

移动医疗在心血管系统疾病中的应用进展

彭建军*, 南京

【摘要】 随着新型移动终端的普及和信息交互技术的飞速发展,新型的移动医疗模式应运而生,移动医疗已成为全球的发展趋势。同时,心血管系统疾病是严重影响人类健康的重要疾病之一,将移动医疗应用于心血管系统疾病中的需求日益强烈。本文将对移动医疗在心血管系统疾病中的应用进展进行综述,以期助力移动医疗在心血管系统疾病领域的进一步发展。

【关键词】 移动医疗; 心血管疾病; 综述

【中图分类号】 R 54 **【文献标识码】** A DOI: 10.3969/j.issn.1007-9572.2018.13.025

彭建军, 南京. 移动医疗在心血管系统疾病中的应用进展[J]. 中国全科医学, 2018, 21(13): 1633-1638. [www.chinagp.net]

PENG JJ, NAN J. Application of mobile health on cardiovascular diseases[J]. Chinese General Practice, 2018, 21(13): 1633-1638.

Application of Mobile Health on Cardiovascular Diseases PENG Jian-jun*, NAN Jing

Department of Cardiology, Beijing Shijitan Hospital/Peking University Ninth Clinical Medical School, Beijing 100038, China

*Corresponding author: PENG Jian-jun, Professor, Chief physician, Master supervisor; E-mail: pj1972@sina.com

【Abstract】 Mobile health has emerged as a global trend with the popularity of new mobile device and the rapid development of information exchange technologies. In the meantime, the cardiovascular disease is one of the most severe diseases affecting human health. Hence, there is a growing demand for applying mobile health to cardiovascular diseases. This article reviews the progress of applications of mobile health in cardiovascular diseases in order to boost the further development of mobile health in its clinical practice.

【Key words】 Mobile health; Cardiovascular diseases; Review

移动信息技术在进入 21 世纪后取得了令人瞩目的成就,一些功能较强又便于随身携带的新型移动终端层出不穷。而这种可以实现“实时”“无缝”连接的信息交互技术在医疗领域的应用也是遍地开花,心血管系统疾病作为影响人类健康的重要问题自然是这种移动医疗技术的重要战场^[1]。美国心脏病学会(AHA)甚至针对移动医疗在心血管疾病预防中的一些问题发表了科学共识^[2]。移动医疗总体上包含 3 个方面的内容,首先通过各种技术手段采集人体的健康信息,其次通过先进的信息传输手段将这些重要的健康信息上传网络,最后医务人员接收到这些信息后对这些信息进行分析,进而对患者的医疗活动进行反馈^[3]。因此,移动医疗的进展涉及患者信息的收集、传送和处理 3 个方面的发展,本文旨在对移动医疗在心血管系统疾病中的应用进展做一综述,以期助

力移动医疗在心血管系统疾病中的应用与发展。

1 移动医疗的定义

1.1 患者信息的收集 从某种意义上来说,准确而有效地收集患者的信息是移动医疗的灵魂,如果没有一个准确的患者的信息,那么一切方法都是徒劳无功的。而随着移动医疗装备的进步,移动医疗技术也是随之取得了巨大的发展。早期的移动医疗设备可能只能对人体的生命体征进行检测,而目前移动医疗设备能够对包括血糖、心电图(ECG)形态甚至呼吸频率、人体阻抗等参数进行检测,有些设备甚至能够对患者服用药物情况进行追踪分析^[4-7]。这些设备的发展正是移动医疗技术的核心,目前认为移动医疗设备可以分为以下几种^[8]:智能手机中健康相关的应用程序(APP),能够与智能手机进行连接的装置,可穿戴的或者无线智能装备,手持的医疗成像系统,小型的传感器相关技术。这些移动医疗设备近年来在心血管系统疾病的诊治领域取得了巨大的进步。

1.2 患者信息的传送 患者信息传送过程中,最重要的就是信息的完整性和安全性。从最初的通过装置之间的移动存储系统借助物理介质(如USB)传送信息,到目前可以应用蓝牙、有线网络、WiFi、ZigBee 协议或者近场通信(NFC)进行数

基金项目:北京市自然科学基金资助项目(7162089)

100038 北京市,首都医科大学附属北京世纪坛医院 北京大学第九临床医学院心血管内科

*通信作者:彭建军,教授,主任医师,硕士生导师;

E-mail: pj1972@sina.com

据的传送,这些都是为了保证数据的完整性。而安全性方面,目前信息的传送大部分是通过加密的手段进行的^[9]。

1.3 患者信息的处理 当患者的信息传送到网站或者工作站以后,这些信息储存在服务器或者云端,当医务人员或者其他人员想要进行查阅的时候可以随时进行查阅。接下来的工作就是对患者的信息进行归纳、处理。参与到移动医疗当中的医务人员或者经过培训的人员需要对这些信息进行分析,进而对患者的病情做出评估、调整甚至救治。人工智能(AI)是目前具有良好应用前景的方式之一,AI可以通过计算机系统迅速地识别海量信息,同时对患者提供的信息中可能的原因进行分析,并且提供相应的解决方案,国际商业机器(IBM)公司的Watson系统就是较好的例子。AI处理问题的客观性和准确性都是移动医疗技术所需要的特征,同时AI可以24 h工作,这对于危重症患者或者具有潜在死亡风险的患者尤为重要^[10]。

