

# 心肺复苏辅助装置和团队心肺复苏的研究进展

张晓东 罗丽 项涛

(西南交通大学附属医院,成都市第三人民医院急诊科,四川 成都 610031)

**【摘要】** 高质量的胸外按压是高质量心肺复苏的核心。心肺复苏辅助装置和团队心肺复苏可改善人工胸外按压的低效能,因此在心搏骤停抢救中使用越来越广泛。现主要对心肺复苏辅助装置的原理、研究进展、应用前景和团队心肺复苏的发展理念进行综述。

**【关键词】** 心肺复苏;辅助装置;团队心肺复苏;心搏骤停

**【DOI】** 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2021.05.014

## Cardiopulmonary Resuscitation Auxiliary Device and Team-Focused Cardiopulmonary Resuscitation

ZHANG Xiaodong, LUO Li, XIANG Tao

(Emergency Department, The Third People's Hospital of Chengdu, The Affiliated Hospital of Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, Sichuan, China)

**【Abstract】** High quality chest compressions are crucial for high quality cardiopulmonary resuscitation. Cardiopulmonary resuscitation auxiliary device and team-focused cardiopulmonary resuscitation could improve the low efficiency of artificial chest compressions, so they are more and more widely used in sudden cardiac arrest rescue. This article mainly reviews the principle, research progress and application prospect of cardiopulmonary resuscitation auxiliary device and development concept of team-focused cardiopulmonary resuscitation.

**【Key words】** Cardiopulmonary resuscitation; Auxiliary device; Team-focused cardiopulmonary resuscitation; Sudden cardiac arrest

心血管疾病仍然是目前人类主要的死亡原因,每年约有 1 700 万例,占全球总死亡率的 30%,其中心搏骤停约占一半。每年有超过 600 万人死于心源性猝死。尽管目前做了相当大的努力,但心搏骤停患者接受心肺复苏(cardiopulmonary resuscitation, CPR)后自主循环恢复(return of spontaneous circulation, ROSC)率和神经系统完好率仍很低,完全恢复的患者不到 1%<sup>[1]</sup>。

高质量 CPR 能提高心搏骤停患者 ROSC 率以及神经系统完好率。辅助按压装置能克服人工按压的不足,较传统人工胸外按压有更好的按压效率。胸部完全回弹与足够的按压深度同样重要,不完全回弹会导致胸腔压力升高,减少血液流向右心,最终引起心输出量和脑血流量减少<sup>[2]</sup>,因此增加胸内负压的辅助装置有助于提高人工或机械 CPR 的综合效果。机械辅助装置在使用安装过程中也会导致胸外按压的中断,因此为了尽可能减少按压中断的时间,保证至少 60% 的胸外按压时间比,在抢救使用过程中需 CPR 团队的

组织和高效配合。

本综述结合 CPR 的机制,通过总结现有的 CPR 辅助装置及团队心肺复苏(team-focused cardiopulmonary resuscitation, TFCPR)的最新进展,探讨优化的高质量 CPR 的方法和理念。

### 1 辅助按压装置

高质量的胸外按压是高质量 CPR 的核心,强调尽早开始,保证按压的频率和深度以及充分的胸廓回弹,尽量减少按压中断<sup>[3]</sup>。而其中按压频率和深度的研究证实,当按压频率为 100 次/min 时,ROSC 和神经系统损伤恢复才能达到较理想的水平;深度若 < 2.5 cm 会导致存活率降低 50%<sup>[4]</sup>。通常情况下,人工胸外按压只能维持正常心输出量的 20% ~ 30%,并且流向大脑和心脏的局部血流甚至 < 10%。随着时间的推移,施救者的体力下降以及转运过程中的突发情况会进一步导致人工胸外按压的质量下降<sup>[5]</sup>。为了改善人工按压的低质量,辅助按压装置应运而生。

基金项目:四川省卫生和计划生育委员会科研课题(18PJ323)

