

· 综述 ·

数字化时代下的院外心脏骤停生存链支持

赵志镒¹ 崔灏² 周泓志² 唐子人²

¹首都医科大学第三临床医学院, 北京 100020; ²首都医科大学附属北京朝阳医院
急诊科 首都医科大学北京朝阳医院急诊医学临床研究中心 心肺脑复苏北京市重点实
验室, 北京 100020

通信作者: 唐子人, Email: tangziren1970@126.com

基金项目: 首都卫生发展科研专项项目(首发 2022-1-2032); 国家自然科学基金面上项目(82072136);
北京市自然科学基金面上项目(7212045)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2023.07.029

院外心脏骤停(out-of-hospital cardiac arrest, OHCA)是严重威胁人们生命的急症之一, 发生率高, 生存率不足 10%^[1]。在我国, OHCA 每年发生约 54.4 万起, 且发病率逐年上升^[2]。19 世纪 60 年代, 现代意义上的心肺复苏技术(cardiopulmonary resuscitation, CPR)和体外除颤仪的发明使得 OHCA 的治疗成为可能。2010 年, 美国心脏协会和国际复苏联盟首次提出生存链的概念。根据心脏骤停发生地点不同, 生存链可分为院内心脏骤停和院外心脏骤停两条链。经过修订, 2020 年美国心脏协会的院外心脏骤停生存链包括以下五个步骤: 启动急诊响应, 高质量心肺复苏, 快速除颤, 高级复苏技术和康复^[3]。在数字化时代, 许多新兴技术可用于 OHCA 患者的诊疗, 包括早期识别 OHCA 发生的小型智能设备; 协助志愿者提供早期 CPR 和除颤的智能手机和手机应用(APP); 赋能临床医生和急救接线员的计算机技术和人工智能技术等。在不同的场景中, 对这些新兴技术的整合利用可能会构成改善 OHCA 患者生存率的下一个重大突破。本文将按照生存链的顺序对这些数字化技术进行综述。

1 早期识别和启动急诊响应

目前对 OHCA 的关注逐渐增多, 但在实践中, 人们还是会遇到诸多难题。例如第一目击者无法正确判断患者是否属于 OHCA。在进行正确判断后, 非专业人士也可能因为未及时进行 CPR, 无法及时获取体外自动除颤仪(automated external defibrillator, AED)等原因而耽误救治良机^[4]。即使在急救资源相对丰富的地区, 启动急诊相应也至少需要 6~7 min^[5], 随着时间的流逝, 耽误的每一分钟都会让患者的生存率下降 7%~10%^[6]。因此, 如何尽早发现可能的 OHCA, 以及如何尽快进行高质量 CPR 和快速除颤是亟待解决的问题。

1.1 数字化设备自动早期识别 OHCA

研究显示, 有大约 70% 的 OHCA 发生在患者家中, 即使并非独居, 仍有一半以上的情况没有目击者在场^[7], 为早期识别带来困难。使用检测不同生理变化的数字化便携式设备可以早期自动检测 OHCA, 通知附近的非专业人士采取措施, 甚至可以直接向急诊医疗服务系统报警^[8]。

OHCA 患者往往有既往心血管疾病史, 对于患有心脏疾病的患者, 临床医生常首选心电图这一简单有效的检查方式, 这一思路也被延续到了院外的 OHCA 早期识别中。检测心电图的设备种类繁多, 包括手持式设备、贴片式设备、可穿戴设备、智能手机和智能手表。这些设备通过对使用者进行连续的心电监控, 在检测到室颤或无脉等致命的心率失常时, 对周围的人提出警报^[9], 部分设备还可以直接启动急诊医疗服务体系(emergency medical service system, EMSS)。

除心电图变化外, 心脏骤停发生时其他的生理表现也有助于 OHCA 的早期识别。采取机器学习的方法利用 OHCA 发生现场的真实音频检测濒死呼吸, 通过手机收音设备能够对 OHCA 进行判断^[8]。通过手机摄像头捕捉面部血流信息, 并利用计算机深度学习判断血流灌注的异常能够拟合出患者心率^[10-12]。此外, 使用心震描记法, 将手机放置在胸骨上方就可以检测患者是否处于无脉状态^[13]。

