

DOI: 10.16369/j.oh.er.issn.1007-1326.2023.02.025

· 综述 ·

床旁监测技术在急诊心肺复苏中的应用进展

Application progress of bedside monitoring technology in emergency cardiopulmonary resuscitation

柳聪艳¹, 张思森^{1,2,3}, 王红宇^{1,2}LIU Congyan¹, ZHANG Sisen^{1,2,3}, WANG Hongyu^{1,2}

1. 河南中医药大学第五临床医学院, 河南 郑州 450000; 2. 河南中医药大学人民医院/郑州人民医院, 河南 郑州 450000;
3. 南方医科大学第二临床医学院, 广东 广州 510280

摘要:高质量的心肺复苏是救治心脏停搏的主要手段,复苏后的优化治疗和护理为患者的生存提供了保障,但疾病的高致死率、致残率仍然是目前的主要问题。各种床旁监测技术在心肺复苏中的应用日渐成熟,它们能否为急诊心肺复苏提供评估、预测价值,并取得好的临床结局,也是进一步研究的方向。通过对床旁即时超声、近红外光谱、即时检验、脑电图监测等技术的研究进行综述,阐述了各项技术应用的主要适应症及存在的问题,认为床旁监测技术的应用实现了多模式监测,为心肺复苏中的指导和预测提供了可能。

关键词:心肺复苏;床旁监测;即时医疗;心脏停搏;进展

中图分类号: R135 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-1326(2023)02-0237-05

引用:柳聪艳,张思森,王红宇. 床旁监测技术在急诊心肺复苏中的应用进展[J]. 职业卫生与应急救援, 2023, 41(2): 237-241.

当前,即时(point-of-care, POC)医疗在急诊科的应用日趋成熟,具有快速、连续监测等优点,实现了从寻找医疗设备到医疗设备出现在人们面前的突破,提高了疾病诊断、治疗的效率。随着微型化和数字技术的快速发展,医学监测的实施也从实验室走向了医疗技术,为床旁进行实时、持续的监测创造了独特的机会。

心脏停搏(cardiac arrest, CA)是急诊常见的急症,致死率高,仍是目前威胁人类生命安全的主要问题,及时有效的心肺复苏(cardiopulmonary resuscitation, CPR)是抢救的主要手段。心肺复苏具有明显的时效性,因病情危急、急诊医疗环境复杂、患者不宜搬动等情况,辅助检查技术在床旁进行是必要的。近年来,床旁监测技术,如床旁即时超声、近红外光谱、即时检验、脑电图监测等,在CPR过程中的指导作用也已凸显。临床检查、生物学标志物检测、影像学技术的应用贯穿始终,为病因的诊断、动态监测、预后提供了有意义的临床资料,为评价复苏效果、采取目标性治疗起到了指导作用。本文就床旁监测技术的研究进行综述,分析

各项技术应用的主要适应证及存在的问题,为临床应用提供指导。

1 心肺复苏的现状

CA是心脏射血功能的突然停止,可由许多不同的疾病过程、损伤引起。CPR、电除颤和药物是目前早期治疗的主要手段,但治愈率很低。尽管高达50%的接受CPR的患者可以达到自主循环恢复(return of spontaneous circulation, ROSC),但由于持续的心脏损伤、全身炎症反应、缺血-再灌注损伤等因素存在,许多幸存者在随后的数小时至数天内死亡。在欧美一些国家,院外心脏停搏(out-hospital cardiac arrest, OHCA)和院内心脏停搏(in-hospital cardiac arrest, IHCA)的总生存率分别在6%~11%和15%~20%之间^[1],而国内的复苏成功率仅4%^[2]。自新冠疫情大流行以来,在疫情高发区的OHCA发生率明显增高^[3],使得问题更为严峻。自20世纪50年代提出心肺复苏的概念以来,科学家们一直致力于各项基础及临床研究,力图更多地挽救生命,减少伤残。腹部提压心肺复苏、俯卧位心肺复苏、体外心肺复苏(extracorporeal cardiopulmonary resuscitation, E-CPR)等一系列研究及技术成果应运