2 移动医疗在心血管系统疾病中的应用现状

随着移动医疗技术的进步(主要是移动医疗设备的发展),越来越多的人参与到移动医疗活动中,同样的移动医疗的“适应证”也逐渐扩大。首先从移动医疗的人群来说,目前移动医疗已经从既往的患者、医务人员两方面逐渐扩大到患者、患者家属、健康人群、医务人员、医疗相关人员甚至医疗保险系统人员等多方面^[11]。另外,移动医疗的解决方向也从最初的疾病诊断、治疗逐渐扩大为疾病的预防、诊断、病情评估、治疗效果、后续管理效果等,反映到心血管系统疾病可能就扩大到生活方式的改善(体质量、烟草等)、慢性稳定性疾病的管理、急性心血管事件的救治、心脏康复(CR)等方面。同时随着移动医疗设备的进步,目前已经从最初的生命体征的监测,逐步发展到包括血脂、血糖等生物学指标的监测,甚至能够通过心率变异性等方面对心脏自主神经进行研究^[12-15]。总之,移动医疗技术在心血管系统疾病中的“适应证”是逐步扩大的,应用人群也是逐步扩大的。

2.1 急性冠脉综合征(ACS) ECG在ACS的评估中起着重要的作用,SCHWAAB等^[16]评估了通过电话传送12导联ECG的准确性,研究共纳入了120例患者,结果提示与传统12导联ECG比较,通过电话传送的ECG在心律失常方面的准确性高达99%。VIVEK等^[17]发现24 h的远程心电系统有助于农村地区急性心肌梗死患者的治疗。KHONSARI等^[18]评估智能手机中的通讯应用程序在传递心电图在ST段抬高型心肌梗死(STEMI)患者诊治中的作用,该研究共纳入了174例STEMI患者,结果发现通过通讯软件传递心电图能够明显减少非工作日STEMI患者的治疗延误,同时能够明显改善这些患者的长期和短期预后。

2.2 高血压 住院患者尤其是入住重症监护室的患者经常需要对血压进行监测,近年来无创血压监测和无线传输系统在该类患者中的应用逐渐增加。Sotera Visi Mobile®系统是一种便携装置,该装置能够通过一系列生物传感器来收集患者血压、皮肤温度和血氧饱和度。该系统能够将患者的信息以加密的形式传递给医务人员,并且如果患者的生命体征,如血压,发生明显的改变,那么系统将立刻通过医务人员的智能手机

进行危急值的报警。这种装置在不久的将来可能会扩大到门诊甚至家庭护理的患者中^[19]。Scanadu Scout是类似于Sotera Visi Mobile®系统的一种装置,但其主要是在家庭中应用,目前该装置正在进行上市前的临床试验。该装置能够在10 s之内将患者的血压、脉搏、呼吸频率以及皮肤温度上传到患者的智能手机中并且存储下来,所有的记录都是可以溯源的,并且可以被医务人员进行分析、评估的^[20]。STERGIOU等^[21]研究发现Microlife Watch的家庭血压监测装置测量的血压值与诊室血压具有良好的可比性,但测量肥胖患者的血压准确性较差^[22]。MAGID等^[23]比较了Heart 360网络血压监测平台联合家庭自测血压与常规降压治疗这两种方法,研究共纳入了348例患者,经过6个月的随访发现,前者血压达标率较高,同时降压幅度较大。DAMIAN等^[24]纳入了233例门诊高血压患者,结果发现通过短信进行互动的患者血压控制情况明显好于传统治疗组患者,表明短信这一技术也可以有效地帮助患者控制血压。

2.3 心律失常

2.3.1 即刻心电图(iECG) 针对心律失常的研究是移动医疗研究中较为热点的内容之一。iECG是一种含有可以无线传输心律电极的手机壳,当将这种手机壳放置于左右手掌中的时候,就会组成产生30 s的I导联心电图,这种实时的心电信号在转化为声音信号后被智能手机的话筒所捕获。目前这种装置已经经过美国和欧洲批准上市用于心房颤动(AF)的诊断^[25]。LOWRES等^[26]研究同样证明了该系统对评估心脏外科手术后发生AF的临床价值,研究共纳入了42例接受心脏手术的患者,术后随访4周,通过iECG系统评估发生AF的情况,研究发现iECG能够有效地评估心脏外科手术后发生AF的情况。ORCHARD等^[27-28]发现iECG系统能够有效地监测接受流感疫苗注射后发生AF的情况;同时另一项这种红外信号在通过人体过程中会发生反射和散射,研究表明经培训的护士使用iECG系统也能够显著地增加全科医疗中AF患者的检出率。SARDANA等^[29]展示了一种应用在智能手机上APP,在不依赖于其他硬件的基础上,使用该APP的苹果4S手机能够有效地发现并诊断出阵发性AF,同时这种APP使用简单,患者的依从性强,在将来可能会有较好的临床应用前景。LAHDENO等^[30]设计出了仅需要智能手机就能检测AF的方法。他们的检测是以目前智能手机上均含有的加速计和陀螺仪为基础,不需要其他传感器辅助。患者只需要在感觉不舒服的时候平卧位将手机置于胸前即可进行诊断,这种解决方法同样也具有较好的应用前景,值得关注。

