

心肺复苏中通气的研究进展

谈定玉 付阳阳 徐军 于学忠

100730 中国医学科学院北京协和医院急诊科

通讯作者:于学忠, Email: yxzpumch@126.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2016.07.022

【摘要】 作为现代心肺复苏(CPR)的基石之一,通气在过去十几年中受到争议和挑战。2000年至2015年美国心脏协会(AHA)CPR指南的变化显示通气相对于心脏按压地位在逐渐下降。近年来单纯胸外按压CPR得到了大力提倡,特别是对于有目击者的心源性心搏骤停(CA)患者。被动给氧、心脑复苏(CCR)在心源性CA复苏早期亦显示出良好的疗效,但仍需在更大范围内进行临床验证。阻力阀(ITD)装置在按压放松期阻止气流进入肺部,降低胸腔压力,从而促进静脉回流,增加冠状动脉(冠脉)血流,但目前有关ITD的研究结论并不一致,因此指南不推荐常规应用。正压通气可升高胸腔压力,从而影响冠脉灌注压(CPP)和脑灌注,因而在CPR最初几分钟内被认为可能不仅无用,还会产生不良结果。这种观点被许多学者所接受。然而在延迟开始的CPR、延长CPR及非心源性CA等情况下,通气是必不可少的。机械通气特别是针对CPR的特殊通气模式显示出一定的发展前景。目前正压通气仍是标准CPR的重要组成部分。现有的研究表明,过度通气可明显降低复苏成功率,因而避免过度通气已成为共识。但目前关于CPR时通气研究的数量非常有限,且研究结论并不一致。故未来仍需要更多的高质量研究来进一步阐明通气在CPR中的应用。

【关键词】 心肺复苏; 通气; 被动给氧; 心脑复苏; 阻力阀

基金项目: 国家卫生计生委公益性行业科研专项(201502019)

Advances of ventilation during cardiopulmonary resuscitation Tan Dingyu, Fu Yangyang, Xu Jun, Yu Xuezhong
Department of Emergency, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100730, China

Corresponding author: Yu Xuezhong, Email: yxzpumch@126.com

【Abstract】 As one of the cornerstones of modern cardiopulmonary resuscitation (CPR), ventilation received controversy and challenges in the past two decades. From 2000 to 2015, the changes in CPR guidelines of American Heart Association (AHA) showed that the position of ventilation declined gradually as compared to chest compressions. Chest compressions only CPR has been strongly advocated in recent years, especially in witnessed cardiogenic cardiac arrest (CA). Passive oxygenation and cardiocerebral resuscitation (CCR) also showed good effect in the early stage of cardiogenic CA. However, clinical validation in a larger context is still needed. An impedance threshold device (ITD) transiently blocks air from entering the lungs during recoil, decreases the intrathoracic pressure, facilitates venous return to the chest and increases coronary blood flow. However, the relevant research findings are not consistent, and the guidelines do not recommend routine use of ITD. Positive-pressure ventilation, which can increase intrathoracic pressure, affects the coronary perfusion pressure (CPP) and cerebral perfusion, is thought to be not only useless, but also has adverse effects within the first few minutes of CPR. This view is accepted by many scholars, however, ventilation is essential in late-start CPR, prolonged CPR and non-cardiogenic CA. Mechanical ventilation, especially special ventilation modes for CPR showed some prospects. Positive-pressure ventilation remains the gold standard in CPR in clinical practice at present. It was shown by existing research that hyperventilation significantly reduce the success rate of resuscitation, thus a consensus had been reached about avoiding hyperventilation. Currently, the number of studies on ventilation during CPR is very limited, and many of the conclusions are not consistent among studies. Therefore, more high-quality studies are needed in future to further clarify the application of ventilation during CPR.

