

心肺复苏的氧疗策略：从气道建立到呼吸机支持*

李湘民¹ 叶锦杏¹ 莫晓叶¹



专家简介:李湘民,教授,博士研究生导师,现任中南大学湘雅医院急诊科主任,兼任世界急诊医学协作组织中国分会副主席,湖南省医学会急诊医学专业委员会主任委员,湖南省中西医结合学会急诊医学专业委员会主任委员,湖南省急诊科质量控制中心主任,湖南省医学会理事,湖南省医师协会理事,中国地市级医院急诊专科医联体副主席,中华医学会急诊分会复苏学组副组长,中华医学会急诊分会老年学组副组长,中国医师协会急诊医师分会常委,中国医师协会急诊医师分会急诊感染学组副主任委员,湖南省医学会院前急救分会副主任委员。主持或参与国家自然科学基金课题 5 项、CMB 课题 2 项,教育部课题 1 项、省科技厅 8 项、市科技局课题 1 项,发表统计源期刊 50 余篇,其中 SCI 论文 20 余篇。

[摘要] 心脏骤停致死率高、致残率高,是世界范围内严重威胁人民生命的公共卫生问题,心肺复苏的关键是保证器官氧供,及时恢复心脏自主功能。随着心肺复苏术教育知识的普及,胸外按压技术已被大众所了解,但是呼吸支持也十分重要,各种通气方式使用的优劣尚未得到明确,掌握正确和合理的复苏方法及氧疗策略,对提高心脏骤停患者的抢救成功率和改善预后具有重要意义。本文现结合国内外有关文献,对目前心肺复苏中常用的气道建立方式和呼吸机支持技术进行总结和概述,以期对心脏骤停的救治和相关研究提供帮助。

[关键词] 心脏骤停;心肺复苏;呼吸支持;人工气道;氧疗

DOI:10.13201/j.issn.1009-5918.2024.11.001

[中图分类号] R541.7 **[文献标志码]** A

Oxygen therapy strategy for cardiopulmonary resuscitation: from airway establishment to ventilator support

LI Xiangmin YE Jinxing MO Xiaoye

(Department of Emergency, Xiangya Hospital of Central South University, Changsha, 421000, China)

Corresponding author: LI Xiangmin, E-mail: lxm8229@126.com

Abstract Cardiac arrest has a high mortality rate and disability rate, which is a serious public health problem that threatens people's lives worldwide. The key to cardiopulmonary resuscitation is to ensure organ oxygen supply and timely restoration of cardiac autonomic function. With the popularization of education on cardiopulmonary resuscitation, chest compressions have been widely understood by the public. However, respiratory support is also very important, and the advantages and disadvantages of various ventilation methods have not been clearly defined. Mastering correct and reasonable resuscitation methods and oxygen therapy strategies is of great significance for improving the success rate and prognosis of patients with cardiac arrest. This article summarizes and summarizes the commonly used airway establishment methods and ventilator support technologies in current cardiopulmonary resuscitation, based on relevant literature at home and abroad, in order to provide assistance for the treatment and related research of cardiac arrest.

Key words cardiac arrest; cardiopulmonary resuscitation; respiratory support; artificial airway; oxygen therapy

*基金项目:国家自然科学基金青年项目(No:82002010)

¹中南大学湘雅医院急诊科(长沙,421000)

通信作者:李湘民,E-mail:lxm8229@126.com

1 心脏骤停概述:目前心脏骤停的救治水平仍有待提高

心脏骤停,又称心搏骤停、心脏停搏,是指各种原因引起的心脏正常机械活动停止,无法正常射血,体内血液无法循环,组织供血不足,从而导致人体组织器官出现严重的缺血、缺氧及功能丧失,危及生命的一种临床综合征。患者主要表现为突然出现的意识丧失、大动脉搏动消失、伴或不伴有自主呼吸停止,如不干预最终将导致全身组织器官功能衰竭甚至死亡^[1]。

根据发生地点不同,心脏骤停分为院外心脏骤停(out-of-hospital cardiac arrest, OHCA)和院内心脏骤停(in-hospital cardiac arrest, IHCA)。OHCA患者发病主要在家中住所或公共场所,心肺复苏(cardiopulmonary resuscitation, CPR)的实施率较低,患者得不到及时的抢救,并且由于急救环境复杂、检查手段和抢救设备缺乏等,OHCA的抢救成功率较低;IHCA患者在医院内可以接受更规范更合理的救治,除颤率、高级气道实施率、肾上腺素应用率都远高于OHCA,并且有利于进行复苏后护理。IHCA患者和OHCA患者相比,在人口统计学、大多数合并症的患病率和初始心脏骤停节律方面差异无统计学意义,但IHCA患者在生存方面有更好的结果。这可能与目睹状态相关,尽早开始抢救对心脏骤停后的预后很重要^[2]。相关报告显示^[3],2020年中国七大地理区域成人IHCA发病率为8.4‰,接受CPR的患者中自主循环恢复(return of spontaneous circulation, ROSC)率为41.1%,存活出院率为9.4%,神经功能预后良好率为6.7%;中国经急救医疗服务(emergency medicine service, EMS)接诊的OHCA发病率为97.1/10万,ROSC率为6.0%,存活出院率为1.2%,神经功能预后良好率为0.8%。由此看来目前心脏骤停的救治率仍然有待提高。