2.3.2 光电容积描记(photoplethysmography, PPG) PPG是通过光学技术手段对人体的组织(如手指尖)发射红外信号,这种红外信号在通过人体过程中会发生反射和散射,而这与人体内血液容积有关,因此人体的心率、血压以及情绪等均可对PPG的测量结果产生影响,PPG之前主要应用于血氧饱和度的监测,目前PPG同样被应用于心率、血压以及心搏出量等的测量^[31]。基于上述原理,目前已经有一些手机APP能够通过智能手机的照相机实现PPG检测,进而对心律失常尤其是AF进行诊断。Cardiio Rhythm是基于PPG技术研发出

来的一种智能手机应用程序,而一项纳入了1 013例伴有高血压和/或糖尿病的我国人群的研究结果提示,其对阵发性AF监测的灵敏度为92.9%,特异度为97.7%^[32]。但是该结果的读取是由经过培训的专业人士进行判读,并且该程序存在手机移动引起假阳性判读的可能性,因此大规模的推广还需要进一步的验证。FibriCheck是一款应用于苹果手机上的APP,其同样基于PPG技术进行心律失常的识别,同时FibriCheck能够将收集到的数据储存在在线平台上,这样医生能够随时随地对患者的数据进行分析,使得患者的随访更加快速紧密。目前有3项大型研究评估了FibriCheck在AF筛查中的作用,FLASH研究主要评估的是FibriCheck的诊断准确性,该研究纳入了242例年龄为65岁以上的既往有AF病史的患者,通过与标准ECG进行比较发现,FibriCheck诊断AF的灵敏度为98%,特异度为88%,准确性为93%;SMAERT-AF研究评估的是FibriCheck在院外(家庭)中以及在患者随访诊断的准确性,该研究纳入了30例患者,其中15例患者采用FibriCheck进行随访,在平均32 d的随访后发现,FibriCheck与标准心电图具有良好的一致性;DISTANT-AF研究的目的是通过完全智能化的方法对普通人群发生无症状性AF的情况进行筛查,该研究对190例普通人群发送了参与邮件,其中20名患者最终安装了FibriCheck软件并参加了该项研究,这些安装软件的人群平均进行了5 d的心律情况的随访,在整个过程中有1例患者发现存在无症状性的AF,事后的问题量表提示该软件在易操作性和使用方面表现良好^[33]。这说明了FibriCheck软件无论是作为AF的筛查还是管理工具均具有良好的应用潜力,但是由于AF的发生是年龄越大发生率越高,而智能手机在老龄患者中的应用比例又是下降的,因此如何解决这一问题也是将来的一个很重要的课题。PULSE-SMART是另外一个手机APP,其原理是通过手机的照相机来分析患者心跳的节律(准确来说是每一跳和每一跳的间隔),MCMANUS等^[34]研究发现,该APP能够有效地识别出窦性心律、室性早搏和AF,灵敏度、特异度均在90%以上。

2.3.3 MyDiagnostick MyDiagnostick是一种类似圆珠笔的仪器,患者左右手握持该仪器的两侧1 min后,仪器能够分析出心律情况,如果是正常心律,仪器就会发出绿色光,如果是AF心律,仪器就会发出红色光。DESTEGHE等^[35]评估该装置监测住院高龄患者中AF的表现,结果发现该装置的灵敏度为89.5%,特异度为95.7%。

2.3.4 AliveCor AliveCor心脏监护装置是一种口袋大小的ECG记录装置,其可以通过手机上安装的APP进行结果的分析 and 远程传送。该装置操作简便,将两根手指放置于AliveCor上后就可以进行ECG的记录。该装置目前主要用于阵发性AF的识别,SEARCH-AF研究纳入了1 000例年龄>65岁的患者,通过应用AliveCor系统来检测房性心律失常,结果发现在这部分人群中房性心律失常的发生率为7%,新诊断的AF为1.5%^[36]。有研究提示AliveCor还有助于室性心律失常的监测,该研究发现其对室性早搏的准确率为96%。研究结果提示AliveCor的灵敏度在85%以上,特异度在90%以上^[33]。该装置目前已经经过上市销售。