在本阶段, 声纹识别、体态识别、人工智能等技术已经显现出其便利性、准确性等优势, 对应的产品正逐渐改变 OHCA 院前救治格局, 但是目前研究证据等级普遍较低, 需要进行进一步的大规模研究。

2 早期高质量心肺复苏

早期高质量 CPR 对提高患者生存率具有重要意义^[14]。无目击者在场和目击者未正确掌握 CPR 技能成为了阻碍患者生存率提高的两大困难。在数字化时代, 有多种新技术

可以解决以上痛点。

2.1 数字化技术提高 CPR 质量

CPR 质量的提高可以通过前期教育以及现场的辅助来完成。前期教育阶段通过虚拟现实 (visual reality, VR) 技术可以让初学者在更逼真的环境中进行学习, 而通过智能设备辅助和接线员指导可以提高非专业人士的 CPR 质量。

传统 CPR 教学环境封闭而安全, 与 OHCA 发生的真实环境并不相同。使用 VR 技术, 可以创造出和 OHCA 发生现实更接近的环境, 提高学员对 OHCA 的处置能力。此外, VR 教学能够让学员随时、随地、反复学习 CPR, 降低 CPR 学习成本^[15]。

智能手机和智能手表也可以帮助非专业人士进行 CPR。提前在智能手机上下载有关 APP, 在真正施救时, 将智能手机握在手中或佩戴智能手表进行按压, APP 可通过设备内置的惯性传感器检测按压的深度和频率, 并提醒使用者及时调整至最佳状态^[16]。研究表明, 智能手表在检测按压深度上可能比智能手机更准确^[17]。

数字化技术还可以辅助接线员指导 CPR。目前, 接线员一般通过电话语音对非专业人士进行指导, 其缺陷在于接线员只能通过来电者的描述判断 OHCA 是否发生, 无法获得一手信息进行识别。研究人员探索了使用机器学习对帮助接线员更高效识别 OHCA 的可能^[18]。在大规模随机对照试验中, 该程序对 OHCA 的识别敏感度高于接线员, 且用时更短^[19]。在进行 CPR 指导时, 接线员还可以通过可视化指导 CPR (Video-assisted CPR) 的技术, 与施救者进行视频通话。接线员可以观察并纠正施救者的动作, 增强施救者自信^[20], 改进施救者按压效果^[21]。

2.2 众包式急救响应系统助力早期 CPR

在数字化时代, 互联网和个人智能设备的迅速发展让众包成为了可能。所谓众包, 是将传统意义上专业人士做的事情转变为从人群中收集想法和数据并实践^[22]。在应对 OHCA 中, 人们可以使用智能手机 APP 众包附近的注册志愿者, 以提供早期心肺复苏和除颤, 在人口稠密地区, 众包系统往往能发挥更大的作用。

最早的手机 APP 众包系统通过向专业人员发送短信, 以期尽快进行 OHCA 救治。该系统最大的缺点在于无法得知救援人员具体位置, 因此只能将求救信号发送给尽可能多的救援人员, 将希望寄托于能有人提供援助^[23]。此后, 研究人员对该救援系统升级, 引入了地理定位系统, 并且让非专业人士也参与其中。而来自美国的 PulsePoint 可以整合已注册的 AED 地理位置, 并通知志愿者最近 AED 的位置。截至 2017 年底, PulsePoint 已注册超 6 000 台 AED, 可供分布在美国 2 800 多个社区的 125 万余名志愿者使用^[24]。

实验证明, 携带有 AED 的志愿者平均比 EMSS 早接触到 OHCA 患者 2 min 39 s^[25]。尤其在 EMSS 不甚发达的地区, 志愿者的帮助可以显著改善 OHCA 患者的生存率。