作者简介:柳聪艳(1985—),女,硕士研究生在读,主治医师

通信作者:张思森,主任医师, E-mail: 2362176700@qq.com

而生^[4-6],复苏科学取得了重大进展。然而,全球不同地区的复苏成功率仍然存在很大差异,面临着公共卫生安全和经济负担的多重压力。2017 年美国心脏协会(American Heart Association, AHA)和欧洲复苏委员会强调了高质量胸外按压的重要性^[7],更多的研究也开始专注改善 CA 后的结果。在成人高级心血管生命支持(advanced cardiovascular life support, ACLS)复苏期间持续测量动脉血压和呼气末二氧化碳(ETCO₂)可能有利于提高 CPR 质量^[8],越来越多的监测手段应用于 CA 期间及复苏后,为临床提供了更多的信息,有利于改善患者预后。

2 床旁监测技术的应用

为了有效地管理患者,需要监测技术的支撑来实现在急诊监测和量化 CA 以及复苏后的病理生理改变。迄今的研究显示,目前可用的床旁监测技术如:床旁即时超声、近红外光谱、即时检验、即时心电图监测等,可以用于急救和危重症的监测与心肺复苏的各个方面,可以帮助临床医师实施个性化的复苏策略。

2.1 床旁即时超声

2.1.1 概述

床旁即时超声(point-of-care ultrasound, POCUS)是一种简单、可靠、无创、临床医师即时可以在床旁操作的超声检查^[9]。POCUS 可成为体格检查的补充,为医师提供解剖学、功能和生理学的信息^[10]。作为一种定性评估,虽然它不能代替专科超声检查,但是可以实现器官可视化,在急诊科这种资源有限的环境中应用日益广泛。

有研究^[11]指出,CA 的原因通常是心脏源性的(50%~60%),其次是呼吸功能不全(15%~40%),其他特殊情况导致的 CA 比例也逐渐增高^[12]。POCUS 可显示潜在的可逆性非除颤心律失常心脏停搏的原因^[13-15],如大量心包积液合并心包填塞、大面积肺栓塞、低血容量、张力性气胸、心脏填塞、大面积心肌梗死等,并能区分无脉电活动(pulseless electrical activity, PEA)的真伪。肺栓塞占 OHCA 的 2%~5%,至少占 IHCA 的 6%,CPR 期间的全身溶栓可增加 30 d 存活率^[16]。POCUS 可见 McConnell 征、右室扩张,胸膜下肺梗死、下肢静脉血栓等特征,对肺栓塞的诊断具有特异性^[17-18]。下腔静脉变异率可以评估容量状态,可指导复苏期间及复苏后的液体管理。多部位探查可以寻找失血源,并引导导管置入、穿刺引流。对于经口气管插管失败者,可以应用 POCUS 评估气道结构,提高气管插管的准确

性,并对困难气道进行快速识别,指导环甲膜切开术,减少误吸风险,并确认气管内导管的正确定位^[19],提高了操作的安全性。

2.1.2 POCUS 与心肺复苏

AHA 心肺复苏指南建议脉搏检查时间少于 10 s^[20]。Huis 等^[21]的前瞻性队列分析发现,在 CPR 期间使用 POCUS 可中断胸部按压,脉搏检查时间延长了 8.4 s。尽管实验设计有一定的局限性,仍强调了 CPR 中断时间的重要性。关于实施“心脏停搏超声评估方案”是否可以减少 CA 复苏期间 CPR 中断持续时间的研究中提出:在 CA 期间实施超声使用的结构化算法显著减少了执行超声时 CPR 中断的持续时间^[22],也可通过增加胸部按压分数来改善复苏效果^[23]。CA 时也可经食管进行超声检查^[24],能更明确可逆的停搏原因,并评估胸部按压的质量,同时最大限度地减少按压本身的中断,缩短脉搏检查时间^[25],但面对需要复苏的患者仍具有一定的局限性和风险。当然,临床中也面临检查过程中对图像解读准确性与否的问题^[26]。这就要求检查医师必须经过专业的培训,动态记录图像信息,优化检查方法。

