

# 基于人工智能可穿戴设备及物联网的胸痛区域平台研究进展

王继航<sup>1,2</sup> 田进文<sup>1</sup> 王建<sup>1</sup> 郭毅<sup>1</sup> 周星儿<sup>1</sup> 郭宇婷<sup>1</sup> 付振虹<sup>3</sup> 沈明志<sup>1</sup> 刘亮<sup>1,4</sup>

(1.解放军总医院海南医院心内科,海南 三亚 572013; 2.解放军医学院,北京 100853; 3.解放军总医院第六医学中心心血管病医学部,北京 100048; 4.解放军总医院第一医学中心,北京 100039)

**【摘要】** 心血管疾病严重危害人类健康,且耗费大量医疗资源。随着人工智能可穿戴设备及物联网在医疗保健方面的迅速应用,基于电子医疗的远程监控架构在心血管疾病方面显现出了重要作用。现从心血管病流行病学、心血管病与胸痛中心、人工智能可穿戴设备、基于人工智能及物联网的胸痛区域救治平台等方面展开综述。

**【关键词】** 胸痛;可穿戴设备;物联网;人工智能;心血管疾病

**【DOI】** 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2021.06.004

## Chest Pain Area Platform Based on Artificial Intelligence Wearable Devices and Internet of Things

WANG Jihang<sup>1,2</sup>, TIAN Jinwen<sup>1</sup>, WANG Jian<sup>1</sup>, GUO Yi<sup>1</sup>, ZHOU Xinger<sup>1</sup>, GUO Yuting<sup>1</sup>, FU Zhenhong<sup>3</sup>, SHEN Mingzhi<sup>1</sup>, LIU Liang<sup>1,4</sup>

(1. Department of Cardiology, Hainan Hospital of PLA General Hospital, Sanya 572013, Hainan, China; 2. Medical School of Chinese PLA, Beijing 100853, China; 3. Medical Department of Cardiovascular Disease, The Sixth Medical Center, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100048, China; 4. The First Medical Center, PLA General Hospital, Beijing 100039, China)

**【Abstract】** Cardiovascular diseases seriously endanger human's health and consume a lot of medical resources. With the rapid application of artificial intelligence wearable devices and the internet of things in healthcare, the remote monitoring architecture based on electronic medicine has played an important role in cardiovascular diseases. The review is conducted from the aspects of cardiovascular disease epidemiology, cardiovascular disease and chest pain center, artificial intelligence wearable devices, chest pain regional treatment platform based on artificial intelligence and the internet of things.

**【Key words】** Chest pain; Wearable devices; Internet of things; Artificial intelligence; Cardiovascular diseases

心血管疾病是威胁人类健康的第一大杀手。近年来,随着人工智能可穿戴设备及物联网在医疗、健康领域的迅速应用,基于电子医疗的远程监控架构在胸痛区域平台方面显现出了重要作用。现从心血管病流行病学、心血管病与胸痛中心、人工智能可穿戴设备、基于人工智能及物联网的胸痛区域救治平台以及在未来研究中需要解决的问题及应用前景等方面展开综述。

### 1 心血管疾病与胸痛中心

心血管疾病是全世界各个年龄段人群的主要死亡原因<sup>[1]</sup>。WHO 统计,心血管疾病复发率为 89%,致残率为 53.6%,占总死亡率的 31.6%,均位居第一位,严重危害人类健康<sup>[2]</sup>。急性冠脉综合征是最常见的心

血管疾病之一,其主要症状为胸痛,据统计近 1/4 的急性冠脉综合征为 ST 段抬高心肌梗死(ST segment elevation myocardial infarction, STEMI),约 70% 急性冠脉综合征患者死亡发生在院外<sup>[3]</sup>。尽管近年来,各地胸痛中心、卒中中心等建设逐渐推开,并不断强调完善胸痛救治流程,缩短门-球扩张时间,但急性心肌梗死(acute myocardial infarction, AMI)死亡率仍持续徘徊在 10% 左右<sup>[4]</sup>。胸痛中心并未明显降低 AMI 死亡率原因在于其存在的局限性:(1)目前的胸痛网络不能解决患者从出现症状到获得医疗救治的时间延误;(2)中心运行缺乏独立资金支持;(3)网络医院与胸痛中心数据传输方式各地区不一,多采用微信等手机软

基金项目:海南省重点研发项目(ZDYF2019188, ZDYF2018118);海南省重大科技项目(ZDKJ2019012)