3 除颤

早期 CPR 和快速除颤是提高 OHCA 生存率最重要的两个因素^[3]。在很多地区, 非专业人士能够在半数以上的 OHCA 中提供 CPR, 但仅有不到 5% 的患者会获得 AED 除颤^[26]。除了利用众包系统外, 数字技术还可以通过以下手段提高除颤率。

3.1 数学建模优化 AED 放置位点

现有的 AED 设备往往仅在个别地区和场所 (机场、地铁站、医院等) 配置^[27], 受限于布置场所及营业时间等因素, 某些近在咫尺的 AED 设备却难以获得^[28]。通过识别 OHCA 发生的热点地区和地理人口信息, 数学建模可以帮助 EMSS 和有关部门优化 AED 的放置位点^[29]。

3.2 智能无人机运输 AED

大多数 OHCA 发生在相对私人的环境中而非公共场所, 将 AED 大量部署在公共场所并没有很好的解决这一问题^[30], 但是在私人环境和郊区大量部署 AED 也不具有成本收益效应^[31-32]。使用无人机运输 AED 到 OHCA 现场是一种新型的缩短救援时间的方法。尤其在农村或偏远地区, 无人机运输 AED 所需时间远小于 EMSS, 有更高的实用价值^[33]。同时, 智能无人机本身还能够提供实时视频和音频, 让 EMSS 能够直观了解到 OHCA 患者的情况, 并指导非专业人士进行救助^[34]。

3.3 数字化技术升级 AED

20 世纪 60 年代, 世界上第一个可移动除颤设备诞生, 但重达 70 kg 的设备无论在当时还是现在都不便于携带^[35]。随着技术的发展, 除颤仪也逐渐升级为现今的 AED。在数字化时代, 研究人员从减少胸外按压暂停和提高 AED 便携程度两方面作出了进一步升级尝试。

胸外按压的暂停与心脏骤停的生存呈负相关, AED 分析心电图是导致胸外按压暂停的重要因素。通过计算机算法抵消按压时产生的心电图伪影, 能够让 AED 在按压的同时完成自动心电分析, 减少胸外按压的暂停^[36]。

目前常用的 AED 被设计用于多次的精确除颤, 但精巧的设计也提高了价格和日常维护的门槛, 限制了它的推广。为了让患者尽早除颤, 牺牲 AED 的可复用性而使 AED 获得更加便携的特点和更广泛的部署是合乎逻辑的^[35,37]。目前, 一些可随身携带的 AED 已出现在海外市场, 它们能够与智能手机整合, 并为 EMS 提供地理定位信息和视频通话。但由于缺少高质量研究, 其可靠性还有待考证。

4 高级复苏技术和恢复

高级复苏技术和恢复在生存链中已经进入到院内的治疗阶段。在该阶段,数据库的建立、数据链接的方法和人工神经网络技术可以辅助医生进行临床研究,为临床决策提供信息,优化具体的治疗方案。

在循证医学的思路下,收集和处理高质量的临床数据是进行临床决策和资源分配的基础。通过建立数据库,医院和 EMS 可以收集并保存 OHCA 患者的各类信息。使用数据链接的方法,通过将不同数据库间同一患者的信息进行匹配,避免信息缺失,集中提供高质量数据,为 OHCA 患者的纵向监测提供可能^[38-39]。

通过人工神经网络技术,可以寻找对患者结局具有预测性的指标,并对预后进行预测^[40]。目标温度管理技术(targeted temperature management, TTM)具有改善 OHCA 患者的生存率和预后的可能,但是对于不同人群的最佳目标温度和亚低温持续时间仍是未知的^[41]。通过运用人工神经网络技术可以较好的预测 OHCA 患者的生存率和神经功能预后,能够对不同人群的风险类别进行分层,并帮助确定治疗方案^[42]。