2 胸外按压与呼吸支持并重,氧疗不容忽视

心脏骤停复苏的关键是要及时接受CPR,给予高质量的CPR,兼顾呼吸和循环支持。高质量CPR包括适当的按压深度和按压速率,同时最大限度地减少按压中断。在心脏骤停后,通过胸外按压恢复循环,并在合适的情况下,尝试除颤以重启心脏,优先于气道和通气干预^[1]。尽管有研究表明仅胸外按压和常规CPR(包括按压和通气)相比复苏成功率没有明显差别,并且考虑到开放气道的时间和人工呼吸意愿等影响,对于非专业人员只需进行胸外按压即可^[4];但随着时间进展,血液中含氧量逐渐下降,会造成组织严重缺氧,并且通气支持存在益处,能改善患者预后,所以有条件者及IHCA时,人工通气还是十分重要的,并且与单纯按压CPR相比,有通气的CPR与生存率的提高有

关^[5]。当非心源性猝死如突发性窒息性死亡(呼吸系统问题)、心脏骤停前低氧血症和低血流量、ROSC后再灌注损伤等导致心脏骤停时,早期干预以恢复重要器官的充分氧供是可取的。因此,在CPR中呼吸支持非常重要,对CA患者抢救的成功率和患者的预后都有重要影响。上级医院的IHCA患者在院内有较充足的抢救措施和通气设备,临床医生经验更加丰富,对于人工气道的选择和建立方式更加明确,而在基层医院及面对OHCA患者时,由于环境的复杂性和医疗设施的相对缺乏,更需要临床医生作出准确的判断,及时给予正确的呼吸支持,如何选择合适的通气方式及人工气道的建立策略显得更为重要。

3 气道建立方式及优劣比较

3.1 口对口人工呼吸是基础:提高第一目击者人工呼吸实施率

人工呼吸是CPR尤其是院前急救中简易、常用的通气方式,不受现场条件限制,在EMS抵达前,人工呼吸是大众所能掌握和使用的基本呼吸支持方式,人工呼吸能为患者提供一定程度的氧供,保证基本的通气支持。呼吸、心脏骤停后立即在CPR过程中实施口对口人工呼吸,相比于长时间通气停止者复苏成功率更高。但由于需要与患者直接接触,存在被感染和传染疾病的风险,尤其是近几年新冠肺炎的流行,让大众意识到呼吸道传染的危害性,人工呼吸常会被第一目击者拒绝,大部分救治人员不愿意实施口对口人工呼吸通气,并且由于口对口人工呼吸会导致胃胀气,引起反流、误吸继而造成吸入性肺炎等严重并发症,救治人员不易处理,导致严重危害,所以人工呼吸只作为临时通气支持,并且为了减少过度充气导致的胃胀气反流,人工呼吸应采取小潮气量、缓慢通气,减少胃肠胀气导致反流误吸的可能。对于普通大众的急救知识宣教仍有待进一步加强,在保障救治者自身安全的前提下提高第一目击者人工呼吸的实施率对OHCA患者的救治有一定的帮助,对患者预后的改善有进一步的提升。而医疗救治人员在现场缺乏更高级和合适的通气支持方式时,要正确掌握口对口人工呼吸的通气实施要点,减少和防治并发症的发生,为患者后续的高级生命支持提供基础。

3.2 球囊面罩通气是基本:优化和明确球囊面罩的使用,保障CA患者的基本呼吸支持

OHCA患者在EMS到达后以及IHCA患者,球囊面罩(bag-valve-mask, BVM)给氧是一种实用的、传统的供氧方法,在高级生命支持开始之前,它能快速改善氧合并且效果较好。BVM通气能对CA患者气道实施间歇性正压处理,提供正压通气,可有效开放小气道和肺泡,有利于患者肺部通气和换气。BVM通气应与胸外按压同步,按压通气比

为 30 : 2。影响 BVM 通气的效率的因素有两个:①气道是否有效打开;②面罩是否闭合严密。进行充分、有效的通气需要确保气道的开放和面罩的适当密封。BVM 通气存在输送氧浓度不足、潮气量控制不稳定、降低呼气末正压等缺点,患者容易出现血氧饱和度不足和肺泡塌陷等情况,而且在抢救中,通气操作不当可能会导致胃胀气引起食物反流,甚至窒息等加重患者的病情^[6]。因此,优化 BVM 技术,使其能够以尽可能稳定且低的压力提供足够的潮气量,并防止胃胀气引起的严重并发症是很重要的。

与传统 CPR 相比, Gerber 等^[7]研究发现的改良双人 CPR 可在保证高质量胸外按压的同时实现良好的面罩通气,提供更高的潮气量和减少通气失败的次数,并且有利于救护人员领导复苏的任务和减少因同时胸外按压和面罩通气造成的意外。BVM 联合机械通气进行预氧合提高了 BVM 在 CPR 中的应用价值,可增加面罩通气的密闭性,保证有效的正压通气效率,改善氧合,纠正患者缺氧的状态,并且预氧合增加了患者体内的氧气储备量,提高气管插管(endotracheal intubation, ETI)操作时的缺氧耐受时间,降低插管过程中发生并发症的风险,为复苏和后续气管插管提供有利条件^[8]。