通信作者:刘亮, E-mail: liuliang301@263.net; 沈明志, E-mail: shenmz301@163.com

件作为院前信息传输平台,无法与院内平台衔接,存在信息安全隐患;(4)急救中心 120 救护车医疗设备配置参差不齐,归属不明确,缺乏有效的统一指挥调度;(5)目前的运行模式不能深入高危人群,无法做到及时预警;(6)在相关知识宣传以及患者教育方面仍然未普及,出院患者无法得到持续有效的康复指导和实时监测。人工智能和物联网在医疗领域的不断拓展,打破了传统医疗模式缺乏互联互通的局面,使医疗资源整合利用效率更高,为目前面临的挑战带来了新的解决方案。

## 2 人工智能可穿戴设备在心血管疾病中的应用

可穿戴设备是指通过使用者与设备的接触以获取数据,并将数据进行实时传输或存储的技术。心脏病学领域的可穿戴技术出现较早,1949 年 Holter 等<sup>[5]</sup>首次报道了使用可穿戴背包的心电图仪记录患者心电图。随着技术的发展,心脏病学可穿戴技术已经取得重大进步,通过可穿戴技术,已经可以实现实时监测、远程传输、人工智能判读结果、风险评估和预测心血管事件。

可穿戴设备主要使用机器传感器、生化传感器和光电容积描记 (photoplethysmography, PPG) 三种方式获取健康参数<sup>[6]</sup>。PPG 传感器比较常见,可以在手指、前额和耳垂等部位使用,以无创方式长期连续监测组织微血管床的血容量变化。通过 PPG 波形及特征进行分析可以获得节律、心率、血压、动脉僵硬度和心输出量等参数<sup>[7]</sup>。人工智能可以分析 PPG 信号的波峰计算出 RR 间隙,并检测出心律不齐的发生。Tison 等<sup>[8]</sup>使用 PPG 设备采集数据并通过预设的算法发现该设备对心房颤动检测的敏感性为 98%,特异性为 90.2%。一项针对心房颤动检测的对照试验 WATCH AF 中发现,搭载 PPG 的智能手表对于心房颤动的检测综合敏感性、特异性和准确率分别为 98.18%、97.43% 和 97.54%<sup>[9]</sup>。

通过将心电图的导联与柔性材料结合,可使持续的心电监测设备集成到衣服中。通过多通道滤波分析技术可规避由于体位和运动导致电极在皮肤上产生位移从而影响图像准确性的情况。Oehler 等<sup>[10]</sup>使用 14 通路心电图 T 恤记录心电图,并与标准心电图结果对比发现二者测量值非常接近。Wiklund 等<sup>[11]</sup>验证了可穿戴心电图在受试者不同体位和动作下诊断获取的心电图信息与标准心电图测量结果有高度一致性,且可穿戴心电图设备敏感性和准确率均高于 97%。对于 STEMI 的患者而言,立即再灌注治疗是最关键策略,因此 STEMI 的准确诊断对于快速有效的治疗至关重要。Hedén 等<sup>[12]</sup>通过人工智能神经网络对大量的 AMI 心

电图进行学习训练,结果显示人工智能对 AMI 心电图判读的敏感性和特异性超过心脏病专家人工判读。Goto 等<sup>[13]</sup>证实人工智能模型可以仅通过心电图预测以胸部不适为主诉的患者是否需要紧急血运重建。较多研究证实,院前心电图远程传输可有效缩短门-球扩张时间(约 1 h)并降低死亡率<sup>[14-15]</sup>。然而传统的院前传输心电图是在急救医生到达救援现场后才可能实现,并且在患者出现症状前可能出现的异常心电图也无法获取。这将导致:(1)有异常心电图但无症状时因为不能获取心电图而无法预警,不能预防事件发生;(2)患者出现症状后由于自身条件限制呼叫救护时间长短不一,失去主动呼救能力的重症患者得不到救治;(3)院前心电图获取时机只能推迟到首次医疗接触。而通过搭载人工智能可穿戴心电图可解决上述问题,可穿戴心电图实时获取数据后,判断是否需要紧急血运重建,可在患者出现症状时甚至出现症状前将异常心电图实时传输数据到心脏中心和急救中心,胸痛中心医务人员可根据心电图结果及患者症状进行判断后启动胸痛救治流程。此医疗方案不仅解决了 STEMI 患者血管开通时间延迟最严重也是最棘手的一环,即出现症状到获得医疗救治的时间,还可大大提升胸痛救治效率和范围,降低 AMI 患者死亡率。远程心电图传输除了使 STEMI 患者获益,也能在院前、院中和院后对心律失常的患者进行管理和治疗<sup>[16-17]</sup>。