2.1.3 POCUS 在复苏后脑损伤的评估

一项 meta 分析^[27]评估了视神经鞘直径(optic nerve sheath diameter, ONSD)测量对成人患者颅内高压评估的诊断准确性,认为 ONSD 测量可适用于炎症性、缺血性、高原性病变等引起的急慢性疾病^[28]。超声测量 ONSD 在眼球后 3 mm 处进行,在 POCUS 下也可操作,是安全、快速、可靠的床边工具^[29]。近年来,ONSD 的测量被用于 CA 期间及复苏后的神经监测,用于评估颅内高压,并预测神经系统的结局。尽管大量实验及临床得出的数据存在一定的差异,但采用标准化技术可能会优化临床结果^[30-31]。

2.2 近红外光谱

2.2.1 概述

近红外光谱(near infrared spectroscopy, NIRS)是指波长在(650~1100 nm)的红外线,能穿透人体组织被发色团吸收,光在组织微循环的小血管内发生较强的衰减,这种强度差是检测氧变化的基础^[32]。利用氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白在峰吸收波长上的明显差异,通过修正的 Beer-Lambert 定律,推导出局部组织氧饱和度(tissue oxygen saturation, StO₂),在临床中用于评估组织的微循环改变^[33]。多项不同疾病不同人群中的研究已证实,StO₂ 优于脉搏血氧饱和度,因为它既能测量组织氧饱和度也可反映氧气供需之间的不平衡^[34]。这种潜在优势使得 StO₂ 的

检测既能识别风险患者,也可用于指导复苏。

随着光导纤维和传感技术的发展,科学家们设计出不同形式的监测技术,可应用于成人及婴幼儿、孕妇等人群,在危重症抢救、围手术期及重症监护室镇痛指导、休克及 CPR 的氧合状态评估方面有很大的价值^[35-36]。近年在对 NIRS 联合血管内超声对冠状动脉血管斑块监测的研究中也取得了良好的临床结果^[37]。

2.2.2 NIRS 与复苏后脑损伤

NIRS 不需要血液流动,具有非侵入性、无辐射、易用性、数据连续显示等特点,并能够在低血流量情况下进行测量,可在心搏骤停心肺复苏期间进行实时动态监测。早期的动物心脏停搏模型及人体实验均验证了 NIRS 对 CPR 患者脑氧饱和度监测的可用性以及起到的临床指导价值^[38]。早在 1996 年的 CPR 研究者大会就已经建议 NIRS 可作为评价 CPR 有效性的手段^[35]。一项 meta 分析^[39]指出:复苏效果良好的患者在复苏期间的 NIRS 饱和度显著高于其他患者。Tsukuda 等^[40]的观察性研究发现,接受 CPR 的非创伤性 OHCA 患者,通过 NIRS 所测得的较高的初始脑组织氧饱和度可以提高 ROSC 预后,并且可能是决定终止 CPR 的因素。NIRO-Pulse 作为一种新的近红外光谱模式^[41],也证明了 StO₂ 可能有助于评估 CPR 的质量和患者对 CPR 的反应。

然而,皮肤色素沉着、肌红蛋白、患者躁动、皮肤状况(如烧伤、感染或疤痕)、大脑畸形、红细胞增多症和皮下脂肪厚度等都会对测量的数值产生干扰^[34]。院前复杂的环境对组织的灌注存在影响^[42],其应用也存在挑战。