在 OHCA 患者中,因复苏环境复杂、医疗设备缺乏等原因,常优先选择 BVM 给氧进行呼吸支持,与 ETI 和声门上气道装置(supraglottic airway, SGA)等高级气道管理(advanced airway management, AAM)相比,BVM 的呼吸支持效果并无显著劣势。一项大型 RCT 研究^[9]发现在 OHCA 患者中,使用 BVM 与使用 ETI 相比,ETI 组 ROSC 率显著高于 BVM 组,但两组患者入院前的生存期和第 28 天的生存期差异无统计学意义,不良事件分析发现 BVM 组与 ETI 组相比有明显的气道管理困难、胃内容物反流和通气失败,但这项研究未能证明 BVM 相比使用 ETI 的非劣效性或劣效性。Lupton 等^[10]也发现在 OHCA 中,与 AAM 相比,BVM 通气与 OHCA 患者出院存活率和神经系统完整生存率提高相关。但经过调整临床特征后发现院前 AAM 和 BVM 的 30 d 神经系统有利生存率差异无统计学意义,这可能与 AAM 准备时间较长和应用失败产生的风险相关^[11]。Jung 等^[12]认为虽然 OHCA 中高级气道管理相比于 BVM,增加了患者的出院存活率,并且这种差异将随着院前转运时间间隔的增加而更加明显,但是,基于 SGA 组的神经系统良好生存率低于 BVM 组,而 ETI 组与 BVM 组之间差异无统计学意义,认为在短途运输转运过程中应优先选择 BVM 通气,确保及时有效的通气并且减少胸外按压中断时间,当需要长时间转运时,选择合适的时机,从

BVM 通气过度至 AAM 通气。

基于 BVM 通气的易行性,在目前临床 CPR 过程中应优先采用 BVM 通气,由于 OHCA 患者现场条件的限制及 BVM 的便携性更应推荐优先使用,在 BVM 通气保障患者基本呼吸支持,维持基本氧供后,于合适的时机过度至 ETI 通气,并且需尽量减少胸外按压的中断,但值得注意的是 BVM 通气的并发症发生率相对 AAM 来说是比较高的,是需要改进的问题,期望能从 BVM 本身的设计方面着手,在既保证通气效果的同时控制通气压力,建立简易直接气道,以此减少严重并发症的发生。BVM 相比 AAM,其主要优势在于方便、快捷,操作成功率相对较高,能够及时为 CA 患者提供通气支持,但是由于混杂因素较多,BVM 与 AAM 相比在院前急救及 CPR 中的应用效果和对患者预后的影响还有待进一步比较和研究。

3.3 SGA:更易学习和掌握、操作相对简单,重视其在 CPR 中的应用

SGA 是一类能够插入咽部以实现通气、供氧和给予麻醉气体,而不需要 ETI 的气道装置。这些装置可用于初始气道管理,可在面罩通气困难时用于挽救性通气,以及用作 ETI 的通道。常用的 SGA 有喉罩气道、喉管、ETI 型喉罩通气道、食道闭锁气道等。这类装置首先运用于常规麻醉期的安全气道管理,又因 SGA 具有气道刺激小、操作简单、准备时间短等特点,相比 ETI,SGA 具有插入成功率更高、能明显减少暂停按压的需要和学习难度相对低等优点,SGA 目前也应用于 CPR 尤其是 OHCA 中的通气支持。据报道,SGA 相对于气管内插管的优点包括易于插入,避免应用神经肌肉阻断剂,能促进自主呼吸,避免经喉放置造成的声带接触性损伤及其伴随的心血管反应和影响,来自荟萃分析的证据表明,喉痉挛的发生率降低,术后声音嘶哑、咳嗽和喉咙痛的发生率降低。SGA 的缺点是呼吸支持过程中的漏气和运输过程中的错位,也存在误吸、通气不良等缺点^[13-15]。

从心脏骤停到细胞坏死的时间以脑细胞最短,心脏突然停跳 10 s 后就会用完大脑里的氧气存储,缺氧 4~6 min,脑部神经就会出现无法逆转的变化导致脑功能丧失^[16]。因此如何在最短的时间内重建有效的呼吸与循环就显得尤为重要。目前的 OHCA 指南强调尽量减少 CPR 胸外按压中断,以保持胸外按压分数(chest compression fraction, CCF) $>80\%$,在复苏期间改善 CCF 的方式是选择合适的高级气道。尽管有研究^[11]表明在 OHCA 患者中与 BVM 相比,使用 SGA 在改善患者生存率和改善神经系统转归上并不具备优势;但也有研究发现^[17]SGA 在改善自然循环恢复方面优于插管或 BVM 通气,ETI 优于 BVM 通气。并且相比于

ETI,SGA 的学习成本低,初次尝试 SGA 的操作者成功率也比较高,并且对于缺乏插管经验的医护人员,运用 SGA 通气的成功率也高于 ETI,尤其是在 OHCA 环境不稳定、胸外按压同步进行的情况下,SGA 的使用更有利于抢救,能够提高通气成功率和减少胸外按压的中断时间,在 SGA 置入后,通过 SGA 气道通道插入气管内管,可以实现更好的通气和降低胃内容物反流误吸的风险,优化气道管理^[18]。因此在院前急救中,由于 SGA 具有使用方便、操作相对简单、能有效改善通气等特点,仍值得关注,特别是当救助人员插管经验有限的时候。

目前,在 OHCA 患者中采用的通气方式多为 BVM 和 ETI,但现在逐渐发现 SGA 可以作为 OHCA 患者通气方式的改进措施。Segond 等^[15]发现与 BMV 相比,救援人员使用 SGA 成功通气的比例增加了一倍,并能降低胃内压,并且 CPR 的性能指标相比 BVM 没有变化。Benger 等^[19]进行的随机对照试验发现在 OHCA 患者中,与 ETI 相比,SGA 通气组的初始通气成功率更高,并且在 30 d 的神经预后结果上差异无统计学意义;两组在成本、结果和总体成本效益方面也差异无统计学意义。大型 RCT 的研究结果^[20-21]也发现在成人 OHCA 患者中,SGA 的初始通气成功率高于 ETI,并且与更高的 72 h 生存率相关,但两组患者之间的预后和不良事件发生率差异无统计学意义,提示使用 SGA 可能比 ETI 更适合初始通气,用于快速改善患者通气状态。

