水肿部位直径的方法相比,具有更小的观察者内变异和观察者间变异,并且可实时地监测动态变化,有利于病情进展或改善的判断^[38]。一项研究^[39]为代偿性和失代偿性心衰患者佩戴了可穿戴式的心电图及心脏振动描记贴片(记录的信号代表胸壁的振动,这种振动与心脏和血液随每次心跳的变化相对应,使用微型三轴加速计测量包括头到脚、背腹侧和外侧三个方向的振动),要求患者静息站立,然后行 6 分钟步行试验,最后再站立 5 min 休息恢复。比较患者活动后和休息时的心脏振动描记信号差异,失代偿心衰患者运动前后心脏振动描记相似度高,而代偿患者的相似度低,表明失代偿患者的心脏储备功能降低。对失代偿患者的观察发现,患者从入院到出院症状改善,心脏振动的描记图相似度出现减低的变化趋势,表明患者的心脏储备功能改善。利用这种可穿戴技术,可预估心肌梗死患者心衰的发生,评估心衰的进展情况。

9 目前存在的问题

目前可穿戴设备主要应用于心血管疾病患者的生命体征监测、定量体力活动、心电活动监测以及容量评估等方面,还有许多领域已出现了新型设备,但还在临床验证阶段,需进一步的研究证实其可能对患者管理产生的影响,并提出可行的应用和管理流程。在进行技术推广前,仍有以下问题值得注意。应用可穿戴设备的主要目的是提供一个客观的监测手段并建立对患者的反馈机制,其应用还依赖于患者的主动参与,若患者的依从性不佳,则设备提供的数据可靠性也不真实;可穿戴设备需对患者的日常活动进行实时监测,患者的健康隐私如何得到保护需要考量;可穿戴设备产生的海量数据仍需用标准监测手段进行验证,且其对下游治疗及预后的影响尚需进一步评估;心肌梗死患者多数为老年患者,需要优化可穿戴设备的操作流程,提高应用的依从性;医生如何有效地在可穿戴设备产生的诸多数据中提取有效信息,需继续摸索;需明确对可穿戴设备产生的高危预警信号的处理流程,增加信息反馈及患者干预机制;未来需将多个传感器整合在一个可穿戴设备中,更好地服务于患者的管理。

主动健康的概念要求患者能自发参与到健康管理中来,这需要患者能获得直观的健康监测工具。一

方面患者能实时地把握自己的健康状况,另一方面医生能长程和全面地了解患者院外临床指标的动态改变,双方获取的信息相互形成正反馈,能更好地促进管理模式的改变。可穿戴设备为心肌梗死后患者危险因素的管理、病情的监测和预警以及预后的判断提供了可选手段,未来多个传感器集成的可穿戴设备有望为优化临床决策和改善心肌梗死患者预后提供帮助。