2.3.5 ECG Check ECG Check是另外一个经过食品药品监督管理局(FDA)批准的心律监测装置,其同样通过与智能手机连接,将患者的心律情况记录下来,同时可以将结果实时传输,有研究发现ECG Check检测出AF的灵敏度和特异度均比较理想^[37]。心电贴片监测装置也是目前应用较多的一种心电监测装置,这种单导联的心电装置放于患者的左侧胸骨旁,通过内置的芯片将模拟ECG信号转化为电信号,进而分析心律情况。目前临床上有多个经过FDA批准的贴片监测装置。Zio® Patch是一种一次性的防水的心电监测装置,一个电极片可以持续使用14 d,该装置没有任何导线,因此对人体活动的影响小。一项临床研究比较了Zio® Patch和传统24 h Holter对心律失常的检出情况,结果发现Zio® Patch比传统Holter检查能够多检测出57%的临床事件^[38]。NUVANT® Mobile Cardiac Telemetry(MCT)系统也是一种无线的心律失常监测系统,与Zio® Patch只能事后分析不同,MCT系统能够对心律失常进行实时分析,所有的临床数据均能够通过无线传输技术上传到云端^[39]。

2.3.6 REVEAL LINQ™ 长程事件记录仪 美敦力公司生产的REVEAL LINQ™长程事件记录仪是一种可植入皮下的体积就相当于1个AAA电池大小的心电监测装置,该装置目前已经通过了FDA的审批,其能够为临床医师提供长达3年的心电监测。CRYSTAL-AF研究比较了该装置和传统的心电监测系统在隐匿性卒中患者中发现AF的效果,结果发现REVEAL LINQ™长程事件记录仪发现AF的能力明显优于传统的心电监测装置^[40]。随着临床上植入心脏起搏器或者除颤仪的患者逐渐增多,有关这些仪器对心律失常的检测的研究也被人们所重视。YANO等^[41]对植入心脏起搏器的患者的每日心电图情况进行了分析,结果发现患者在植入装置后的第14、28、56、112、365 d检测到的快速性房性心律失常的比例为10%、15%、21%、28%、50%。

2.4 STEMI

2.4.1 AliveCor™ Heart Monitor 系统 对于ACS患者来说,ECG的改变对于病情的评估十分重要,尤其是对于STEMI患者来说,ECG的早期识别对于缩短再灌注治疗时间有着重要的作用,ST LEUIS研究评估了AliveCor™ Heart Monitor系统在评估STEMI的价值,研究纳入6例STEMI患者,结果发现与12导联ECG比较,AliveCor™ Heart Monitor系统具有良好的临床表现,但是这一结论仍需要大样本的临床研究加以验证^[42]。

2.4.2 Whats APP Whats APP是一款国外应用广泛的社交软件,ASTRACIOGLU等^[43]评估了该软件对农村地区STEMI患者门诊-首次球囊扩张(D2B)时间的影响,研究纳入了108例患者,其中急救人员将疑似STEMI患者的ECG通过该软件传送给介入心脏病专家,另外的患者是通过传统的急诊转诊途径进行治疗,结果发现通过Whats APP软件能够明显缩短患者D2B时间。

2.5 心力衰竭

2.5.1 Perminova CoVa 心力衰竭是目前心血管病死亡的最重要原因,传统心力衰竭的诊断通常是基于单个指标,ANAND等^[44]研究纳入了543例近期因为心力衰竭入院的左心室射血

分数 (LVEF) $\leq 40\%$ 的患者, 对这些患者进行远程监控 90 d, 该研究提出了预测患者因为心力衰竭再次入院的多指标的诊断方法, 这种方法包括患者的心率、呼吸频率、活动耐力, 甚至包括患者的全身阻抗, 该研究的预测灵敏度为 63%, 特异度高达 92%。Perminova CoVa 是一种类似于项链的装置, 其能够测量患者的胸壁阻抗、心率、心率变异性及呼吸频率, 通过分析这些参数能够指导患者的 CR, 目前评估该装置对心力衰竭的长期管理的临床试验正处于研究阶段^[45]。

2.5.2 远程医疗监测心力衰竭研究 (TIM-HF) TIM-HF 纳入了 165 例心力衰竭患者, 随访 12 个月后, 研究发现远程医疗监测可行性良好, 且能够取得良好的临床效果^[46]。SPAN-CHF II 研究比较了通过心率来调整心力衰竭治疗的仪器与常规治疗比较的效果, 该研究的终点事件为 3 个月内因为心力衰竭入院率, 共纳入了 188 例患者后, 通过 3 个月的随访发现这种治疗方案能够明显降低心力衰竭患者的再入院率^[47]。