目前的 OHCA 复苏指南中,在我国较常使用 BVM 进行通气支持,SGA 的运用尚未普及,但国外的院前急救有多种通气方式,其中 SGA 的使用正逐渐增多,可能与使用 SGA 比使用 BVM 更容易管理气道有关;另外,SGA 插入可以在等待更有经验的操作人员到来时使用,或者作为技术上更容易的 ETI 选择。在 CPR 过程中,首先选择 BVM 通气保障患者基本氧供,这是简便基础的呼吸支持方式,当医疗救助人员 ETI 技术有限、现场环境不稳定时,待转运至相对安全稳定的环境中后,在设施足够情况下,完成 ETI 置入,并用 ETI 进行辅助通气,有提高通气效率、改善预后的益处。但目前 OHCA 中的最佳通气方式还未有定论,这需要更多的研究和 RCT 试验来证实和比对。

3.4 ETI:目前人工气道的优选,保障通气的同时减少并发症的发生,与机械通气共同应用,改善患者的氧供,改善预后

ETI 是将通气管道直接置入气道内,建立直接呼吸通道,保持气道通畅,恢复有效通气的重要手段,是 CPR 中的重要措施,与抢救成功率的提高有关,ETI 在保证有效通气的同时,还可以避免胃肠道过度通气,引起胃内压过高导致的胃肠道功能紊

乱,在 CPR 期间,尤其是 OHCA 期间,不仅要保证充足的氧合和通气,而且要避免误吸胃内容物或血液。研究表明,在 CPR 中,ETI 比 SGA 或 BVM 对反流和胃内容物肺误吸具有更好的保护作用。ETI 球囊充气后可以密闭气道,一方面可以阻隔食道内反流物进入气道,对于发生误吸者还可以通过气道插管进行负压吸引,清除气道内反流物,改善氧合并减少反流性肺炎的可能,另一方面密闭气道后可以进行正压通气,为患者提供高效的、可控制的通气支持。但 ETI 属于侵入性操作,操作不当可能会造成气道损伤,并且气管内插管术对操作者的技能熟练度要求较高,在 CPR 期间的插管存在误入食道以及导致胸外按压长时间中断的风险^[6]。

一项观察性研究^[22]发现,在 IHCA 患者中,在复苏的前 15 min 内的任何一分钟开始 ETI 与该分钟不插管相比,与住院时的生存率降低有关,插管患者发生 ROSC 的比例低于未插管患者,插管患者的良好功能预后也低于未插管患者。说明 ETI 对于心脏骤停患者来说也不是完全有益的,它有相应的风险,对于 ETI 与不良预后之间的潜在因果关系。首先,ETI 插入时的失误和口咽气道的损伤可能导致胸外按压中断时间延长。其次,ETI 辅助通气可能导致过度通气和高氧暴露,这与不良预后相关。第三,ETI 可能延误其他复苏干预措施,如除颤或肾上腺素给药的进行。第四,插管成功的时间延迟可能导致通气不足,导致患者缺氧时间过长造成不良预后。第五,在心脏骤停 ETI 期间未被识别的导管误入食道或导管移位可能造成致命的后果。

插管的潜在益处包括更好地控制通气和氧合以及防止误吸。此外,一旦建立了高级气道,胸外按压可以更持续地进行,能提高通气效率。一项回顾性观察性研究^[23]表明 CPR 早期插管可能有利于 IHCA 的临床预后,在 8.8 min 内插管对神经学和生存结果都有利,对于可除颤心律的 IHCA 患者,延迟插管时间对其生存尤其不利。而且当患者 ROSC 后,也需要 ETI 来作为复苏后护理的一部分,对维持高质量的生命支持有重要意义。因此对于 IHCA 患者,在院内医师技能操作娴熟的情况下,ETI 是较好的通气方式,提供有效通气的同时也有助于复苏后的气道管理。

对于 OHCA 患者,由于需要有合适的环境和有经验的医护人员来操作,近些年来也有研究表明 BVM、SGA 与 ETI 通气相比,通气效果和复苏成功率没有显著差异,并且持续胸外按压加正压通气的策略可能并不能改善 OHCA 患者的预后^[24],故 OHCA 的最佳通气方式的选择仍有较大异议。但 Song 等^[25]发现与 BVM 相比,OHCA 患者的 ETI 与良好的氧合和良好的通气显著相关,尤其是在长时间运输中,ETI 通气的稳定性要更好。Meta 分

析结果也表明:ETI对CPR的效果较好,ROSC率方面和神经系统功能完整性方面优于SGA和BVM,充分通气与改善临床预后显著相关,所以一旦患者发生心脏骤停,尽早实施基于面罩通气的有效ETI还是十分重要的^[26]。

将面罩、口咽通气道和SGA与ETI联合应用的方式也在逐渐被发现,在院前急救环境中优先使用面罩通气、口咽通气道、SGA等保证患者初步通气,给予患者呼吸支持,保证基础氧合后再进行ETI或通过SGA置入ETI,既能避免长时间中断呼吸支持和影响胸外按压,也有利于后续的转运和复苏后的气道管理。与单纯的ETI相比,多种通气方式联合使用的方法与CA患者通气成功率增加、ROSC率提高、患者预后和存活率的改善相关^[27]。在困难气道难以直接进行ETI时,联合应用SGA辅助插管也能提高插管成功率和减轻气道损伤。减少ETI尝试次数也与良好的神经系统结局相关^[28]。ETI目前仍是呼吸支持和气道管理的首选方式,在CPR期间应用ETI不仅有利于通气功能的改善,也有助于复苏后的气道管理和护理,作为CPR过程中的主要呼吸支持方式,其不足之处仍有待改进,但也有增加其应用价值的潜力。