【Key words】 Cardiopulmonary resuscitation; Ventilation; Passive oxygenation; Cardiocerebral resuscitation; Impedance threshold device

Fund program: Special Scientific Research Funds of Public Welfare Program of National Health and Family Planning Commission (201502019)

心搏骤停(CA)是全球性的公共卫生问题,有很高的发生率和病死率^[1]。虽然经过半个多世纪的研究与努力,CA

患者的存活率仍仅有3%~17%^[2]。为提高心肺复苏(CPR)的成功率,生存链的每个环节必需尽可能高效。自从1960

年 Kouwenhoven 等首次描述胸外心脏按压以来,其方法并无显著改变,主动按压减压 CPR (ACD-CPR) 和机械按压 CPR 技术是心脏按压主要的进展。即使如此,心脏按压的基本理念仍未改变,即在胸部用力快速按压,尽可能不要停止。然而,关于 CPR 的另一个重要部分——通气,就变得明显复杂。现就近年来 CPR 中通气地位的变化、各种通气理念的研究进展进行回顾和总结。

1 CPR 中通气地位的变迁

从 20 世纪 50 年代 Safar 等描述了 CPR 的 A—B—C 原则〔通畅气道(A)、人工辅助通气(B)、胸外心脏按压(C)〕开始,通气就一直是 CPR 的基石之一,但过去十几年来关于通气的许多内容受到争议和挑战。争议的早期催化剂是目击者及专业急救人员担心感染疾病而不愿实施口对口人工呼吸。此外,开放气道及人工呼吸需要复杂的心理运动技巧,因此目击者实施的 CPR 常缺乏效果,甚至因恐慌而延迟。如果省略人工呼吸可使得 CPR 更简单,目击者会更愿意实施 CPR。后继的一些研究发现,过度通气在 CPR 时普遍存在,且其对复苏有显著的不良影响^[3]。而一些新的通气理念如被动通气〔单纯胸外按压 CPR、心肺复苏(CCR)〕、阻力阀(ITD)等在 CPR 中亦显示出良好效果。与此同时,高质量心脏按压越来越受到重视,被认为是抢救能否成功的关键因素。这些均进一步动摇了人工通气在 CPR 中的地位。

从美国心脏协会(AHA)CPR 指南对通气方面的更新可以看到人工通气在 CPR 中地位的变化。2000 年指南强调人工通气,成人 CPR 时按压与通气比为 15:2,未强调按压的深度。2005 年指南中将单人 CPR 时按压通气比例调整为 30:2,并强调尽量控制胸外按压的中断时间。2010 年指南明显突出了高质量心脏按压的重要性,在成人 CPR 将 A—B—C 顺序调整为 C—A—B,首次提出避免过度通气;同时鼓励对未接受过培训的非专业人员进行单纯胸外按压 CPR。2015 年指南对通气的内容并无明显修改,除了为更方便学习、记忆和实施,将建立高级气道后的通气频率固定为 10 次/min。故相比于胸外心脏按压,通气在 CPR 中的地位在逐渐后移。

2 CPR 相关通气理念

2.1 被动通气

2.1.1 单纯胸外按压 CPR: 单纯胸外按压 CPR 的提倡者认为,CPR 时特别是 CPR 的早期阶段可以不需要人工通气,其理由有:① CPR 时人工通气不可避免地中断按压的连续性。当再次按压时,至少需要 10 s 或更长时间来恢复冠状动脉灌注压(CPP)至相对“正常”水平^[4],维持 CPP>15 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)对于自主循环恢复(ROSC)至关重要。单纯胸外按压 CPR 可保证心、脑的持续灌注。② CA 的最初几分钟,心脏和大血管中可保持一定的氧含量。③ CA 后很快进行胸外按压,肺泡内残留的氧气可以在短时间内维持氧合。④ 按压放松后胸廓回弹产生的负压可以产生被动通气。实验显示,在无人工通气 CPR 按压 4 min 后血氧饱和度仍大于 0.90,分钟通气量为(5.2±1.1)L/min^[5]。⑤ 即使按

压产生的被动通气不能满足机体对氧的需求,CA 中常见的喘息现象也可以提供额外的通气。⑥ 人工通气特别是过度通气,可以增加胸腔压力,影响复苏效果。即使按压产生的被动通气和喘息的潮气量低于正常,但其和 CPR 时肺的低灌注可以在一个相对低的水平维持恰当的通气/血流比例。