2.3 即时检验

2.3.1 概述

即时检验(point-of-care testing, POCT)是在患者旁边进行的临床检测,是在采样现场即刻进行分析,缩短检验周转时间,快速得到检验结果的一类新方法。检验手段主要包括:干化学技术、多层涂膜技术、免疫层析法、选择性电极技术、生物传感器及生物芯片技术等。近几十年来,POCT 在医疗保健部门备受重视,在对慢性疾病,如高血压、糖尿病、心力衰竭的管理,以及对口服抗凝药物患者凝血功能的监测中发挥着重要作用^[43-44],也适用于一些地方病的流行病学调查^[45],对急诊危重症的检测也日渐成熟。

2.3.2 POCT 与 CPR

在院前复苏中使用 POCT 分析仪可以快速检测病理性酸碱失衡和钾浓度,对明确 CA 的可逆病因,

以及指导急诊医师进行特定干预有意义^[46]。一项对 2 716 名 OHCA 患者的前瞻性多中心回顾性分析^[47]发现,在患者 CPR 期间的血液检查结果中,pH 值和钾离子水平被认为是与出院生存相关的独立因素,而 pH 值被认为是与神经功能恢复相关的独立因素。

目前,急诊检测肌钙蛋白的价值是比较肯定的^[48]。而 Stopyra 等^[49]对院前肌钙蛋白检测性能评估的前瞻性研究发现,POCT 对肌钙蛋白的检测特异性高,但敏感性较低。随着肌钙蛋白高灵敏度检测及快速排除算法的发展^[50],急诊 POCT 对急性心肌梗塞诊断的准确性会有改善。有学者^[51]讨论了应用基于表面增强拉曼散射的生物传感器对急性心肌梗死的诊断价值,可将人工智能纳入该技术以提高诊断的准确性,这也将成为未来的发展方向。当前,在 SARS-CoV-2 即时检测中的检验时间可明显缩短,且检验方法多样^[52],但在急诊环境中面临着防护、仪器净化、检测环境等方面的挑战,未来还需加以研究,提供新的模式,以得到更好的临床结果。

2.4 即时脑电图

心脏停搏后脑损伤是由最初的缺血和复苏后的大脑再灌注损伤引起的双重打击^[53]。复苏后提供连续或间断的脑电图监测被心肺复苏指南^[8]所推荐,用于监测神经功能,指导复苏后的治疗。

异常脑电图模式在 CPR 后很常见,并且具有临床和预后意义。因此,Rittenberger 等^[54]测试了一种早期即时脑电图监护系统在心脏停搏患者身上的应用,试验结果论证了进行床旁系统脑电图监测的可行性,且早期的脑电图变化轨迹与预后相关,但与生存率和死亡的近因无关。由于受到电磁、人工的干扰,对恶性波形模式的早期识别受到限制,仍需要进一步的试验设计。尽管这项早期的假设检验研究有局限性,但仍为复苏后神经功能的监测和预后提供了新的思路。

3 问题及展望

近年来,我国的医疗水平已得到了极大提升,许多技术可达到世界水准,但也面临着医疗资源分布不均的问题,各地急诊科的学科建设存在差距。提高 CPR 质量、改善复苏后脏器功能体现了在 CA 救治中以患者为导向的理念,这些监测技术的应用也已经在临床中达到了评估、监测的目的,为临床医师提供了个性化的复苏策略,改善了急诊科对急危重症的管理。目前仍需要加强操作者技术能力培训,利用当前的新技术如机器学习、人工智能等,使