4 通气指标及呼吸机支持

在CPR期间及ROSC后,一旦高级气道建立完成,运用呼吸机提供可控制的机械通气支持,对患者的预后和存活率是有益的。在复苏的不同阶段,呼吸支持的标准有所不同,合适的通气指标和呼吸机模式的设置对患者的复苏成功和预后改善有益处,能减少复苏过程中的肺部损伤及减少复苏过程中不当通气导致的并发症。

4.1 呼吸机模式的选择:优选采用容量控制正压通气,逐渐发掘新型CPR呼吸机模式的应用价值

在心脏骤停后,胸廓的系统顺应性下降,加上胸外按压期间给予的附加压力,会导致胸膜腔内压较正常情况下升高许多,胸膜腔内压的增高会导致中心静脉的受压,外周血回流减少,影响血液回流和心输出量,此时机械通气如果再给予额外的通气压力则会更进一步增加胸膜腔内压,会增加对血液循环的影响。

在CPR过程中呼吸机设置一般分为压力控制正压通气和容量控制正压通气:使用压力控制正压通气时,由于CPR时胸外按压会造成胸膜腔内压的不稳定,气道压力急剧变化,此时按照常规预设的压力难以保证有效通气,但若是依靠调高预设压力水平来保证按压过程中的通气量,则存在高气道压引起的肺损伤的风险,增加呼吸系统损伤的潜在可能^[29],所以目前在CPR过程中压力控制正压通气的应用率较低。

容量控制正压通气模是目前临床工作和实验

研究中使用较多的通气模式,能按照预设的潮气量通气,保证机体的有效通气量,但由于胸外按压期间会出现按压与通气同步的情况,这会导致气道压急剧升高,呼吸及通气压力也不断增高,直至超过预设的气道峰压,吸气自动转化成呼气,此时也有不能保证有效通气的情况,并且在胸外按压放松时,由于胸廓的回弹,导致胸膜腔内压的减低,会在气道内产生负压,触发呼吸机的送气,从而导致过度通气的情况,因此有研究者建议将高压报警限制提高至60~100 cmH₂O(1 cmH₂O=0.098 kPa),以此保证按压时的有效通气量,并且将呼吸机触发压力降低至20 cmH₂O以上甚至将触发功能关闭,以此减少过度通气的发生^[30]。压力控制正压通气和容量控制正压通气在胸外按压过程中均能获得良好的通气效果。但容量控制正压通气模式可以降低肺组织的压力,减少肺泡过度膨胀,并且能控制潮气量,减少气压伤的发生,从而减轻肺损伤。这种肺保护作用可以提供更好的氧合和通气效果,从而减少组织缺氧和乳酸产生,提高抢救的成功率和改善预后^[31]。

目前CPR中新的呼吸机模式有CPR通气模式,该模式将胸外按压与人工通气相结合,仅需设置潮气量和呼吸频率,方便快捷,在使用过程中屏蔽吸气触发,避免误触发,保证通气频率精准,并且屏蔽无关报警,能自动适当调节压力报警上限,防止触发高压报警导致吸呼气的转换而影响有效通气量,还可根据胸外按压的指示音调整心脏按压频率,提供更加稳定、高效的氧气供应,提高复苏成功率。有研究显示胸外按压同步通气模式能够在CPR中提供更好的动脉血氧分压和低动脉二氧化碳分压,维持更好的通气和氧合^[32]。胸外按压同步通气模式在按压时触发呼吸机送气,胸廓回弹时进入呼气模式,减少按压和通气同步进行以及过度通气的发生,维持相对稳定的气道压力变化,从而减少正压通气对静脉回流入心脏的抑制,提高循环效益。这些新型的呼吸机通气模式在CPR中的应用逐渐增加,但仍需要更多的临床应用来明确优势,进而推广使用。

4.2 潮气量和通气频率:确保氧合情况下采用低潮气量通气,允许轻度高碳酸血症,保护肺组织并改善预后。

CPR过程中的潮气量时决定复苏效率关键之一,通气频率与潮气量相关联,潮气量与血液灌注相匹配,形成合适的通气血流比值使血液完成更好的氧合,为骤停期间各器官提供血液和氧供,减少骤停期间的缺血缺氧损伤及恢复灌注后形成再灌注损伤^[29]。目前指南推荐在心脏骤停期间对成人使用大潮气量通气,减少按压期间的通气-灌注不匹配,另一方面又基于肺保护性通气策略,为减少

因大潮气量引起的气道压明显升高以及后续对血液循环的影响,潮气量推荐为 6~8 mL/kg,通气频率为 10~12 次/min,以实现复苏期间较好的综合效益^[33]。在复苏通气期间要根据血气分析结果调整通气频率和潮气量,避免过度通气和通气不足,也可以通过呼气末二氧化碳来反应通气情况,并且能体现 CPR 的有效性,现新研发的实时数字反馈装置能实时评估潮气量,指导 CPR 过程中的最佳通气,减少过度通气和通气不足的发生^[34]。在 CPR 期间,大潮气量及过高的通气频率会导致高气道压,增加胸膜腔内压,减少静脉回流并增加肺血管阻力,导致心输出量和冠状动脉及脑灌注的减少,ROSC 率降低^[35]。在 ROSC 后,推荐使用低潮气量通气(6~8 mL/kg),低潮气量通气在保证患者氧供的同时,也不会导致严重的高碳酸血症而加重患者病情,并且在 CPR 中轻度高碳酸血症是允许的^[36],尽管高碳酸血症会加重缺血缺氧引起的代谢性酸中毒,有导致血流动力学不稳定的风险,同时与 PaCO₂ 水平升高相关的担忧包括脑水肿增加影响灌注和右心室功能受损影响循环,这些都可能影响预后不良,但适度的高碳酸血症会导致脑血管舒张,可增加脑血流,改善脑缺血和灌注,并具有神经保护作用,有研究显示轻度高碳酸血症可改善出院时的生存率和神经系统预后,正常高值的二氧化碳分压和中度高氧能增加脑部氧供,改善患者神经预后^[37-38]。低碳酸血症被认为在 ROSC 后期是有害的,继发于低碳酸血症引起的脑血管收缩,会导致脑血流量减少和脑缺血增加,可能加剧缺氧性脑损伤。低碳酸血症也被认为通过增加神经兴奋性而增加脑需氧量,从而加重缺血/再灌注损伤,而增加脑需氧量在缺氧脑损伤中可能是有害的^[39]。因此目前采用 6~8 mL/kg 潮气量,通气频率 10~12 次/min,根据多方式监测通气水平,避免过度通气和通气不足,允许轻度高碳酸血症是可取的。