2.5.3 MyHeart 系统 MyHeart 系统是减少心力衰竭患者住院和在家治疗差异的远程医疗系统, 该系统能够通过对患者的心率、血压、血糖等数据进行无线传送, 进而通过患者手机中安装的客户端 APP 将数据上传, 进而有资质的临床医生将会根据这些数据指导心力衰竭患者的用药和 CR。该系统的主要目的是鼓励患者参与到自身疾病的管理当中, 目前评估该系统有效性的研究正在进行当中, 初步的研究结果较理想^[48]。但是值得注意的是, 虽然纳入了非随机对照试验的荟萃分析结果提示远程医疗监测能够降低心力衰竭患者的再入院率, 前瞻性随机对照试验的结论并不完全一致; SENSE-HF 研究发现远程监测不能降低心力衰竭患者的再入院率, CHAMPION 研究则发现通过植入性的无线肺动脉压力监测装置指导心力衰竭治疗能够获得良好的临床结果, 减少了心脏病协会 (NYHA) 心功能 III 级患者的再入院率^[49]。这些研究结果的差异考虑可能与应用远程医疗的方法不同有关, 值得临床上进一步的研究和思考。

2.6 CR Care Assessment Platform (CAP) 是一种能够对接 CR 患者进行指导的系统, 该系统能够通过手机上的 APP 对患者的健康情况和活动情况进行监测, 同时通过短信以及内置的音频、视频等方式对患者进行鼓励、教育, 这个系统同时有一个网络平台, 为 CR 患者提供每周一次的指导^[50]。VARNFIELD 等^[51]研究纳入 120 例心肌梗死患者, 其中一半患者接受了传统的 CR, 另外一半患者接受 CAP 系统指导下的 CR, 随访 6 个月, 结果发现, CAP 组的患者依从性、完成率等方面明显优于传统 CR 患者。REMOTE-CR 研究基于智能手机的远程协作、以患者为中心的随机对照试验, 该研究为对照组患者提供智能手机, 然后通过智能手机与患者进行交流沟通, 指导患者的 CR, 共随访 12 周, 该研究的主要终点是训练结束后的最大氧摄取, 次级终点包括心血管危险因素 (血压、血脂、血糖等), 同时对患者的生活质量等方面也进行了评估。目前, 该研究正在进行中^[52]。

2.7 冠心病二级预防 TEXT ME 研究评估了通过短信提醒既往罹患冠心病或者心肌梗死患者进行戒烟、规范饮食和体育活动的效果, 研究共纳入了 710 例患者, 结果发现短信提醒

患者组在低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 水平、收缩压水平、体质指数及吸烟率方面均取得了较好的临床疗效^[53]。而 2016 年一篇荟萃分析同样证明了移动医疗技术能够改善冠心病患者的生活方式^[54]。

3 移动医疗在心血管系统疾病中应用的尚存问题及建议

虽然目前移动医疗技术不管是在硬件还是软件上都取得了长足的进步, 但是目前这些心血管相关的移动医疗技术还缺少大样本的真实世界研究结果, 因此目前正在进行中的若干临床试验对于评估这些技术的有效性和安全性有着重要的意义。同时, 患者对一项技术的接受度、依从性和参与度等方面存在差异, 这就需要平衡患者与医务人员的关系, 以取得最优的结果。数据的安全性也是需要注意的地方, 患者健康的相关数据在传输或者储存过程中的隐私保护涉及复杂的伦理问题, 需要得到临床医生和相关技术人员的关注。另外, 随着移动医疗技术的进步, 相关的法律问题也是值得关注的地方, 医务人员-患者的关系产生了新的改变, 如何去评估和评判这种关系及其存在的风险也是需要去解决的问题。

综上所述, 移动医疗技术发展日新月异, 在心血管系统中的应用发展更是突飞猛进, 物联网 (IoT) 和云计算等技术的进步提供了更多的工具、方法, 能够让医学与患者更好的互动, 有利于对患者的疾病进行更好的管理, 提高患者的预后, 减少心血管疾病对经济和社会的损害, 但是这些技术仍然需要大规模临床试验的验证, 同时在临床实践的涉及法律、伦理方面的问题也值得探讨。

作者贡献: 彭建军进行文章的构思、设计, 论文的中英文修订, 负责文章的质量控制及审核, 对文章整体负责, 监督管理; 彭建军、南京撰写论文。

本文无利益冲突。

参考文献

- [1] RILEY W T, RIVERA D E, ATIENZA A A, et al. Health behavior models in the age of mobile interventions: are our theories up to the task [J]. Transl Behav Med, 2011, 1 (1): 53-71. DOI: 10.1007/s13142-011-0021-7.
- [2] BURKE L E, MA J, AZAR K M, et al. Current science on consumer use of mobile health for cardiovascular disease prevention: a scientific statement from the American Heart Association [J]. Circulation, 2015, 132 (12): 1157-1213. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000232.
- [3] ENG T R. The ehealth landscape: a terrain map of emerging information and communication technologies in health and health care [M]. Princeton, N J: Robert Wood Johnson Foundation, 2004.
- [4] QUINN C C, CLOUGH S S, MINOR J M, et al. Well-doc mobile diabetes management randomized controlled trial: change in clinical and behavioral outcomes and patient and physician satisfaction [J]. Diabetes Technol Ther, 2008, 10 (3): 160-168. DOI: 10.1089/dia.2008.0283.
- [5] CHOE W C, PASSMAN R S, BRANCHMANN J, et al. A comparison of atrial fibrillation monitoring strategies after cryptogenic stroke (from the cryptogenic stroke and underlying AF trial) [J]. Am J Cardiol, 2015, 116 (6): 889-893. DOI: 10.1016/