监测技术更易被操作人员接受;也需要广大科学家们设计更合理、更科学的高质量研究,为临床应用提供更可靠的科学依据。

作者声明 本文无实际或潜在的利益冲突

参考文献

- [1] REAGAN E M, NGUYEN R T, RAVISHANKAR S T, et al. Monitoring the relationship between changes in cerebral oxygenation and electroencephalography patterns during cardiopulmonary resuscitation: a feasibility study [J]. *Crit Care Med*, 2018, 46(5): 757-763.
- [2] FENG X F, HAI J J, MA Y, et al. Sudden cardiac death in mainland China: a systematic analysis [J]. *Circ Arrhythmia Electrophysiol*, 2018, 11(11): e006684.
- [3] MITRANI R D, GOLDBERGER J J. Cardiac arrests during the COVID-19 pandemic: the perfect storm [J]. *JACC Clin Electrophysiol*, 2021, 7(1): 12-15.
- [4] 中国研究型医院学会心肺复苏学专业委员会. 《中国心肺复苏专家共识》之腹部提压心肺复苏临床操作指南[J]. *解放军医学杂志*, 2019, 44(6): 536-540.
- [5] BARKER J, KOECKERLING D, WESRT R. A need for prone position CPR guidance for intubated and non-intubated patients during the COVID-19 pandemic [J]. *Resuscitation*, 2020, 151: 135-136.
- [6] SINGAI R K, SINGAL D, BEDNARCZYK J, et al. Current and future status of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for in-hospital cardiac arrest [J]. *Can J Cardiol*, 2017, 33(1): 51-60.
- [7] HARRIS A W, KUDENCHUK P J. Cardiopulmonary resuscitation: the science behind the hands [J]. *Heart*, 2018, 104(13): 1056-1061.
- [8] GREIF R, BHANJI F, BIGHAM B L, et al. Education, implementation, and teams: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations [J]. *Circulation*, 2020, 142(16_suppl_1): 222-283.
- [9] MOORE C L, COPEL J A. Current concepts: point-of-care ultrasonography [J]. *N Engl J Med*, 2011, 364(8): 749-757.
- [10] American College of Emergency Physicians. Emergency ultrasound guidelines [J]. *Ann Emerg Med*, 2009, 53(4): 550-570.
- [11] ANDERSEN L W, HOLMBERG M J, BERG K M, et al. In-hospital cardiac arrest: a review [J]. *JAMA*, 2019, 321(12): 1200-1210.
- [12] SOAR J, BECKER L B, BERG K M, et al. Cardiopulmonary resuscitation in special circumstances [J]. *Lancet*, 2021, 398(10307): 1257-1268.
- [13] DÍAZ-GÓMEZ J L, MAYO P H, KOENIG S J. Point-of-care ultrasonography [J]. *N Engl J Med*, 2021, 385(17): 1593-1602.
- [14] LONG B, ALERHAND S, MALIEL K, et al. Echocardiography in cardiac arrest: an emergency medicine review [J]. *Am J Emerg Med*, 2018, 36(3): 488-493.
- [15] 李丽君. 急诊超声:立足当今,展望未来[J]. *中华急诊医学杂志*, 2020, 29(1): 8-11.
- [16] SEREBRIAKOFF P, CAFFERKEY J, DE WIT K, et al. Pulmonary embolism management in the emergency department: part 2 [J]. *Emerg Med J*, 2023, 40(1): 69-75.