4.3 吸氧浓度;保证血氧,减少缺氧与高氧损伤,在维持氧供情况下采用常氧通气

在 CPR 过程中,吸氧浓度也是决定复苏成功率和预后之一,目前指南建议在 CPR 期间尽可能给予最大的吸氧浓度,以恢复骤停期间消耗的氧和纠正组织缺氧,有利于复苏的成功,提高生存率^[33],缺氧缺血性脑损伤是心脏骤停后死亡和残疾的主要原因,在 ROSC 后,较低的氧治疗目标可能导致氧输送不足和缺氧缺血性脑病,研究显示较高的动脉氧分压与提高 ROSC 率之间存在关联,同时 ROSC 后的缺氧与出院前的生存率降低有关^[40]。氧供的选择在一定范围内对患者的预后是有利的,适度的提高氧分压有利于患者的组织供氧,改善缺血缺氧,但是有研究显示^[41-42],在 CPR 后的高氧环境[氧分压 > 300 mmHg(1 mmHg =

0.133 kPa)]对组织有损害作用,骤停期间组织存在缺血缺氧,给予骤停患者大浓度氧供后,会使患者处于一个高氧暴露环境,一方面会导致缺血缺氧再灌注损伤,另一方面与氧自由基生成所导致的一系列氧化应激损伤有关,包括线粒体呼吸氧化损伤、脑脂质氧化和促进细胞炎症反应,这些都是持续高氧环境的副产物,导致活性氧增加,引起细胞损伤^[43]。与正常缺氧相比,高氧与出院时较差的预后存在关联^[42]。复苏后常氧治疗可减轻多器官氧化应激,改善 CA 后器官损伤、氧代谢和生存率^[44]。有研究提出 PaO₂ 的最佳范围为 77~220 mmHg,维持氧分压在此范围内可获得更好的预后,减少氧相关损伤^[45]。也有系统回顾发现针对低氧或高氧策略与 OHCA 后 ROSC 患者的短期生存改善差异无统计学意义;在最长随访期的生存率、良好的神经预后、ICU 住院时间或再骤停风险方面,组间也差异无统计学意义^[46]。关于复苏氧供的策略,需要更多的随机对照试验来明确治疗效果,为诊疗策略提供帮助。目前的复苏指南建议对 ROSC 后患者滴定 FiO₂,以避免缺氧和长时间暴露于高氧。在心脏骤停患者复苏成功后,建议将氧浓度调节至适当水平,根据血气分析结果滴定氧浓度,维持血氧饱和度和氧分压处于一个正常水平。

4.4 PEEP:逐步滴定 PEEP,发挥 PEEP 改善通气功能的作用,监测对血流动力学的影响

呼气末正压可以防止肺不张,使塌陷的肺泡复张,增加功能剩余量,并减少肺内分流,从而改善氧合,在肺炎、肺水肿等导致肺部顺应性下降时,PEEP 改善氧合的作用将更加明显^[47-48],但是在增加呼气末正压的同时,会导致胸膜腔内压的增高,影响 CPR 期间的静脉回流,有研究显示即使在高 PEEP 水平下,也没有观察到有害的血流动力学影响,强调了氧合在不损害器官灌注的情况下的潜在益处^[49],基于 PEEP 对于肺通气功能的改善作用,并且对血流动力学无明显损害。因此目前的指南建议 CPR 期间的 PEEP 设置为 0,尽可能不影响静脉回流,可根据循环和氧合适当调整,有研究显示适当的 PEEP(0~5 cmH₂O)可增加潮气量,改善预后,这可能与复苏按压时空气的加速排出及减压过程中阻止空气进入,使呼吸机送气具有更多的空间,使得氧合的改善和肺血管阻力的降低,从而改善胸外按压产生的血流量有关^[50]。

5 总结与展望

综上,CPR 过程中的氧供极其重要,对患者预后起关键作用,在有条件的情况进行通气指标监测,根据通气指标调整会呼吸支持方式,灵活调整氧供策略。目前主要人工气道建立方式各有利弊,没有明确的证据表明哪一种气道技术在结果方面比另一种更好,人工气道的选择应取决于操作者的