动物实验结果显示,有无人工通气的 CPR 最终预后是相同的^[4,6],但单纯胸外按压 CPR 可能更有利于神经功能预后^[4,7]。数项大型观察性临床研究发现,接受目击者单纯胸外按压 CPR 和传统 CPR 的 CA 患者存活率无差异^[8-9]。有研究倾向于支持单纯胸外按压 CPR,因其有更好的神经功能预后、更高比例的可电击心律及 4 min 内复苏启动率^[10]。目前至少有 3 项随机对照试验(RCT)比较了单纯胸外按压 CPR 与传统 CPR^[11-13],荟萃分析显示,单纯胸外按压 CPR 较传统 CPR 可以改善存活率,存活率绝对增加 2.4%^[9]。

总之,近年来单纯胸外按压 CPR 得到了大力提倡,特别是目击者对心源性 CA 患者的 CPR。从 2008 年 3 月 31 日,AHA 建议对于目击者 CPR 可只行胸外心脏按压,直至急救人员到达。这种 CPR 可以提高公众的实施意愿,缩短 CA 到开始复苏的时间,并有更多的按压总次数,但常存在按压疲劳和按压深度不足的情况^[14]。然而,对于非心源性 CA、年幼患者及延迟启动 CPR 的患者,传统 CPR 比单纯胸外按压 CPR 有更高的存活率及神经功能恢复率^[15]。

2.1.2 被动给氧: 当气道开放时,每次心脏按压后跟随一次小潮气量的被动呼气,每次按压放松后则跟随一次潮气量相同的吸气。当不存在喘息和无额外补充氧的情况下,这样的被动通气不能够维持足够的氧合和通气超过 10 min^[16]。但如果流量氧气进入气道,按压产生的被动通气则可能维持需要的氧合,这是 CPR 时被动给氧的基本理念。

动物实验结果显示,与正压通气相比,CPR 时经气管或 Boussignac 导管(为 CPR 特制的气管插管)给氧可得到相似或更好的通气和氧合^[17]。RCT 研究发现,在院外心搏骤停(OHCA)患者中,通过 Boussignac 导管被动给氧与正压通气相比 ROSC 率和入院存活率等无差异^[18-19]。Bobrow 等^[20]发现,有目击者的心室纤颤/室性心动过速(室颤/室速)患者,经口咽气道被动给氧组无神经功能缺失的存活率明显高于正压面罩通气组(38.2%比 25.8%),而在无目击及无可电击心律的 CA 患者,两组结局无差异。但荟萃分析显示,对于 OHCA 患者,虽然被动给氧可能对有目击者的患者有益,但目前尚无足够证据支持被动氧合优于传统通气策略^[21]。

2.1.3 CCR: 结合单纯胸外按压 CPR 和被动给氧的理念,Ewy^[22]提出了一种新的复苏方案,即 CCR。起初 CCR 包含两部分,一是在社区,目击者识别原发性 CA,呼救启动急救医疗系统(EMS),并开始单纯胸外按压 CPR,如果可能的话使用体外自动除颤仪。二是对于 EMS 人员,到达现场先进行 3 个循环的 200 次不间断胸外按压、分析心律及对可除颤心律进行单次除颤,要求除颤后立即按压;在不干扰心脏按压的情况下,尽早使用肾上腺素;进行 3 个循环的按压后再进行气管插管(延迟插管),在气管插管前使用非重复氧

面罩或经口咽通气道被动给予纯氧。2007年CCR添加了第三部分内容,即医院部分,ROSC患者被送入指定医院进行包括治疗性亚低温、心导管治疗等复苏后处理。

OHCA患者的神经功能结局主要取决于CPR期间大脑的血流量。CCR强调心脏和大脑复苏,尽量减少按压中断。同时,CCR早期进行被动通气,延迟人工通气,避免了过度通气。而按压中断和过度通气在院前气管插管时均常见。在亚利桑那州2个大型城市进行的研究显示,医护人员经过CCR培训后,CA患者出院存活率从1.8%增至5.4%;在目击室颤患者的亚组分析中,存活率从4.7%增至17.6%^[23]。