- [17] HALLER E P, NESTLER D M, CAMPBELL R L, et al. Point-of-care ultrasound findings of acute pulmonary embolism: McConnell sign in emergency medicine [J]. *J Emerg Med*, 2014, 47(1): e19-21.
- [18] NAZERIAN P, VANNI S, VOLPICELLI G, et al. Accuracy of point-of-care multiorgan ultrasonography for the diagnosis of pulmonary embolism [J]. *Chest*, 2014, 145(5): 950-957.
- [19] AUSTIN D R, CHANG M G, BITTNER E A. Use of handheld point-of-care ultrasound in emergency airway management [J]. *Chest*, 2021, 159(3): 1155-1165.
- [20] MEANEY P A, BOBROW B J, Mancini M E, et al. Cardiopulmonary resuscitation quality: [corrected] improving cardiac resuscitation outcomes both inside and outside the hospital: a consensus statement from the American Heart Association [J]. *Circulation*, 2013, 128(4): 417-435.
- [21] HUIS IN T VELD M A, ALLISON M G, BOSTICK D S, et al. Ultrasound use during cardiopulmonary resuscitation is associated with delays in chest compressions [J]. *Resuscitation*, 2017, 119: 95-98.
- [22] CLATTENBURG E J, WROE P C, GARDNER K, et al. Implementation of the Cardiac Arrest Sonographic Assessment (CASA) protocol for patients with cardiac arrest is associated with shorter CPR pulse checks [J]. *Resuscitation*, 2018, 131: 69-73.
- [23] YAMANE D, MCCARVILLE P, SULLIVAN N, et al. Minimizing pulse check duration through educational video review [J]. *West J Emerg Med*, 2020, 21(6): 276-283.
- [24] ÁVILA-REYES D, ACEVEDO-CARDONA A O, GÓMEZ-GONZÁLEZ J F, et al. Point-of-care ultrasound in cardiorespiratory arrest (POCUS-CA): narrative review article [J]. *Ultrasound J*, 2021, 13(1): 46.
- [25] FAIR J 3RD, MALLIN M P, ADLER A, et al. Transesophageal echocardiography during cardiopulmonary resuscitation is associated with shorter compression pauses compared with transthoracic echocardiography [J]. *Ann Emerg Med*, 2019, 73(6): 610-616.
- [26] BLANCO P, MARTÍNEZ BUENDÍA C. Point-of-care ultrasound in cardiopulmonary resuscitation: a concise review [J]. *J Ultrasound*, 2017, 20(3): 193-198.
- [27] ROBBA C, SANTORI G, CZOSNYKA M, et al. Optic nerve sheath diameter measured sonographically as non-invasive estimator of intracranial pressure: a systematic review and meta-analysis [J]. *Intensive Care Med*, 2018, 44(8): 1284-1294.
- [28] LOCHNER P, CZOSNYKA M, NALDI A, et al. Optic nerve sheath diameter: present and future perspectives for neurologists and critical care physicians [J]. *Neurol Sci*, 2019, 40(12): 2447-2457.
- [29] UEDA T, ISHIDA E, KOJIMA Y, et al. Sonographic optic nerve