技能熟练程度和当时的急救环境,建议采取分阶段气道策略,在减少胸外按压中断的情况下,以恢复患者氧合为主要目标进行呼吸支持,联合使用通气方式也值得进一步实践。呼吸支持方面仍存在许多未明确的观点,综合目前观点:在 CPR 期间采用容量控制通气,低潮气量通气,允许轻度高碳酸血症,给予最大吸氧浓度并避免暴露于高氧环境。在未来的研究中,需要更多的证据来比较不同情况下气道管理技术的优劣和呼吸支持的调整方案,以选择最适合的氧疗策略,但 CPR 的研究存在多种混杂因素如基础疾病、环境与设备、社会人文因素等的影响,在后续的研究中应尽量减少其他因素的影响,以获取更加科学、合理的研究结果。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 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.
- [2] Høybye M, Stankovic N, Holmberg M, et al. In-hospital vs. out-of-hospital cardiac arrest: patient characteristics and survival[J]. *Resuscitation*, 2021, 158:157-165.
- [3] 中国心脏骤停与心肺复苏报告编写组. 中国心脏骤停与心肺复苏报告(2022年版)概要[J]. *中国循环杂志*, 2023, 38(10):1005-1017.
- [4] van Eijk JA, Doeleman LC, Loer SA, et al. Ventilation during cardiopulmonary resuscitation: a narrative review[J]. *Resuscitation*, 2024, 203:110366.
- [5] van Schuppen H, Boomars R, Kooij FO, et al. Optimizing airway management and ventilation during pre-hospital advanced life support in out-of-hospital cardiac arrest: a narrative review[J]. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*, 2021, 35(1):67-82.
- [6] Yang ZZ, Liang HR, Li JY, et al. Comparing the efficacy of bag-valve mask, endotracheal intubation, and laryngeal mask airway for subjects with out-of-hospital cardiac arrest: an indirect meta-analysis[J]. *Ann Transl Med*, 2019, 7(12):257.
- [7] Gerber L, Botha M, Laher AE. Modified two-rescuer CPR with a two-handed mask-face seal technique is superior to conventional two-rescuer CPR with a one-handed mask-face seal technique[J]. *J Emerg Med*, 2021, 61(3):252-258.
- [8] 李清. 气囊面罩联合机械通气在气管插管前的应用研究[J]. *现代诊断与治疗*, 2022, 33(7):1008-1010.
- [9] Jabre P, Penalzoa A, Pinero D, et al. Effect of bag-mask ventilation vs endotracheal intubation during cardiopulmonary resuscitation on neurological outcome after out-of-hospital cardiorespiratory arrest: a randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2018, 319(8):779-787.
- [10] Lupton JR, Schmicker RH, Stephens S, et al. Outcomes with the use of bag-valve-mask ventilation during out-of-hospital cardiac arrest in the pragmatic airway resuscitation trial[J]. *Acad Emerg Med*, 2020, 27(5):366-374.
- [11] Chang H, Jeong D, Park JE, et al. Prehospital airway management for out-of-hospital cardiac arrest: a nationwide multicenter study from the KoCARC registry[J]. *Acad Emerg Med*, 2022, 29(5):581-588.
- [12] Jung E, Ro YS, Ryu HH, et al. Association of prehospital airway management technique with survival outcomes of out-of-hospital cardiac arrest patients[J]. *PLoS One*, 2022, 17(6):e0269599.
- [13] Smida T, Menegazzi J, Crowe R, et al. A retrospective nationwide comparison of the iGel and king laryngeal tube supraglottic airways for out-of-hospital cardiac arrest resuscitation[J]. *Prehosp Emerg Care*, 2024, 28(2):193-199.
- [14] Smida T, Menegazzi J, Scheidler J, et al. A retrospective comparison of the king laryngeal tube and iGel supraglottic airway devices: a study for the CARES surveillance group[J]. *Resuscitation*, 2023, 188:109812.
- [15] Segond N, Bellier A, Duhem H, et al. Supraglottic airway device to improve ventilation success and reduce pulmonary aspiration during cardio-pulmonary resuscitation by basic life support rescuers: a randomized cross-over human cadaver study[J]. *Prehosp Emerg Care*, 2023, 27(5):695-703.
- [16] Schoenthal T, Hoiland R, Griesdale DE, et al. Cerebral hemodynamics after cardiac arrest: implications for clinical management[J]. *Minerva Anesthesiol*, 2023, 89(9):824-833.
- [17] Wang CH, Lee AF, Chang WT, et al. Comparing effectiveness of initial airway interventions for out-of-hospital cardiac arrest: a systematic review and network meta-analysis of clinical controlled trials[J]. *Ann Emerg Med*, 2020, 75(5):627-636.
- [18] Bielski A, Smereka J, Madziala M, et al. Comparison of blind intubation with different supraglottic airway devices by inexperienced physicians in several airway scenarios: a manikin study[J]. *Eur J Pediatr*, 2019, 178(6):871-882.
- [19] Bengner JR, Kirby K, Black S, et al. Supraglottic airway device versus tracheal intubation in the initial airway management of out-of-hospital cardiac arrest: the AIRWAYS-2 cluster RCT[J]. *Health Technol Assess*, 2022, 26(21):1-158.
- [20] Wang HE, Schmicker RH, Daya MR, et al. Effect of a strategy of initial laryngeal tube insertion vs endotracheal intubation on 72-hour survival in adults with out-of-hospital cardiac arrest: a randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2018, 320(8):769-778.
- [21] Lee AF, Chien YC, Lee BC, et al. Effect of placement of a supraglottic airway device vs endotracheal intubation on return of spontaneous circulation in adults with out-of-hospital cardiac arrest in Taipei, Taiwan: a cluster randomized clinical trial[J]. *JAMA Netw Open*, 2022, 5(2):e2148871.
- [22] Andersen LW, Granfeldt A, Callaway CW, et al. Association between tracheal intubation during adult in-hospital cardiac arrest and survival[J]. *JAMA*, 2017, 317(5):494-506.