在一项荟萃分析中,3项研究比较了CCR与2000年AHA指南的复苏方案,显示CCR能明显改善CA患者的存活率;9项研究比较了CCR与2005年AHA指南的复苏方案,有5项研究显示CCR有更高的存活率^[24]。整合数据表明,CCR对所有CA患者存活出院率的未校正优势比(OR)达2.26[95%可信区间(95%CI)=1.64~3.12];对于有目击者的可电击心律CA患者,CCR增加存活率的OR达2.98(95%CI=1.92~4.62)。已有研究显示出CCR的良好效果,特别是对心源性CA患者的平均存活率达到了38%^[25]。因此,在2015年AHA指南中指出,对于有目击者、有可电击心律的OHCA患者,延迟通气时可使用被动通气和辅助气道装置。然而,CCR的良好效果是基于更高效、未间断的心脏按压还是避免了正压通气的不良影响,则尚未明确。

2.2 ITD:心脏按压放松时胸廓回弹,一些气体被“吸入”肺部,从而使胸内负压变小,影响血液回流至心脏。为了避免这种现象,促进静脉回流,Lurie等^[26]设计了ITD。ITD是一种非常轻便小巧的压力感受单向活瓣,连接在人工气道和呼吸机管道或简易呼吸器之间,在按压放松期活瓣关闭,阻止气流进入肺部,从而使胸内负压增加(可达-13 mmHg)和时间延长。动物实验表明ITD可以降低胸腔压力,从而促进静脉回流,增加冠状动脉(冠脉)血流^[27]。

目前有多项RCT评估了ITD在院前的应用。Plaisance等^[28]研究发现,使用ITD的患者有更好的CPP和舒张压。Pirrallo等^[29]则发现,ITD能显著改善患者的收缩压。而ITD联合ACD-CPR被认为能增加患者的入院率和短期存活率^[30]。Aufderheide等^[31]发现,ITD可以提高无脉性电活动患者24h存活率。2008年一项荟萃分析显示ITD可以改善OHCA患者的短期预后^[32]。因此,2010年AHA指南推荐OHCA时,对于熟悉ITD的人员可使用ITD进行复苏。

但2011年发表的一项包含8718例OHCA患者的高质量RCT并没能证实之前荟萃分析的结果,表明ITD并不能改善患者的存活率、ROSC率及神经功能完整康复率^[33]。动物实验也发现ITD无有益作用,甚至有害^[34]。然而,与传统CPR相比,ITD联合ACD可以改善患者的存活率及神经功能良好的出院率,但有更高的肺水肿发生率^[35]。因此,在2015年AHA指南中对ITD的使用建议作出修改,不建议常规使用ITD辅助传统CPR,但有设备及经适当培训人员在场时,可使用ITD联合ACD-CPR取代传统CPR。

2.3 机械通气:无论是单纯胸外按压CPR、被动氧合还是CCR,这3种理念的共同点是限制人工通气,以控制胸腔压力的升高,并减少按压中断。ITD的出发点亦是降低正压通气时的胸腔压力。因为,普遍观点认为正压通气特别是过度通气可以升高胸腔压力,减少静脉回流,降低心排量(CO),从而影响CPP和脑灌注。因此,正压通气在CPR最初几分钟内被认为可能不仅无用,还会产生不良影响。这种观点被许多学者所接受,然而在延迟开始的CPR、延长的CPR及非心源性CA等,通气是必不可少的。即使是心源性CA的复苏早期,在足够的循证医学证据确认之前,正压通气仍是CPR不可或缺的重要组成部分^[36]。

机械通气因可控制通气频率和潮气量,是CPR时通气的选择方法之一,特别是在转运或院内使用时^[37-38]。目前AHA指南推荐可使用转运呼吸机进行机械通气。现有关于CPR时机械通气模式方面的研究非常有限。胸部按压同步通气(CCSV)是Kill等^[39]开发的针对CPR的通气模式。采用压力控制通气,按压时开始送气,放松胸廓回弹时进入呼气阶段。实验数据表明CCSV较间歇正压通气有更好的氧合和血流动力学。与ITD类似,CCSV可周期性增加胸腔压力差值,但避免了气道负压。虽然数项动物实验验证了CCSV的有效性,但所有研究均为Kill等人报道,且未进入临床验证阶段,故离临床实际应用尚有距离。