在院内阶段,新技术的应用尚不广泛,但已介入的技术正显现出其优势。在未来,需要更多样的数字化技术深入本阶段的生存链支持。

5 挑战与缺陷

事物的发展都具有两面性,数字化技术对于 OHCA 患者的支持也不例外。虽然数字化技术有着诸多的好处,但在进入大规模使用的前路上充满了挑战。

由于院外数字化技术的本身特性与成本限制,如何为特定院外场景应用合适的数字化技术是研究人员需要考虑的问题。目前尚未出现大规模的根据特定场景分类进行的高质量研究,建议后续开展数字化技术的多场景研究。

目前智能设备的运用已经广泛普及,相关急救响应系统的数据流呈指数级增大,原本设备很小的假阳性率也会因此被放大,相关急救系统需要思考如何承受可能由此带来的大量错误预警。

随着有关 CPR 和 AED 知识的广泛传播,大量错误信息也在人群中开始流传。无论是 APP 中还是社交媒体上出现的知识,其专业性并未经过仔细评审,而即使在发布当时“正确”的知识,随着医学的进步也可能变成谬误,知识的及时更新难以保证^[43-44]。

在数字化时代,对 OHCA 生存链的支持所需的不仅仅是急诊医护人员的努力。在数字化技术的辅助下,从收集

OHCA 患者的早期预警数据到急救系统的启动,从智能无人运输 AED 到患者入院接受高级复苏治疗,EMS 的统筹规划和标准化管理仍然不可或缺。除此之外,建立心脏骤停中心^[45]或者说复苏中心^[46]也在对 OHCA 患者的救治中起到重要作用。目前对心脏骤停中心/复苏中心还没有统一的定义,但它一般涵盖从心脏骤停预防到急救、监护、治疗、康复的全过程^[47]。在不久的将来,心脏骤停中心可能会对 OHCA 患者的救治发挥重要作用^[48]。此外,对于大众有关急救的教育需要主管宣传单位的重视;数字化技术的广泛运用会产生的海量的隐私数据,这些数据需要在信息部门的监管下妥善存放、处理,避免隐私泄漏;技术研究机构或企业还应当积极进取,更新现有的数字化技术设备。打通 OHCA 患者的生存链是全社会共同的使命,各部门间的协调需要更多的顶层设计支持^[49]。

6 结语

数字化时代的新兴科技可以对 OHCA 患者的复苏生存链进行全流程的支持。移动设备和智能穿戴设备在对 OHCA 的识别以及提升非专业人士对 OHCA 的反应能力方面具有很大的前景。与 EMS 集成的智能手机 APP 可以众包志愿者进行 CPR 并尽快取得 AED,显著提高 OHCA 患者生存率。计算机技术和算法可以助力临床医生的研究,并为不同患者选择最佳的治疗措施。虽然面临着不小的应用和监管的挑战,但这些新兴的数字化技术在不同场景下的合理整合应用可能会为提高 OHCA 患者生存率和改善预后提供新的方向。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

本文思维导图请登录中华急诊网(www.cem.org.cn)浏览

参 考 文 献

- [1] Tsao CW, Aday AW, Almarzooq ZI, et al. Heart disease and stroke statistics-2023 update: a report from the American Heart Association[J]. Circulation, 2023,147(8): e93-e621.DOI:10.1161/CIR.0000000000001123.
- [2] Zhang S. Sudden cardiac death in China: current status and future perspectives[J]. Europace, 2015, 17(Suppl 2): ii14-ii18. DOI: 10.1093/europace/euv143.
- [3] Panchal AR, Bartos JA, Cabañas JG, et al. Part 3: adult basic and advanced life support: 2020 American Heart Association guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care[J]. Circulation, 2020, 142(16_suppl_2): S366-S468. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000916.
- [4] Lu C, Jin YH, Meng FJ, et al. An exploration of attitudes toward