- j.amjcard.2015.06.012.
- [6] BHAVNANI S, WAALEN J, SRIVASTAVA A, et al. Which patients? Which devices? mHealth monitoring with wearable and implantable devices in heart failure: meta analysis of randomized trials [J]. JACC, 2015, 65 (10): A1030. DOI: 10.1016/S0735-1097 (15) 61030-0.
- [7] MCMANUS R J, MANT J, HAQUE M S, et al. Effect of self-monitoring and medication self-titration on systolic blood pressure in hypertensive patients at high risk of cardiovascular disease: the TASMIN-SR randomized clinical trial [J]. JAMA, 2014, 312: 799-808. DOI: 10.1001/jama.2014.10057.
- [8] SILVA B M, RODRIGUES J J, DE LA T D, et al. Mobile-health: a review of current state in 2015 [J]. J Biomed Inform, 2015, 56 (6): 265-272. DOI: 10.1016/j.jbi.2015.06.003.
- [9] NOORI V, GUZIK P. A thousand words about cardiac mobile health [J]. Journal of Medical Science, 2014, 2 (83): 194-199.
- [10] HANSSEN A. Artificial intelligence in academic and clinical medicine; how good and how bad? [J]. Sms.hng.co.in, 2011, 12 (2): 23-28.
- [11] AHERN D K, KRESLAKE J M, PHALEN J M. What is eHealth (6): perspectives on the evolution of eHealth research [J]. J Med Internet Res, 2006, 8: e4. DOI: 10.2196/jmir.8.1.e4.
- [12] PIETTE J D, DATWANI H, GAUDIOSO S, et al. Hypertension management using mobile technology and home blood pressure monitoring: results of a randomized trial in two low/middle-income countries [J]. Telemed J E Health, 2012, 18: 613-620. DOI: 10.1089/tmj.2011.0271.
- [13] REDFERN J, USHERWOOD T, HARRIS M F, et al. A randomised controlled trial of a consumer-focused e-health strategy for cardiovascular risk management in primary care: the Consumer Navigation of Electronic Cardiovascular Tools (CONNECT) study protocol [J]. BMJ Open, 2014, 4 (2): e004523. DOI: 10.1136/bmjopen-2013-004523.
- [14] QUINN C C, SHARDELL M, TERRIN M, et al. Cluster-randomized trial of a mobile phone personalized behavioral intervention for blood glucose control [J]. Diabetes Care, 2011, 34 (9): 1934-1942. DOI: 10.2337/dc11-0366.
- [15] RD W J, TOPOL E J, STEINHUBLS R. Novel wireless devices for cardiac monitoring [J]. Circulation, 2014, 130 (7): 573-581. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.009024.
- [16] SCHWAAB B, KATALINIC A, RICHARDT G, et al. Validation of 12-lead tele-electrocardiogram transmission in the real-life scenario of acute coronary syndrome [J]. J Telemed Telecare, 2006, 12 (6): 315-318. DOI: 10.1258/135763306778558204.
- [17] VIVEK C, VIKRANT K. Tele-ECG and 24-hour physician support over telephone for rural doctors can help early treatment of acute myocardial infarction in rural areas [J]. J Telemed Telecare, 2016, 22 (3): 203-206. DOI: 10.1177/1357633X15592734.
- [18] KHONSARI S, SUBRAMANIAN P, CHINNA K, et al. Effect of a reminder system using an automated short message service on medication adherence following acute coronary syndrome [J]. Eur J Cardiovasc Nurs, 2015, 14 (2): 170-179. DOI: 10.1177/1474515114521910.
- [19] PIETTE J D, LIST J, RANA G K, et al. Mobile health devices as tools for worldwide cardiovascular risk reduction and disease management [J]. Circulation, 2015, 132 (21): 2012-2027. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.
- [20] REHMAN H, KAMAL A K, MORRIS P B, et al. Mobile health (mhealth) technology for the management of hypertension and hyperlipidemia: slow start but loads of potential [J]. Curr Atheroscler Rep, 2017, 19 (3): 12. DOI: 10.1007/s11883-017-0649-y.
- [21] STERGIOU G S, TZAMOURANIS D, PROTOGEROU A, et al. Validation of the microlife watch BP office professional device for office blood pressure measurement according to the international protocol [J]. Blood Press Monit, 2008, 13 (5): 299-303. DOI: 10.1097/MBP.0b013e3283057af6.
- [22] AZAKI A, DIAB R, HARB A, et al. Questionable accuracy of home blood pressure measurements in the obese population - validation of the microlife watch BP O3® and omron RS6® devices according to the European Society of Hypertension-International Protocol [J]. Vasc Health Risk Manag, 2017, 27 (13): 61-69. DOI: 10.2147/VHRM.S126285.eCollection2017.
- [23] MAGID D J, OLSON K L, BILLUPS S J, et al. A pharmacist-led, American Heart Association Heart 360 Web-enabled home blood pressure monitoring program [J]. Circ Cardiovasc Qual Outcomes, 2013, 6 (2): 157-163. DOI: 10.1161/CIRCOUTCOMES.112.968172.
- [24] DAMIAN H, HARICHARAN H J, KIRSTY B, et al. Hypertension health promotion via text messaging at a community health center in south africa: a mixed methods study [J]. JMIR Mhealth Uhealth, 2016, 4 (1): e22. DOI: 10.2196/mhealth.4569.
- [25] BHAVNANI S P, NARULA J, SENGUPTA P P. Mobile technology and the digitization of healthcare [J]. Eur Heart J, 2016, 37 (18): 1428-1438. DOI: 10.1093/eurheartj/ehv770.
- [26] LOWRES N, FREEDMAN S B, GALLAGHER R, et al. Identifying postoperative atrial fibrillation in cardiac surgical patients posthospital discharge, using iPhone ECG: a study protocol [J]. BMJ Open, 2015, 5 (1): e006849. DOI: 10.1136/bmjopen-2014-006849.
- [27] ORCHARD J, LOWRES N, FREEDMAN S B, et al. Screening for atrial fibrillation during influenza vaccinations by primary care nurses using a smartphone electrocardiograph (iECG): a feasibility study [J]. Eur J Prev Cardiol, 2016, 23 (2): 13-20. DOI: 10.1177/2047487316670255.
- [28] ORCHARD J, FREEDMAN S B, LOWRES N, et al. iPhone ECG screening by practice nurses and receptionists for atrial fibrillation in general practice: the GP-SEARCH qualitative pilot study [J]. Aust Fam Physician, 2014, 43 (5): 315-319.
- [29] SARDANA M, SACZYNSKI J, ESA N, et al. Performance and usability of a novel smartphone application for atrial fibrillation detection in an ambulatory population referred for cardiac monitoring [J]. JACC, 2016, 67 (13): 844.
- [30] LAHDENO J O, HURNANEN T, IFTIKHAR Z, et al. Atrial fibrillation detection via accelerometer and gyroscope of a smartphone [J]. IEEE J Biomed Health Inform, 2018, 22 (1): 108-118. DOI: 10.1109/JBHI.2017.2688473.