其他的心脏病相关人工智能可穿戴设备,如用于监控日常活动的计步器,可对高血压、肥胖和心脏手术后等患者进行活动监测,以达到降低体重指数、血压,促进康复的作用<sup>[18-19]</sup>。一种使用可测量远程电介质传感和生物阻抗的可穿戴技术可以确定临床前血管内容积状态变化,利用该技术可对左心衰竭进行定量评估,对慢性心力衰竭患者的管理提供协助<sup>[20]</sup>。一种无袖套技术的血压计通过测量脉搏波数据并进行处理,建立脉搏传播时间和血压之间的关系模型,实现无袖套血压测量,该方式不仅避免了袖套反复充放气带来的不适,还可评估血管老化的程度<sup>[21]</sup>。

## 3 基于人工智能及物联网的胸痛区域平台

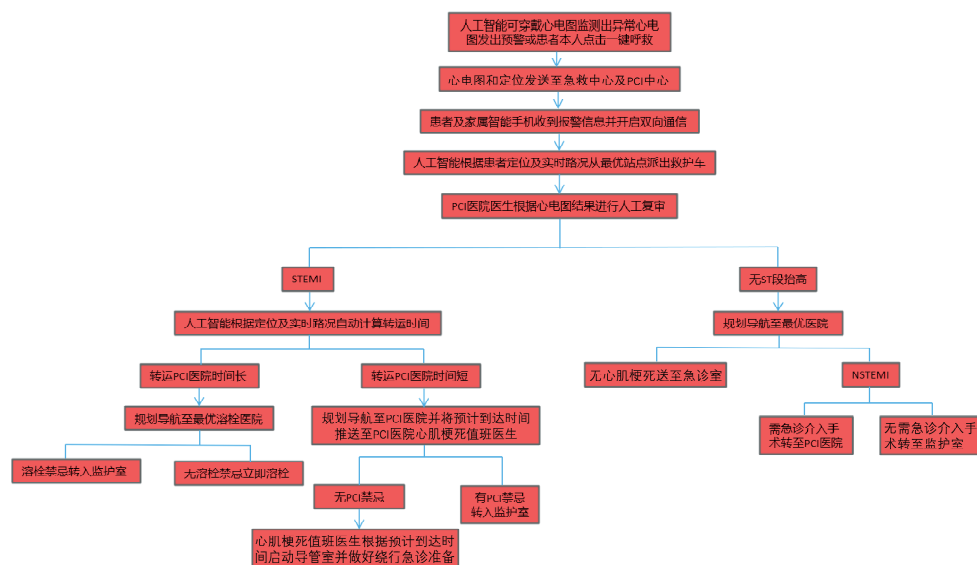
物联网是物与物之间的网络通信,具有收集和交换数据的功能,实现管理和分析互联设备所得的数据。早期的物联网医疗应用主要采用个人电脑系统来远程监测患者数据,随着物联网技术的成熟,逐渐实现了多级架构方案<sup>[22]</sup>。物联网胸痛区域平台的大数据处理基于三个层面:感知层、传输层和云端层。感知层由人工智能可穿戴设备构成,包括智能手机、可穿戴心电图等,用于采集数据。传输层由电脑、服务器网关和传输网络构成,用于收集可穿戴设备的数据并进行处理、存

储及传输。云端层为远程数据存储,负责高性能计算任务。某些人工智能可穿戴设备可集成感知层和传输层的功能<sup>[23]</sup>。

物联网胸痛区域平台通过多级架构实现患者与医生和急救中心的互联,多个研究证实,基于物联网及人工智能可穿戴设备可实现准确的心血管疾病预警<sup>[24-25]</sup>。硬件基础为:人工智能可穿戴心电图、智能手机、电脑、云端大型存储及运算单元。软件基础为:与硬件配套的患者客户端、胸痛中心医生客户端和急救中心客户端。

实现胸痛预警的流程为:使用人工智能可穿戴心电图的患者在手机或者电脑上安装患者客户端,可穿戴设备提供个人数据存储、分析,与医生沟通、预警、定位等功能。医生在安装了医生客户端的手机或者连接互联网的电脑上查看信息,急救中心可读取患者个人信息及位置信息等。通过可穿戴心电设备收集心电图

信息,并将信息实时传输至云端<sup>[26]</sup>,利用云端的大型计算机处理分析数据,过滤掉异常数据,一旦有危急值出现,将立即进行预警,预警信号会同时发送至患者及亲属手机、急救平台和心脏中心医院的值班医生,急救平台获取患者位置信息后,人工智能根据实时路况和派车平台距离自动计算患者到达最近的经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)医院和可溶栓医院的时间,根据计算结果智能选择最优选项及路线并启动急救流程;心脏中心的值班医生通过平台与患者或家属视频或语音通话,告知病情并获取知情同意,根据急救中心自动推送的实时位置信息和预计到达时间启动导管室,并根据平台内的患者信息办理患者入院相关手续(流程图见图1)。在院中以及出院后可通过此流程实现胸痛患者的实时监测与预警,实现以患者为中心的闭环式管理。