2.4 过度通气:2004年Aufderheide等^[3]发表的一项研究引起了人们对CPR时过度通气的重视。研究显示,13例患者进行CPR时平均通气频率达(30.0±3.2)次/min,结果无一人存活。在CPR动物模型中,30次/min通气较12次/min通气时胸腔压力明显升高,CPP和存活率明显降低,且这些差异与血二氧化碳水平无关。虽然指南对通气频率和量作出了推荐,但过度通气在临床实际中非常普遍,尤其是过快频率通气。研究发现,在CPR时有63%的时间通气频率大于10次/min,20%的时间超过20次/min;在有高级气道时,通气频率甚至可达到37次/min,即使经过反复的培训亦不能完全避免过度通气的发生^[40]。

动物实验提示CPR时低通气频率可以增加CPP,降低平均胸腔压力。潮气量大于10 mL/kg及升高的呼气末正压(PEEP)可增加肺血管阻力,降低CO及下腔静脉血流^[41]。目前过度通气被认为存在许多可能的危害:在未插管患者,通气会中断心脏按压;增加胸腔内压,减少血液向回心回流;CPP在胸腔内压升高时会降低;导致呼吸性碱中毒,使氧离曲线左移,影响氧的释放;导致脑血管痉挛,显著降低脑灌注,在低血流状态下更显著^[42]。因此,从2010年AHA指南开始明确强调避免过度通气。

虽然避免过度通气为大多数学者所认同,但证实CPR时过度通气不良作用的临床研究非常有限,并有学者提出了不同的观点,认为正压通气是“胸泵”原理的重要部分,可有一定的血流动力学益处。如Gazmuri等^[43]在动物实验中发现,增加通气频率及潮气量,分钟通气量可达到指南推荐的10倍,并未出现不良的血流动力学影响。总之,在过度通气

研究方面仍有许多问题尚待解决,如什么样的过度通气频率和时间与不良结局相关;在复苏不同阶段(复苏前后)过度通气的不良作用是否更明显;缺乏大规模的研究来证实过度通气与不良预后的关系。

3 总结

目前关于 CPR 时通气的报道非常有限,且各研究结论并不一致。一些大型研究显示,对有目击者的 OHCA,单纯胸外按压 CPR 显示出非劣效于传统 CPR 的效果。被动给氧、CCR 在心源性 CA 复苏早期亦显示出良好的疗效。有关 ITD 的研究结论并不一致,因此指南不推荐常规应用。机械通气,特别是针对 CPR 的特殊通气模式显示出一定的发展前景。目前正压通气仍是标准 CPR 的重要组成部分,避免过度通气已成为共识。但复苏指南中相关建议的证据来源的数量和质量均需进一步提高,对人工通气的一些细节亦未给出明确的推荐,故未来仍需要更多的高质量研究来进一步阐明通气在 CPR 中的应用。