- bystander cardiopulmonary resuscitation in university students in Tianjin, China: a survey[J]. *Int Emerg Nurs*, 2016, 24: 28-34. DOI: 10.1016/j.ienj.2015.05.006.
- [5] Connolly MS, Goldstein Pcp JP, Currie M, et al. Urban-rural differences in cardiac arrest outcomes: a retrospective population-based cohort study[J]. *CJC Open*, 2022, 4(4): 383-389. DOI: 10.1016/j.cjco.2021.12.010.
- [6] Larsen MP, Eisenberg MS, Cummins RO, et al. Predicting survival from out-of-hospital cardiac arrest: a graphic model[J]. *Ann Emerg Med*, 1993, 22(11): 1652-1658. DOI: 10.1016/s0196-0644(05)81302-2.
- [7] Fordyce CB, Hansen CM, Kragholm K, et al. Association of public health initiatives with outcomes for out-of-hospital cardiac arrest at home and in public locations[J]. *JAMA Cardiol*, 2017, 2(11): 1226-1235. DOI: 10.1001/jamacardio.2017.3471.
- [8] Chan J, Rea T, Gollakota S, et al. Contactless cardiac arrest detection using smart devices[J]. *NPJ Digit Med*, 2019, 2: 52. DOI: 10.1038/s41746-019-0128-7.
- [9] Perez MV, Mahaffey KW, Hedlin H, et al. Large-scale assessment of a smartwatch to identify atrial fibrillation[J]. *N Engl J Med*, 2019, 381(20): 1909-1917. DOI: 10.1056/NEJMoa1901183.
- [10] Lee H, Cho A, Whang M. Fusion method to estimate heart rate from facial videos based on RPPG and RBCG[J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21(20): 6764. DOI: 10.3390/s21206764.
- [11] Dautov R, Savur C, Tsouri G. On the effect of face detection on heart rate estimation in videoplethysmography[C]//2018 IEEE Western New York Image and Signal Processing Workshop (WNYISPW). October 5-5, 2018, Rochester, NY, USA. IEEE, 2018: 1-5. DOI: 10.1109/WNYISPW.2018.8576439.
- [12] Tsouri GR, Li Z. On the benefits of alternative color spaces for noncontact heart rate measurements using standard red-green-blue cameras[J]. *J Biomed Opt*, 2015, 20(4): 048002. DOI: 10.1117/1.JBO.20.4.048002.
- [13] Lee HY, Jung YH, Jeung KW, et al. Discrimination between the presence and absence of spontaneous circulation using smartphone seismocardiography: a preliminary investigation[J]. *Resuscitation*, 2021, 166: 66-73. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2021.07.009.
- [14] Song JT, Guo WX, Lu XG, et al. The effect of bystander cardiopulmonary resuscitation on the survival of out-of-hospital cardiac arrests: a systematic review and meta-analysis[J]. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*, 2018, 26(1): 86. DOI: 10.1186/s13049-018-0552-8.
- [15] Nas J, Thannhauser J, Vart P, et al. Effect of face-to-face vs virtual reality training on cardiopulmonary resuscitation quality: a randomized clinical trial[J]. *JAMA Cardiol*, 2020, 5(3): 328-335. DOI: 10.1001/jamacardio.2019.4992.
- [16] Metelmann C, Metelmann B, Schuffert L, et al. Smartphone apps to support laypersons in bystander CPR are of ambivalent benefit: a controlled trial using medical simulation[J]. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*, 2021, 29(1): 76. DOI: 10.1186/s13049-021-00893-3.