- sheath diameter: a simple and rapid tool to assess the neurologic prognosis after cardiac arrest [J]. *J Neuroimaging*, 2015, 25(6): 927-930.
- [30] SINHA N, PARNIA S. Monitoring the brain after cardiac arrest: a new era [J]. *Curr Neurol Neurosci Rep*, 2017, 17(8): 62.
- [31] LEE S H, JONG YUN S. Diagnostic performance of optic nerve sheath diameter for predicting neurologic outcome in post-cardiac arrest patients: a systematic review and meta-analysis [J]. *Resuscitation*, 2019, 138: 59-67.
- [32] FERRARI M, QUARESIMA V. A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application [J]. *Neuroimage*, 2012, 63(2): 921-935.
- [33] HOGUE C W, LEVINE A, HUDSON A, et al. Clinical applications of near-infrared spectroscopy monitoring in cardiovascular surgery [J]. *Anesthesiology*, 2021, 134(5): 784-791.
- [34] SAMRAJ R S, NICOLAS L. Near infrared spectroscopy (NIRS) derived tissue oxygenation in critical illness [J]. *Clin Invest Med*, 2015, 38(5): 285-295.
- [35] DALTON H J, BERG R A, NADKARNI V M, et al. Cardiopulmonary resuscitation and rescue therapies [J]. *Crit Care Med*, 2021, 49(9): 1375-1388.
- [36] VUTSKITS L, SKOWNO J. Near-infrared spectroscopy: more than just monitoring brain oxygenation [J]. *Paediatr Anaesth*, 2022, 32(3): 394-395.
- [37] ERLINGE D, MAEHARA A, BEN-YEHUDA O, et al. Identification of vulnerable plaques and patients by intracoronary near-infrared spectroscopy and ultrasound (PROSPECT II): a prospective natural history study [J]. *Lancet*, 2021, 397(10278): 985-995.
- [38] 贾爱庆, 刘志. 近红外光谱技术在急危重症患者中的研究进展 [J]. *医学综述*, 2021, 27(10): 2004-2008.
- [39] COURNOYER A, ISEPPON M, CHAUNY J M, et al. Near-infrared spectroscopy monitoring during cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis [J]. *Acad Emerg Med*, 2016, 23(8): 851-862.
- [40] TSUKUDA J, FUJITANI S, MORISAWA K, et al. Near-infrared spectroscopy monitoring during out-of-hospital cardiac arrest: can the initial cerebral tissue oxygenation index predict ROSC? [J]. *Emerg Med J*, 2019, 36(1): 33-38.
- [41] MATSUYAMA T, YASUTAKE Y, INADA D, et al. Novel mode of near-infrared spectroscopy as a continuous cerebral physiological monitoring device during cardiopulmonary resuscitation: four case reports [J]. *J Clin Med*, 2022, 11(7): 2018.
- [42] SKRIFVARS M B, ANEMAN A. How near is near infrared spectroscopy in pre-hospital care? [J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2020, 64(1): 2-3.
- [43] BARCELONA D, FENU L, MARONGIU F. Point-of-care testing INR: an overview [J]. *Clin Chem Lab Med*, 2017, 55(6): 800-805.
- [44] FERREIRA C E S, GUERRA J C C, SLHESSARENKO N, et al. Point-of-Care Testing: General Aspects [J]. *Clin Lab*, 2018, 64(1): 1-9.
- [45] CURTIS K C, FISCHER K, CHOI Y J, et al. Characterization and localization of antigens for serodiagnosis of human paragonimiasis [J]. *Parasitol Res*, 2021, 120(2): 535-545.
- [46] GRUEBL T, POEGER B, WRANZE-BIELEFELD E, et al. Point-of-care testing in out-of-hospital cardiac arrest: a retrospective analysis of relevance and consequences [J]. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*, 2021, 29(1): 128.
- [47] SHIN J, LIM Y S, KIM K, et al. Initial blood pH during cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest patients: a multicenter observational registry-based study [J]. *Crit Care*, 2017, 21(1): 322.
- [48] 中国医师协会急诊医师分会, 国家卫健委能力建设与继续教育中心急诊学专家委员会, 中国医疗保健国际交流促进会急诊急救分会. 急性冠脉综合征急诊快速诊治指南 (2019) [J]. *中华急诊医学杂志*, 2019, 28(4): 421-428.
- [49] STOPYRA J P, SNAVELY A C, SCHEIDLER J F, et al. Point-of-care troponin testing during ambulance transport to detect acute myocardial infarction [J]. *Prehosp Emerg Care*, 2020, 24(6): 751-759.
- [50] COLLINSON P. Cardiac biomarker measurement by point of care testing - Development, rationale, current state and future developments [J]. *Clin Chim Acta*, 2020, 508: 234-239.
- [51] LOW J S Y, THEVARAJAH T M, CHANG S W, et al. Biosensing based on surface-enhanced Raman spectroscopy as an emerging/next-generation point-of-care approach for acute myocardial infarction diagnosis [J]. *Crit Rev Biotechnol*, 2020, 40(8): 1191-1209.
- [52] MAY L, TRAN N, LEDEBOER N A. Point-of-care COVID-19 testing in the emergency department: current status and future prospects [J]. *Expert Rev Mol Diagn*, 2021, 21(12): 1333-1340.
- [53] SANDRONI C, CRONBERG T, SEKHON M. Brain injury after cardiac arrest: pathophysiology, treatment, and prognosis [J]. *Intensive Care Med*, 2021, 47(12): 1393-1414.
- [54] RITTENBERGER J C, WEISSMAN A, BALDWIN M, et al. Preliminary experience with point-of-care EEG in post-cardiac arrest patients [J]. *Resuscitation*, 2019, 135: 98-102.

收稿日期: 2022-08-25