参考文献

- [1] 吴黎明. 高质量心肺复苏:探索与挑战[J]. 中华危重病急救医学, 2013, 25 (11): 642-645. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2013.11.002.
Wu LM. High-quality cardiopulmonary resuscitation: exploration and challenges [J]. Chin Crit Care Med, 2013, 25 (11): 642-645. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2013.11.002.
- [2] 徐胜勇, 于学忠. 心肺复苏的研究热点和进展[J]. 中国中西医结合急救杂志, 2015, 22 (3): 330-333. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2015.03.027.
Xu SY, Yu XZ. Research focus and advance during cardiopulmonary resuscitation [J]. Chin J TCM WM Crit Care, 2015, 22 (3): 330-333. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2015.03.027.
- [3] Aufderheide TP, Sigurdsson G, Pirralo RG, et al. Hyperventilation-induced hypotension during cardiopulmonary resuscitation [J]. Circulation, 2004, 109 (16): 1960-1965. DOI: 10.1161/01.CIR.0000126594.79136.61.
- [4] Wang S, Li C, Ji X, et al. Effect of continuous compressions and 30:2 cardiopulmonary resuscitation on global ventilation/perfusion values during resuscitation in a porcine model [J]. Crit Care Med, 2010, 38 (10): 2024-2030. DOI: 10.1097/CCM.0b013e3181eed90a.
- [5] Chandra NC, Gruben KG, Tsitlik JE, et al. Observations of ventilation during resuscitation in a canine model [J]. Circulation, 1994, 90 (6): 3070-3075. DOI: 10.1016/0300-9572(95)99858-8.
- [6] Ewy GA, Hilwig RW, Zuercher M, et al. Continuous chest compression resuscitation in arrested swine with upper airway inspiratory obstruction [J]. Resuscitation, 2010, 81 (5): 585-590. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2010.01.009.
- [7] Berg RA, Kern KB, Hilwig RW, et al. Assisted ventilation does not improve outcome in a porcine model of single-rescuer bystander cardiopulmonary resuscitation [J]. Circulation, 1997, 95 (6): 1635-1641. DOI: 10.1161/01.CIR.95.6.1635.
- [8] Bohm K, Rosenqvist M, Herlitz J, et al. Survival is similar after standard treatment and chest compression only in out-of-hospital bystander cardiopulmonary resuscitation [J]. Circulation, 2007, 116 (25): 2908-2912. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.710194.
- [9] Hüpfel M, Selig HF, Nagele P. Chest-compression-only versus standard cardiopulmonary resuscitation: a meta-analysis [J]. Lancet, 2010, 376 (9752): 1552-1557. DOI: 10.1016/S0140-6736(10)61454-7.
- [10] Iwami T, Kitamura T, Kiyohara K, et al. Dissemination of chest compression-only cardiopulmonary resuscitation and survival after out-of-hospital cardiac arrest [J]. Circulation, 2015, 132 (5): 415-422. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.014905.
- [11] Hallstrom A, Cobb L, Johnson E, et al. Cardiopulmonary resuscitation by chest compression alone or with mouth-to-mouth ventilation [J]. N Engl J Med, 2000, 342 (21): 1546-1553. DOI: 10.1056/NEJM200005253422101.
- [12] Rea TD, Fahrenbruch C, Culley L, et al. CPR with chest compression alone or with rescue breathing [J]. N Engl J Med, 2010, 363 (5): 423-433. DOI: 10.1056/NEJMoa0908993.
- [13] Svensson L, Bohm K, Castrèn M, et al. Compression-only CPR or standard CPR in out-of-hospital cardiac arrest [J]. N Engl J Med, 2010, 363 (5): 434-442. DOI: 10.1056/NEJMoa0908991.