- [17] Song Y, Chee Y, Oh J, et al. Smartwatches as chest compression feedback devices: a feasibility study[J]. *Resuscitation*, 2016, 103: 20-23. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2016.03.014.
- [18] Blomberg SN, Folke F, Ersbøll AK, et al. Machine learning as a supportive tool to recognize cardiac arrest in emergency calls[J]. *Resuscitation*, 2019, 138: 322-329. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2019.01.015.
- [19] Blomberg SN, Christensen HC, Lippert F, et al. Effect of machine learning on dispatcher recognition of out-of-hospital cardiac arrest during calls to emergency medical services: a randomized clinical trial[J]. *JAMA Netw Open*, 2021, 4(1): e2032320. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2020.32320.
- [20] Bolle SR, Johnsen E, Gilbert M. Video calls for dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation can improve the confidence of lay rescuers: surveys after simulated cardiac arrest[J]. *J Telemed Telecare*, 2011, 17(2): 88-92. DOI: 10.1258/jtt.2010.100605.
- [21] Linderth G, Rosenkrantz O, Lippert F, et al. Live video from bystanders' smartphones to improve cardiopulmonary resuscitation[J]. *Resuscitation*, 2021, 168: 35-43. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2021.08.048.
- [22] Rumsfeld JS, Brooks SC, Aufderheide TP, et al. Use of mobile devices, social media, and crowdsourcing as digital strategies to improve emergency cardiovascular care: a scientific statement from the American heart association[J]. *Circulation*, 2016, 134(8): e87-e108. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000428.
- [23] Scholten AC, van Manen JG, van der Worp WE, et al. Early cardiopulmonary resuscitation and use of Automated External Defibrillators by laypersons in out-of-hospital cardiac arrest using an SMS alert service[J]. *Resuscitation*, 2011, 82(10): 1273-1278. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2011.05.008.
- [24] Brooks SC, Simmons G, Worthington H, et al. The PulsePoint Respond mobile device application to crowdsource basic life support for patients with out-of-hospital cardiac arrest: challenges for optimal implementation[J]. *Resuscitation*, 2016, 98: 20-26. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2015.09.392.
- [25] Zijlstra JA, Stieglis R, Riedijk F, et al. Local lay rescuers with AEDs, alerted by text messages, contribute to early defibrillation in a Dutch out-of-hospital cardiac arrest dispatch system[J]. *Resuscitation*, 2014, 85(11): 1444-1449. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2014.07.020.
- [26] Kiguchi T, Okubo M, Nishiyama C, et al. Out-of-hospital cardiac arrest across the World: first report from the International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR)[J]. *Resuscitation*, 2020, 152: 39-49. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2020.02.044.
- [27] 中国研究型医院学会心肺复苏专业委员会. 2016 中国心肺复苏专家共识 [J]. *解放军医学杂志*, 2017, 42(3): 1059-1079. DOI:

- 10.11855/j.issn.0577-7402.2017.03.13.
- [28] Sun CL, Demirtas D, Brooks SC, et al. Overcoming spatial and temporal barriers to public access defibrillators via optimization[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2016, 68(8): 836-845. DOI: 10.1016/j.jacc.2016.03.609.
- [29] Pourghaderi AR, Kogitkov N, Lees MH, et al. Maximum expected survival rate model for public access defibrillator placement[J]. *Resuscitation*. DOI:10.1016/j.resuscitation.2021.11.039.
- [30] Weisfeldt ML, Sitlani CM, Ornato JP, et al. Survival after application of automatic external defibrillators before arrival of the emergency medical system: evaluation in the resuscitation outcomes consortium population of 21 million[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2010, 55(16): 1713-1720. DOI: 10.1016/j.jacc.2009.11.077.
- [31] Winkle RA. The effectiveness and cost effectiveness of public-access defibrillation[J]. *Clin Cardiol*, 2010, 33(7): 396-399. DOI: 10.1002/clc.20790.
- [32] Folke F, Gislason GH, Lippert FK, et al. Differences between out-of-hospital cardiac arrest in residential and public locations and implications for public-access defibrillation[J]. *Circulation*, 2010, 122(6): 623-630. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.924423.
- [33] Claesson A, Bäckman A, Ringh M, et al. Time to delivery of an automated external defibrillator using a drone for simulated out-of-hospital cardiac arrests vs emergency medical services[J]. *JAMA*, 2017, 317(22): 2332-2334. DOI: 10.1001/jama.2017.3957.
- [34] Floreano D, Wood RJ. Science, technology and the future of small autonomous drones[J]. *Nature*, 2015, 521(7553): 460-466. DOI: 10.1038/nature14542.
- [35] Grunau B, Rea T. A goal to transform public access defibrillation to all access defibrillation[J]. *Resuscitation*, 2021, 162: 417-419. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2021.02.018.
- [36] Fumagalli F, Silver AE, Tan Q, et al. Cardiac rhythm analysis during ongoing cardiopulmonary resuscitation using the Analysis During Compressions with Fast Reconfirmation technology[J]. *Heart Rhythm*, 2018, 15(2): 248-255. DOI: 10.1016/j.hrthm.2017.09.003.
- [37] Rea T, Kudenchuk PJ, Sayre MR, et al. Out of hospital cardiac arrest: past, present, and future[J]. *Resuscitation*, 2021, 165: 101-109. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2021.06.010.
- [38] Shuvy M, Morrison LJ, Koh M, et al. Long-term clinical outcomes and predictors for survivors of out-of-hospital cardiac arrest[J]. *Resuscitation*, 2017, 112: 59-64. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2016.12.026.
- [39] Rajagopal S, Booth SJ, Brown TP, et al. Data quality and 30-day survival for out-of-hospital cardiac arrest in the UK out-of-hospital cardiac arrest registry: a data linkage study[J]. *BMJ Open*, 2017, 7(11): e017784. DOI: 10.1136/bmjopen-2017-017784.
- [40] Chou SY, Bamodu OA, et al. Artificial neural network-boosted Cardiac Arrest Survival Post-Resuscitation In-hospital (CASPRI) score accurately predicts outcome in cardiac arrest patients treated with targeted temperature management[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 7254. DOI: 10.1038/s41598-022-11201-z.
- [41] Fernando SM, di Santo P, Sadeghirad B, et al. Targeted temperature management following out-of-hospital cardiac arrest: a systematic review and network meta-analysis of temperature targets[J]. *Intensive Care Med*, 2021, 47(10): 1078-1088. DOI: 10.1007/s00134-021-06505-z.
- [42] Johnsson J, Björnsson O, Andersson P, et al. Artificial neural networks improve early outcome prediction and risk classification in out-of-hospital cardiac arrest patients admitted to intensive care[J]. *Crit Care*, 2020, 24(1): 474. DOI: 10.1186/s13054-020-03103-1.
- [43] Metelmann B, Metelmann C, Schuffert L, et al. Medical correctness and user friendliness of available apps for cardiopulmonary resuscitation: systematic search combined with guideline adherence and usability evaluation[J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2018, 6(11): e190. DOI: 10.2196/mhealth.9651.
- [44] Rodriguez-Villa E, Torous J. Regulating digital health technologies with transparency: the case for dynamic and multi-stakeholder evaluation[J]. *BMC Med*, 2019, 17(1): 226. DOI: 10.1186/s12916-019-1447-x.
- [45] Ho AFW, Yeo JW, Ong MEH. Cardiac arrest centres: what, who, when, and where?[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2022, 28(3): 262-269. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000934.
- [46] 浙江省急诊医学质量控制中心, 浙江省院前医疗急救质量控制中心, 浙江省心血管疾病介入诊疗质控中心, 等. 复苏中心建设浙江共识 [J]. 中华急诊医学杂志, 2023, 32(4): 455-463. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2023.04.003
- [47] 张茂, 陈玉国. 积极推进复苏中心建设, 加速急诊医学科发展 [J]. 中华急诊医学杂志, 2018, 27(1): 3-6. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2018.01.002.
- [48] Yeo JW, Ng ZHC, Goh AXC, et al. Impact of cardiac arrest centers on the survival of patients with nontraumatic out-of-hospital cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Am Heart Assoc*, 2022, 11(1): e023806. DOI: 10.1161/JAHA.121.023806.
- [49] Semeraro F, Greif R, Böttiger BW, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Systems saving lives[J]. *Resuscitation*, 2021, 161: 80-97. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2021.02.008.

(收稿日期 : 2022-05-31)

(本文编辑 : 张斯龙)