- [31] RAJAGURU H, PRABHAKAR S K.A comprehensive review on photoplethysmography and its application for heart rate turbulence clinical diagnosis[J]. *Advanced Science Letters*, 2015, 21 (12): 3602–3604. DOI: 10.1166/asl.2015.6541.
- [32] CHAN P H, WONG C K, POH Y C, et al. Diagnostic performance of a smartphone - based photoplethysmographic application for atrial fibrillation screening in a primary care setting [J]. *Journal of the American Heart Association Cardiovascular & Cerebrovascular Disease*, 2016, 5 (7): e003428. DOI: 10.1161/JAHA.116.003428.
- [33] MORTELMANS C, VAN H R, VAN DER A J, et al. Validation of a new smartphone application for the diagnosis of atrial fibrillation in primary care [J]. *Europace*, 2017, 19 (suppl 3): iii16. DOI: 10.1093/ehjci/eux136.008.
- [34] MCMANUS D D, CHONG J W, SONI A, et al. PULSE-SMART: pulse-based arrhythmia discrimination using a novel smartphone application [J]. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2016, 27 (1): 51–57. DOI: 10.1111/jce.12842.
- [35] DESTEGHE L, RAYMAEKERS Z, LUTIN M, et al. Performance of handheld electrocardiogram devices to detect atrial fibrillation in a cardiology and geriatric ward setting[J]. *Europace*, 2017, 19 (1): 29–39. DOI: 10.1093/europace/euw025.
- [36] LOWRES N, NEUBECK L, SALKELD G, et al. Feasibility and cost-effectiveness of stroke prevention through community screening for atrial fibrillation using iPhone ECG in pharmacies.The SEARCH-AF study [J]. *Thromb Haemost*, 2014, 111 (6): 1167–76. DOI: 10.1160/TH14-03-0231.
- [37] GARABELLI P, STAVRAKIS S, PO S.Smartphone-based arrhythmia monitoring [J]. *Curr Opin Cardiol*, 2017, 32 (1): 53–57. DOI: 10.1097/HCO.0000000000000350.
- [38] HIGGINS S L.A novel patch for heart rhythm monitoring: is the Holter monitor obsolete? [J]. *Future Cardiol*, 2013, 9 (3): 325–333. DOI: 10.2217/fca.13.13.
- [39] ENGEL J M, MEHTA V, FOGOROS R, et al. Study of arrhythmia prevalence in NUVANT Mobile Cardiac Telemetry system patients [J]. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2012: 2440–2443. DOI: 10.1109/EMBC.2012.6346457.
- [40] PASSMAN R S, KOEHLER J K, ZIEGLER P J.Atrial fibrillation begets atrial fibrillation in cryptogenic stroke patients: results from the crystal-AF trial [J]. *Circulation*, 2014, 130: A13915.
- [41] YANO Y, GREENLAND P, LLOYDJONES D M, et al. Simulation of daily snapshot rhythm monitoring to identify atrial fibrillation in continuously monitored patients with stroke risk factors [J]. *PLoS One*, 2016, 11 (2): e0148914. DOI: 10.1371/journal.pone.0148914.
- [42] MUHLESTEIN J B, LE V, ALBERT D, et al. Smartphone ECG for evaluation of STEMI: results of the ST LEUIS pilot study [J]. *Journal of Electrocardiology*, 2015, 48 (2): 249–259. DOI: 10.1016/j.jelectrocard.2014.11.005.
- [43] ASTRACIOGLU M A, SEN T, KILIT C, et al. Time-to-reperfusion in ST-segment elevation myocardial infarction undergoing interhospital transfer using smartphone and Whats App messenger: a Pilot study [J]. *Am J Emerg Med*, 2015, 33 (10): 1382–1384. DOI: 10.1016/j.ajem.2015.07.029.