- [14] 陈志刚, 潘鑫, 吴敏. 单纯胸外按压——简化的心肺复苏流程 [J]. 中华灾害救援医学, 2014, 2 (9): 522-524, 532. DOI: 10.13919/j.issn.2095-6274.2014.09.014.
Chen ZG, Pan X, Wu M. Hands-only CPR: simplified CPR process [J]. Chin J Disaster Med, 2014, 2 (9): 522-524, 532. DOI: 10.13919/j.issn.2095-6274.2014.09.014.
- [15] Ogawa T, Akahane M, Koike S, et al. Outcomes of chest compression only CPR versus conventional CPR conducted by lay people in patients with out of hospital cardiopulmonary arrest witnessed by bystanders: nationwide population based observational study [J]. BMJ, 2011, 342: c7106. DOI: 10.1136/bmj.c7106.
- [16] Kill C, Dersch W, Wulf H. Advanced life support and mechanical ventilation [J]. Curr Opin Crit Care, 2012, 18 (3): 251-255. DOI: 10.1097/MCC.0b013e3283523f69.
- [17] Hayes MM, Ewy GA, Anavy ND, et al. Continuous passive oxygen insufflation results in a similar outcome to positive pressure ventilation in a swine model of out-of-hospital ventricular fibrillation [J]. Resuscitation, 2007, 74 (2): 357-365. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2007.01.004.
- [18] Saïssy JM, Boussignac G, Cheptel E, et al. Efficacy of continuous insufflation of oxygen combined with active cardiac compression-decompression during out-of-hospital cardiorespiratory arrest [J]. Anesthesiology, 2000, 92 (6): 1523-1530.
- [19] Bertrand C, Hemery F, Carli P, et al. Constant flow insufflation of oxygen as the sole mode of ventilation during out-of-hospital cardiac arrest [J]. Intensive Care Med, 2006, 32 (6): 843-851. DOI: 10.1007/s00134-006-0137-2.
- [20] Bobrow BJ, Ewy GA, Clark L, et al. Passive oxygen insufflation is superior to bag-valve-mask ventilation for witnessed ventricular fibrillation out-of-hospital cardiac arrest [J]. Ann Emerg Med, 2009, 54 (5): 656-662.e1. DOI: 10.1016/j.annemergmed.2009.06.011.
- [21] Yu H, Qing H, Min Y. Continuous passive oxygen insufflation for out-of-hospital cardiac arrest: a systemic review of clinical studies [J]. Resuscitation, 2013, 84 (1): e9-10. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2012.09.005.
- [22] Ewy GA. A new approach for out-of-hospital CPR: a bold step forward [J]. Resuscitation, 2003, 58 (3): 271-272. DOI: 10.1016/S0300-9572(03)00268-5.
- [23] Bobrow BJ, Clark LL, Ewy GA, et al. Minimally interrupted cardiac resuscitation by emergency medical services for out-of-hospital cardiac arrest [J]. JAMA, 2008, 299 (10): 1158-1165. DOI: 10.1001/jama.299.10.1158.
- [24] Salmen M, Ewy GA, Sasson C. Use of cardiocerebral resuscitation or AHA/ERC 2005 Guidelines is associated with improved survival from out-of-hospital cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis [J]. BMJ Open, 2012, 2 (5): DOI: 10.1136/bmjopen-2012-001273.
- [25] Ewy GA, Bobrow BJ. Cardiocerebral Resuscitation: An Approach to Improving Survival of Patients With Primary Cardiac Arrest [J]. J Intensive Care Med, 2016, 31 (1): 24-33. DOI: 10.1177/0885066614544450.
- [26] Lurie KG, Zielinski T, McKnite S, et al. Use of an inspiratory