- [23] Wang CH, Chen WJ, Chang WT, et al. The association between timing of tracheal intubation and outcomes of adult in-hospital cardiac arrest: a retrospective cohort study[J]. *Resuscitation*, 2016, 105: 59-65.
- [24] Carney N, Totten AM, Cheney T, et al. Prehospital airway management: a systematic review[J]. *Prehosp Emerg Care*, 2022, 26(5): 716-727.
- [25] Song SR, Kim KH, Park JH, et al. Association between prehospital airway type and oxygenation and ventilation in out-of-hospital cardiac arrest[J]. *Am J Emerg Med*, 2023, 65: 24-30.
- [26] Tang Y, Sun M, Zhu A. Outcome of cardiopulmonary resuscitation with different ventilation modes in adults: a meta-analysis[J]. *Am J Emerg Med*, 2022, 57: 60-69.
- [27] 赖文清, 郭带珍. 不同通气方式对急诊心肺复苏患者治疗效果的影响[J]. *医学理论与实践*, 2020, 33(20): 3367-3369.
- [28] Murphy DL, Bulger NE, Harrington BM, et al. Fewer tracheal intubation attempts are associated with improved neurologically intact survival following out-of-hospital cardiac arrest[J]. *Resuscitation*, 2021, 167: 289-296.
- [29] Neth MR, Idris A, McMullan J, et al. A review of ventilation in adult out-of-hospital cardiac arrest[J]. *J Am Coll Emerg Physicians Open*, 2020, 1(3): 190-201.
- [30] Newell C, Grier S, Soar J. Airway and ventilation management during cardiopulmonary resuscitation and after successful resuscitation[J]. *Crit Care*, 2018, 22(1): 190.
- [31] 叶朗熙, 吴国新, 陈盛安. 心肺复苏仪按压过程中不同通气模式的效果及对潮气量的影响[J]. *中国急救复苏与灾害医学杂志*, 2024, 19(5): 565-568.
- [32] 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.
- [33] Berg KM, Soar J, Andersen LW, et al. Adult advanced life support: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations[J]. *Circulation*, 2020, 142(16_suppl_1): S92-S139.
- [34] Data S, Nelson BD, Cedrone K, et al. Real-time digital feedback device and simulated newborn ventilation quality[J]. *Pediatrics*, 2023, 152(5): e2022060599.
- [35] Mohnke K, Buschmann V, Baller T, et al. The influence of ultra-low tidal volume ventilation during cardiopulmonary resuscitation on renal and hepatic end-organ damage in a porcine model[J]. *Biomedicines*, 2023, 11(3): 899.
- [36] Fitz-Clarke JR. Effect of tidal volume on gas exchange during rescue ventilation[J]. *Respir Physiol Neurobiol*, 2020, 273: 103335.
- [37] Gordon GR. Neurovascular coupling during hypercapnia in cerebral blood flow regulation[J]. *Nat Commun*, 2024, 15(1): 7636.
- [38] Gendreau S, Geri G, Pham T, et al. The role of acute hypercapnia on mortality and short-term physiology in patients mechanically ventilated for ARDS: a systematic review and meta-analysis[J]. *Intensive Care Med*, 2022, 48(5): 517-534.
- [39] Eastwood G, Nichol AD, Hodgson C, et al. Mild hypercapnia or normocapnia after out-of-hospital cardiac arrest[J]. *N Engl J Med*, 2023, 389(1): 45-57.
- [40] Hong SI, Kim JS, Kim YJ, et al. Dynamic changes in arterial blood gas during cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 23165.
- [41] Wang HE, Prince DK, Drennan IR, et al. Post-resuscitation arterial oxygen and carbon dioxide and outcomes after out-of-hospital cardiac arrest[J]. *Resuscitation*, 2017, 120: 113-118.
- [42] Shou BL, Ong CS, Premraj L, et al. Arterial oxygen and carbon dioxide tension and acute brain injury in extracorporeal cardiopulmonary resuscitation patients: analysis of the extracorporeal life support organization registry[J]. *J Heart Lung Transplant*, 2023, 42(4): 503-511.
- [43] Solevåg AL, Garcia-Hidalgo C, Cheung PY, et al. Ventilation with 18, 21, or 100% oxygen during cardiopulmonary resuscitation of asphyxiated piglets: a randomized controlled animal trial[J]. *Neonatology*, 2020, 117(1): 102-110.
- [44] Okuma Y, Becker LB, Hayashida K, et al. Effects of post-resuscitation normoxic therapy on oxygen-sensitive oxidative stress in a rat model of cardiac arrest[J]. *J Am Heart Assoc*, 2021, 10(7): e018773.
- [45] Chang WT, Wang CH, Lai CH, et al. Optimal arterial blood oxygen tension in the early postresuscitation phase of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: a 15-year retrospective observational study[J]. *Crit Care Med*, 2019, 47(11): 1549-1556.
- [46] Xu Y, Peng F, Wang SY, et al. Lower versus higher oxygen targets after resuscitation from out-of-hospital cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *J Crit Care*, 2024, 79: 154448.
- [47] Levenbrow Y, Hossain MJ, Keith JP, et al. The effect of positive end-expiratory pressure on cardiac output and oxygen delivery during cardiopulmonary resuscitation[J]. *Intensive Care Med Exp*, 2020, 8(1): 36.
- [48] Bastia L, Engelberts D, Osada K, et al. Role of positive end-expiratory pressure and regional transpulmonary pressure in asymmetrical lung injury[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2021, 203(8): 969-976.
- [49] Renz M, Müllejans L, Riedel J, et al. High PEEP levels during CPR improve ventilation without deleterious haemodynamic effects in pigs[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(16): 4921.
- [50] Segond N, Terzi N, Duhem H, et al. Mechanical ventilation during cardiopulmonary resuscitation; influence of positive end-expiratory pressure and head-torso elevation[J]. *Resuscitation*, 2023, 185(10): 109685.

(收稿日期: 2024-09-06)