注:NSTEMI:非ST段抬高心肌梗死。

图1 基于人工智能可穿戴设备及物联网的胸痛区域平台预警流程

#### 4 问题及应用前景

基于人工智能与物联网的医疗模式仍面临着诸多风险与挑战。可穿戴设备获取数据受到诸多因素影响,准确性较传统医疗设备差;此外远程获取患者知情同意仍然是一个法律边缘问题,并且通过人工智能可穿戴设备获取的信息进行的诊断和治疗是否合规在法律及指南上未明确;电子数据的保密性和安全性也有待加强,互联网云端信息与医院信息系统因为网络安全问题也暂时无法实现对接。尽管如此,基于人工智能与物联网的医疗模式是未来的发展趋势,通过区域平台的构建,针对医疗保健的物联网方案从简单的架构进化为集收集、传输和可视化功能为一体,并提供分

析、识别和决策的复杂人工智能系统,在未来的发展中,区域平台将不仅针对胸痛患者,甚至已经或即将扩展面向其他急性心脑血管病预警救治和慢性疾病的管理,最终将实现预测、预防、个性化和智能化医疗保健模式。

#### 参考文献

- [1] Townsend N, Wilson L, Bhatnagar P, et al. Cardiovascular disease in Europe: epidemiological update 2016[J]. Eur Heart J, 2016, 37(42): 3232-3245.
- [2] Balakumar P, Maung UK, Jagadeesh G. Prevalence and prevention of cardiovascular disease and diabetes mellitus[J]. Pharmacol Res, 2016, 113(Pt A): 600-609.
- [3] Benjamin EJ, Muntner P, Alonso A, et al. Heart disease and stroke statistics-2019 update: a report from the American Heart Association[J]. Circulation,