参考文献

- [1] Sempionatto JR, Lin M, Yin L, et al. An epidermal patch for the simultaneous monitoring of haemodynamic and metabolic biomarkers[J]. *Nat Biomed Eng*, 2021, 5(7):737-748.
- [2] Kamei T, Kanamori T, Yamamoto Y, et al. The use of wearable devices in chronic disease management to enhance adherence and improve telehealth outcomes: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Telemed Telecare*, 2020, Aug 20; 1357633X20937573. DOI: 10.1177/1357633X20937573. Epub ahead of print.
- [3] Cho JH, Kwon HM, Park SE, et al. Protective effect of smoking cessation on subsequent myocardial infarction and ischemic stroke independent of weight gain: a nationwide cohort study[J]. *PLoS One*, 2020, 15(7):e0235276.
- [4] Biery DW, Berman AN, Singh A, et al. Association of smoking cessation and survival among young adults with myocardial infarction in the partners YOUNG-MI registry[J]. *JAMA Netw Open*, 2020, 3(7):e209649.
- [5] Imtiaz MH, Ramos-Garcia RI, Wattal S, et al. Wearable sensors for monitoring of cigarette smoking in free-living: a systematic review[J]. *Sensors (Basel)*, 2019, 19(21):4678.
- [6] Cole CA, Powers S, Tomko RL, et al. Quantification of smoking characteristics using smartwatch technology: pilot feasibility study of new technology[J]. *JMIR Form Res*, 2021, 5(2):e20464.
- [7] Chow CK, Redfern J, Hillis GS, et al. Effect of lifestyle-focused text messaging on risk factor modification in patients with coronary heart disease: a randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2015, 314(12):1255-1263.
- [8] Hong W, Lee WG. Wearable sensors for continuous oral cavity and dietary monitoring toward personalized healthcare and digital medicine[J]. *Analyst*, 2021, 145(24):7796-7808.
- [9] Hassannejad H, Matrella G, Ciampolini P, et al. Automatic diet monitoring: a review of computer vision and wearable sensor-based methods[J]. *Int J Food Sci Nutr*, 2017, 68(6):656-670.
- [10] Huang HY, Hsieh CY, Liu KC, et al. Fluid intake monitoring system using a wearable inertial sensor for fluid intake management[J]. *Sensors (Basel)*, 2020, 20(22):6682.
- [11] van Egmond K, Wright CJC, Livingston M, et al. Wearable transdermal alcohol monitors: a systematic review of detection validity, and relationship between transdermal and breath alcohol concentration and influencing factors[J]. *Alcohol Clin Exp Res*, 2020, 44(10):1918-1932.
- [12] Dimitratos SM, German JB, Schaefer SE. Wearable technology to quantify the nutritional intake of adults: validation study[J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2020, 8(7):e16405.
- [13] Davies A, Chan V, Bauman A, et al. Using wearable cameras to monitor eating and drinking behaviours during transport journeys[J]. *Eur J Nutr*, 2021, 60(4):1875-1885.
- [14] Jakicic JM, Davis KK, Rogers RJ, et al. Effect of wearable technology combined with a lifestyle intervention on long-term weight loss: the IDEA randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2016, 316(11):1161-1171.