- [44] ANAND I S, TANG W H, GREENBERG B H, et al. Design and performance of a multisensor heart failure monitoring algorithm: results from the multisensor monitoring in congestive heart failure (MUSIC) study [J]. *J Card Fail*, 2012, 18 (4): 289–295. DOI: 10.1016/j.cardfail.2012.01.009.
- [45] BHAVNANI S P, NARULA J, SENGUPTA P P.Mobile technology and the digitization of healthcare[J]. *Eur Heart J*, 2016, 37 (18): 1428–1438. DOI: 10.1093/eurheartj/ehv770.
- [46] KOEHLER F, WINKLER S, SCHIEBER M, et al. Telemedicine in heart failure: pre-specified and exploratory subgroup analyses from the TIM-HF trial [J]. *Int J Cardiol*, 2012, 161 (3): 143–150. DOI: 10.1016/j.ijcard.2011.09.007.
- [47] KONSTAM V, GREGORY D, CHEN J.Health-related quality of life in a multicenter randomized controlled comparison of telephonic disease management and automated home monitoring in patients recently hospitalized with heart failure: SPAN-CHF II trial [J]. *J Card Fail*, 2011, 17 (2): 151–157. DOI: 10.1016/j.cardfail.2010.08.012.
- [48] LAUTER J.MyHeart: fighting cardiovascular disease by preventive lifestyle and early diagnosis [J]. *Stud Health Technol Inform*, 2005, 108: 36–42.
- [49] CLELAND J G F, COLETTA A P, BUGA L, et al. Clinical trials update from the American Heart Association meeting 2010: EMPHASIS-HF, RAFT, TIM-HF, TELE-HF, ASCEND-HF, ROCKET-AF, and PROTECT [J]. *Eur J Heart Fail*, 2011, 13 (4): 460–465. DOI: 10.1093/eurjhf/hfr015.
- [50] REBECCA F, MICHELLE A, MARIE S et al. A mobile phone-based care model for outpatient cardiac rehabilitation: the care assessment platform (CAP) [J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2010, 28 (10): 5. DOI: 10.1186/1471-2261-10-5.
- [51] VARNFIELD M, KARUNANITHI M, LEE C K, et al. Smartphone-based home care model improved use of cardiac rehabilitation in postmyocardial infarction patients: results from a randomised controlled trial [J]. *Heart*, 2014, 100 (22): 1770–1779. DOI: 10.1136/heartjnl-2014-305783.
- [52] MADDISON R, RAWSTORN J C, ROLLESTON A, et al. The remote exercise monitoring trial for exercise-based cardiac rehabilitation (REMOTE-CR): a randomised controlled trial protocol [J]. *BMC Public Health*, 2014, 14 (1): 1–8. DOI: 10.1186/1471-2458-14-1236.
- [53] CHOW C K, REDFERN J, HILLIS G S, et al. Effect of life style-focused text messaging on risk factor modification in patients with coronary heart disease: a randomized clinical trial [J]. *JAMA*, 2015, 314 (12): 1255–1263. DOI: 10.1001/jama.2015.10945.
- [54] PFAEFFLI D L, DOBSON R, WHITTAKER R, et al. The effectiveness of mobile-health behaviour change interventions for cardiovascular disease self-management: a systematic review [J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2016, 23 (8): 801–817. DOI: 10.1177/2047487315613462.

(收稿日期: 2017-10-07; 修回日期: 2018-01-12)

(本文编辑: 高俊巧)