- 2019, 139(10):e56-e528.
- [4] Kim YH, Her AY, Rha SW, et al. Five-year major clinical outcomes between first-generation and second-generation drug-eluting stents in acute myocardial infarction patients underwent percutaneous coronary intervention[J]. *J Geriatr Cardiol*, 2018, 15(8):523-533.
  - [5] Holter NJ, Generelli JA. Remote recording of physiological data by radio[J]. *Rocky Mt Med J*, 1949, 46(9):747-751.
  - [6] Yetisen AK, Martinez-Hurtado JL, Ünal B, et al. Wearables in medicine[J]. *Adv Mater*, 2018, 30(33):e1706910.
  - [7] Allen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement[J]. *Physiol Meas*, 2007, 28(3):R1-R39.
  - [8] Tison GH, Sanchez JM, Ballinger B, et al. Passive detection of atrial fibrillation using a commercially available smartwatch[J]. *JAMA Cardiol*, 2018, 3(5):409-416.
  - [9] Bashar SK, Han D, Hajeb-Mohammadipour S, et al. Atrial fibrillation detection from wrist photoplethysmography signals using smartwatches[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1):15054.
  - [10] Oehler M, Schilling M, Esperer HD. Capacitive ECG system with direct access to standard leads and body surface potential mapping[J]. *Biomed Tech (Berl)*, 2009, 54(6):329-335.
  - [11] Wiklund U, Karlsson M, Ostlund N, et al. Adaptive spatio-temporal filtering of disturbed ECGs: a multi-channel approach to heartbeat detection in smart clothing[J]. *Med Biol Eng Comput*, 2007, 45(6):515-523.
  - [12] Hedén B, Ohlin H, Rittner R, et al. Acute myocardial infarction detected in the 12-lead ECG by artificial neural networks[J]. *Circulation*, 1997, 96(6):1798-1802.
  - [13] Goto S, Kimura M, Katsumata Y, et al. Artificial intelligence to predict needs for urgent revascularization from 12-leads electrocardiography in emergency patients[J]. *PLoS One*, 2019, 14(1):e0210103.
  - [14] Sejersten M, Sillesen M, Hansen PR, et al. Effect on treatment delay of prehospital teletransmission of 12-lead electrocardiogram to a cardiologist for immediate triage and direct referral of patients with ST-segment elevation acute myocardial infarction to primary percutaneous coronary intervention[J]. *Am J Cardiol*, 2008, 101(7):941-946.
  - [15] Otto CM. Heartbeat: telemedicine and outcomes in patients with an acute coronary syndrome[J]. *Heart*, 2019, 105(19):1447-1449.
  - [16] Brunetti ND, de Gennaro L, Dellegrottaglie G, et al. Prevalence of cardiac arrhythmias in pre-hospital tele-cardiology electrocardiograms of emergency medical service patients referred for syncope[J]. *J Electrocardiol*, 2012, 45(6):727-732.
  - [17] Varma N, Epstein AE, Irimpen A, et al. Efficacy and safety of automatic remote monitoring for implantable cardioverter-defibrillator follow-up: the Lumos-T Safely Reduces Routine Office Device Follow-up (TRUST) trial[J]. *Circulation*, 2010, 122(4):325-332.
  - [18] Bravata DM, Smith-Spangler C, Sundaram V, et al. Using pedometers to increase physical activity and improve health: a systematic review[J]. *JAMA*, 2007, 298(19):2296-2304.
  - [19] Cook DJ, Thompson JE, Prinsen SK, et al. Functional recovery in the elderly after major surgery: assessment of mobility recovery using wireless technology[J]. *Ann Thorac Surg*, 2013, 96(3):1057-1061.
  - [20] Amir O, Azzam ZS, Gaspar T, et al. Validation of remote dielectric sensing (ReDS™) technology for quantification of lung fluid status: comparison to high resolution chest computed tomography in patients with and without acute heart failure[J]. *Int J Cardiol*, 2016, 221:841-846.
  - [21] Ng KG, Ting CM, Yeo JH, et al. Progress on the development of the MediWatch ambulatory blood pressure monitor and related devices[J]. *Blood Press Monit*, 2004, 9(3):149-165.
  - [22] Greco L, Percannella G, Ritrovato P, et al. Trends in IoT based solutions for health care: moving AI to the edge[J]. *Pattern Recognit Lett*, 2020, 135:346-353.
  - [23] Suciu G, Suciu V, Martian A, et al. Big data, internet of things and cloud convergence—An architecture for secure E-health applications[J]. *J Med Syst*, 2015, 39(11):141.
  - [24] Yahyaie M, Tarokh MJ, Mahmoodiyar MA. Use of internet of things to provide a new model for remote heart attack prediction[J]. *Telemed J E Health*, 2019, 25(6):499-510.
  - [25] Iqbal U, Wah TY, Habib Ur Rehman M, et al. Deep deterministic learning for pattern recognition of different cardiac diseases through the internet of medical things[J]. *J Med Syst*, 2018, 42(12):252.
  - [26] Rathore MM, Ahmad A, Paul A, et al. Real-time medical emergency response system: exploiting IoT and big data for public health[J]. *J Med Syst*, 2016, 40(12):283.

收稿日期:2020-09-02

(上接第 491 页)

- [28] Kwon J, Jeon K, Kim HM, et al. Deep-learning-based risk stratification for mortality of patients with acute myocardial infarction[J]. *PLoS One*, 2019, 14(10):e0224502.
- [29] Huo D, Kou B, Zhou Z, et al. A machine learning model to classify aortic dissection patients in the early diagnosis phase[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1):1-8.
- [30] Santos-Ferreira C, Baptista R, Oliveira-Santos M, et al. A 10- and 15-year performance analysis of ESC/EAS and ACC/AHA cardiovascular risk scores in a Southern European cohort[J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2020, 20(1):301.
- [31] Wu CC, Hsu WD, Islam MM, et al. An artificial intelligence approach to early predict non-ST-elevation myocardial infarction patients with chest pain[J]. *Comput Methods Programs Biomed*, 2019, 173:109-117.
- [32] Kwon JM, Kim KH, Jeon KH, et al. Artificial intelligence algorithm for predicting mortality of patients with acute heart failure[J]. *PLoS One*, 2019, 14(7):e0219302.
- [33] Zack CJ, Senecal C, Kinar Y, et al. Leveraging machine learning techniques to forecast patient prognosis after percutaneous coronary intervention[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2019, 12(14):1304-1311.
- [34] Commandeur F, Slomka PJ, Goeller M, et al. Machine learning to predict the long-term risk of myocardial infarction and cardiac death based on clinical risk, coronary calcium, and epicardial adipose tissue: a prospective study[J]. *Cardiovasc Res*, 2020, 116(14):2216-2225.
- [35] Novak R, Xiao L, Hron J, et al. Neural tangents: fast and easy infinite neural networks in python [C]. Seattle: International conference on learning representations, arXiv, 2020.

收稿日期:2020-08-25