- [15] MacKinnon GE, Brittain EL. Mobile health technologies in cardiopulmonary disease[J]. *Chest*, 2020, 157(3):654-664.
- [16] Ashur C, Cascino TM, Lewis C, et al. Do wearable activity trackers increase physical activity among cardiac rehabilitation participants? A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS[J]. *J Cardiopulm Rehabil Prev*, 2021, 41(4):249-256.
- [17] Nogic J, Thein PM, Cameron J, et al. The utility of personal activity trackers (Fitbit Charge 2) on exercise capacity in patients post acute coronary syndrome [UP-STEP ACS Trial]: a randomised controlled trial protocol [J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2017, 17(1):303.
- [18] Hodgkinson A, Kontopantelis E, Adeniji C, et al. Interventions using wearable physical activity trackers among adults with cardiometabolic conditions: a systematic review and meta-analysis [J]. *JAMA Netw Open*, 2021, 4(7):e2116382.
- [19] Kelly JP, Ballew NG, Lin L, et al. Association of implantable device measured physical activity with hospitalization for heart failure[J]. *JACC Heart Fail*, 2020, 8(4):280-288.
- [20] Burch AE, Erath JW, Kutyifa V, et al. Decline in physical activity in the weeks preceding sustained ventricular arrhythmia in women[J]. *Heart Rhythm*, 2020, 17(4):283-287.
- [21] Burch AE, D'Souza B, Gimbel JR, et al. Physical activity is reduced prior to ventricular arrhythmias in patients with a wearable cardioverter defibrillator[J]. *Clin Cardiol*, 2020, 43(1):60-65.
- [22] Gao L, Lim ASP, Wong PM, et al. Fragmentation of rest/activity patterns in community-based elderly individuals predicts incident heart failure[J]. *Nat Sci Sleep*, 2020, 12:299-307.
- [23] Kramer F, Butler J, Shah SJ, et al. Real-life multimarker monitoring in patients with heart failure: continuous remote monitoring of mobility and patient-reported outcomes as digital end points in future heart-failure trials[J]. *Digit Biomark*, 2020, 4(2):45-59.
- [24] Maddison R, Cartledge S, Rogerson M, et al. Usefulness of wearable cameras as a tool to enhance chronic disease self-management: scoping review [J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2019, 7(1):e10371.
- [25] Cartledge S, Rogerson M, Singh TKR, et al. Seeing is believing: the feasibility and acceptability of using wearable cameras to enhance self-management of heart failure[J]. *Eur Heart J*, 2019, 40(suppl 1):ehz747.0094.
- [26] Kario K. Management of hypertension in the digital era: small wearable monitoring devices for remote blood pressure monitoring[J]. *Hypertension*, 2020, 76(3):640-650.
- [27] Sana F, Isselbacher EM, Singh JP, et al. Wearable devices for ambulatory cardiac monitoring; JACC state-of-the-art review[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 75(13):1582-1592.
- [28] Omboni S, Panzeri E, Campolo L. E-health in hypertension management: an insight into the current and future role of blood pressure telemonitoring[J]. *Curr Hypertens Rep*, 2020, 22(6):42.
- [29] Ivers NM, Schwalm JD, Bouck Z, et al. Interventions supporting long term adherence and decreasing cardiovascular events after myocardial infarction (ISLAND): pragmatic randomised controlled trial[J]. *BMJ*, 2020, 369:m1731.
- [30] Teymourian H, Parrilla M, Sempionatto JR, et al. Wearable electrochemical sensors for the monitoring and screening of drugs[J]. *ACS Sens*, 2020, 5(9):2679-2700.
- [31] Chen C, Kehtarnavaz N, Jafari R. A medication adherence monitoring system for pill bottles based on a wearable inertial sensor[J]. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2014, 2014:4983-4986.
- [32] Marvel FA, Spaulding EM, Lee MA, et al. Digital health intervention in acute myocardial infarction [J]. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*, 2021, 14(7):e007741.
- [33] Stehlik J, Schmalfuss C, Bozkurt B, et al. Continuous wearable monitoring analytics predict heart failure hospitalization: the LINK-HF Multicenter Study [J]. *Circ Heart Fail*, 2020, 13(3):e006513.
- [34] Nunes-Ferreira A, Agostinho JR, Rigueira J, et al. Non-invasive telemonitoring improves outcomes in heart failure with reduced ejection fraction: a study in high-risk patients[J]. *ESC Heart Fail*, 2020, 7(6):3996-4004.
- [35] Jenča D, Melenovsky V, Stehlik J, et al. Heart failure after myocardial infarction: incidence and predictors[J]. *ESC Heart Fail*, 2021, 8(1):222-237.
- [36] Cuba-Gyllenstein I, Gastelurrutia P, Riistama J, et al. A novel wearable vest for tracking pulmonary congestion in acutely decompensated heart failure[J]. *Int J Cardiol*, 2014, 177(1):199-201.
- [37] Smeets CJP, Lee S, Groenendaal W, et al. The added value of in-hospital tracking of the efficacy of decongestion therapy and prognostic value of a wearable thoracic impedance sensor in acutely decompensated heart failure with volume overload: prospective cohort study [J]. *JMIR Cardio*, 2020, 4(1):e12141.
- [38] Kim S, Iravanchi YS, Gajos KZ, et al. SwellFit: a Wearable Sensor for Patients with Congestive Heart Failure; In Proceedings of the Workshop on Interactive Systems in Healthcare (WISH), May 7, 2016 [C/OL]. San Jose, CA, 2016. <https://dash.harvard.edu/handle/1/29405813>.
- [39] Inan OT, Baran Pouyan M, Javaid AQ, et al. Novel wearable seismocardiography and machine learning algorithms can assess clinical status of heart failure patients[J]. *Circ Heart Fail*, 2018, 11(1):e004313.

收稿日期:2021-08-13

欢迎投稿 · 欢迎订阅