- impedance valve improves neurologically intact survival in a porcine model of ventricular fibrillation [J]. *Circulation*, 2002, 105 (1): 124-129. DOI: 10.1161/hc0102.101391.
- [27] Buckley GJ, Shih A, Garcia-Pereira FL, et al. The effect of using an impedance threshold device on hemodynamic parameters during cardiopulmonary resuscitation in dogs [J]. *J Vet Emerg Crit Care (San Antonio)*, 2012, 22 (4): 435-440. DOI: 10.1111/j.1476-4431.2012.00782.x.
- [28] Plaisance P, Lurie KG, Payen D. Inspiratory impedance during active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation: a randomized evaluation in patients in cardiac arrest [J]. *Circulation*, 2000, 101 (9): 989-994. DOI: 10.1161/01.CIR.101.9.989.
- [29] Pirralo RG, Aufderheide TP, Provo TA, et al. Effect of an inspiratory impedance threshold device on hemodynamics during conventional manual cardiopulmonary resuscitation [J]. *Resuscitation*, 2005, 66 (1): 13-20. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2004.12.027.
- [30] Plaisance P, Lurie KG, Vicaut E, et al. Evaluation of an impedance threshold device in patients receiving active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation for out of hospital cardiac arrest [J]. *Resuscitation*, 2004, 61 (3): 265-271. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2004.01.032.
- [31] Aufderheide TP, Pirralo RG, Provo TA, et al. Clinical evaluation of an inspiratory impedance threshold device during standard cardiopulmonary resuscitation in patients with out-of-hospital cardiac arrest [J]. *Crit Care Med*, 2005, 33 (4): 734-740. DOI: 10.1097/01.CCM.0000155909.09061.12.
- [32] Cabrini L, Beccaria P, Landoni G, et al. Impact of impedance threshold devices on cardiopulmonary resuscitation: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled studies [J]. *Crit Care Med*, 2008, 36 (5): 1625-1632. DOI: 10.1097/CCM.0b013e318170ba80.
- [33] Aufderheide TP, Nichol G, Rea TD, et al. A trial of an impedance threshold device in out-of-hospital cardiac arrest [J]. *N Engl J Med*, 2011, 365 (9): 798-806. DOI: 10.1056/NEJMoa1010821.
- [34] Henlin T, Michalek P, Tyll T, et al. Oxygenation, ventilation, and airway management in out-of-hospital cardiac arrest: a review [J]. *Biomed Res Int*, 2014, 2014 : 376871. DOI: 10.1155/2014/376871.
- [35] Aufderheide TP, Frascone RJ, Wayne MA, et al. Standard cardiopulmonary resuscitation versus active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation with augmentation of negative intrathoracic pressure for out-of-hospital cardiac arrest: a randomised trial [J]. *Lancet*, 2011, 377 (9762): 301-311. DOI: 10.1016/S0140-6736(10)62103-4.
- [36] 包芳萍, 潘渊明, 郑树森. 在中国实施院前心肺复苏需要人工通气 [J]. *浙江大学学报 (医学版)*, 2014, 43 (5): 505-512. DOI: 10.3785/j.issn.1008-9292.2014.09.004.
- Bao FP, Pan YM, Zheng SS. Out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation needs the ventilation [J]. *J Zhejiang Univ (Med Sci)*, 2014, 43 (5): 505-512. DOI: 10.3785/j.issn.1008-9292.2014.09.004.
- [37] 田昕, 方伟钧, 吴建荣. 心肺复苏机械通气时选择不同流速模式对气道峰压的影响 [J]. *中华危重病急救医学*, 2014, 26 (10): 722-725. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2014.10.009.
- Tian X, Fang WJ, Wu JR. The effects of different mechanical ventilation flow model on the peak airway pressure during cardiopulmonary resuscitation [J]. *Chin Crit Care Med*, 2014, 26 (10): 722-725. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2014.10.009.
- [38] 吴政庚, 周从阳, 李晓斌, 等. 影响心肺复苏成功率的风险因素分析 [J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2011, 18 (1): 28-31. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2011.01.008.
- Wu ZG, Zhou CY, Li XB, et al. Analysis of risk factors influencing successful rate of cardiopulmonary resuscitation [J]. *Chin J TCM WM Crit Care*, 2011, 18 (1): 28-31. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2011.01.008.
- [39] Kill C, Hahn O, Dietz F, et al. Mechanical ventilation during cardiopulmonary resuscitation with intermittent positive-pressure ventilation, bilevel ventilation, or chest compression synchronized ventilation in a pig model [J]. *Crit Care Med*, 2014, 42 (2): e89-95. DOI: 10.1097/CCM.0b013e3182a63fa0.
- [40] O'Neill JF, Deakin CD. Do we hyperventilate cardiac arrest patients? [J]. *Resuscitation*, 2007, 73 (1): 82-85. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2006.09.012.
- [41] Theres H, Binkau J, Laule M, et al. Phase-related changes in right ventricular cardiac output under volume-controlled mechanical ventilation with positive end-expiratory pressure [J]. *Crit Care Med*, 1999, 27 (5): 953-958. DOI: 10.1097/00003246-199905000-00033.
- [42] Pitts S, Kellermann AL. Hyperventilation during cardiac arrest [J]. *Lancet*, 2004, 364 (9431): 313-315. DOI: 10.1016/S0140-6736(04)16740-8.
- [43] Gazmuri RJ, Ayoub IM, Radhakrishnan J, et al. Clinically plausible hyperventilation does not exert adverse hemodynamic effects during CPR but markedly reduces end-tidal PCO₂ [J]. *Resuscitation*, 2012, 83 (2): 259-264. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2011.07.034.

(收稿日期: 2016-03-15)

(本文编辑: 保健媛, 李银平)