通信作者:项涛, E-mail: 1142752929@qq.com

### 1.1 手动按压装置

主动加压减压(active compression decompression, ACD)泵为手动按压装置,同时又是一种增加胸内负压的装置。在胸部按压后提举胸廓,使患者胸廓充分扩张,在主动减压的上行过程中,吸盘产生的真空环境有效地降低了胸腔内的压力,使心脏舒张期右心和腔静脉压力降低,促进血液充分回流入右心,心输出量增加<sup>[6]</sup>。ACD 泵因此能极大地提高患者 ROSC 的概率。随着按压频率、时间、深度和力度的增加,其传递向心脏的动力增加,心脏收缩力增强,从而降低淤滞血液的阻力,使心脏的射血功能增强。何庆等<sup>[7]</sup>的研究表明使用 ACD 泵进行 CPR 与标准 CPR 相比,ROSC 率及存活入院率升高,且复苏后收缩压也明显升高。赵群等<sup>[8]</sup>的研究也证实,使用 ACD 泵能使患者的窦性心律恢复时间缩短,收缩压在相同的时间内回升量升高,存活率升高。ACD 泵用于 CPR 能有效地保证胸外按压的质量,增加了心输出量,提高了 ROSC 率以及复苏存活率,但在使用过程中也需注意避免 ACD 泵带来的胸壁及肋骨损伤<sup>[9-10]</sup>。

此外还有其他的手动按压装置,如利用杠杆原理设计的手动杠杆式胸外按压 CPR 装置。在模拟人试验中,该装置可减轻按压者疲劳,有助于提高院内 CPR 时长时间胸外按压质量<sup>[11]</sup>。

### 1.2 自动机械按压装置

目前国内外使用的自动机械按压装置有三大类四种,分别是活塞式(Thumper and Lucas)、负荷分布式(AutoPluse)以及活塞负荷分布结合式(Weil MCC)。

单纯活塞式装置 Thumper 虽面世最早但目前已很少在临床使用。它是根据气动原理和心泵理论提供自动胸外点式按压。而 LucasCPR 机则是在 Thumper 基础上结合 ACD 泵的原理进行改良制成的自动化机械 ACD 装置,将心泵理论发展到胸泵和肺泵理论。Lund 大学推出的 Lucas 心脏辅助系统按压头采用了吸盘式,在按压的同时可向上提拉胸廓,使其充分回弹,使胸腔内产生一个较大的负压,从而促进血液回流入心。国内外有部分研究表明使用 Lucas 能改善血流动力学参数,在动物实验和院前特殊环境下能提高 ROSC 率<sup>[12]</sup>,但也有研究提示 Lucas 和手动 CPR 相比,ROSC 率和生存率无明显优势<sup>[13]</sup>。目前仍缺乏大型的高质量 RCT 研究进一步证实。

负荷分布式机械辅助装置突破了单纯胸腔按压的方式,基于胸泵理论阐释胸腔内压力的变化能驱动血液流动的原理。它使用的是一条负荷分布带,缠绕在患者胸部周围,与背板内置的电机相连,然后有节奏地收紧,以压缩整个胸部,使压力能均匀分布,并且能使

胸腔内压力在向下按压结束胸廓回弹时明显降低,从而增加回心血流。有研究显示负荷分布式机械辅助装置能改善实验动物血流动力学参数<sup>[14]</sup>,也有研究显示它的使用可提高院外心搏骤停患者的 CPR 成功率,但其改善脑功能的能力需进一步评估<sup>[15]</sup>。

Weil MCC 采用的是全胸腔包裹式的三维按压方式,结合了活塞式和分布式的优点,在做点压的基础上同时挤压胸腔,形成 360°内向受力,加强心输出量,增加胸内压。回弹时为 360°向外回弹,加强心房回流量,增加胸内负压。目前研究表明,与人工 CPR 相比,使用 Weil MCC 可显著提高冠状动脉灌注压。与 Thumper 和 Lucas 相比,Weil MCC 能显著改变胸腔内的正压和负压,获得更大的灌注量、更小的骨折风险和更少的愈后不良影响,并且它的机身体积小,重量轻,安装后能在倾斜的担架上使用,为担架转运中不间断按压提供了一种解决方法<sup>[16]</sup>。

### 1.3 阻抗阈值装置

Lurie 等<sup>[17-18]</sup>发现,无论是标准人工 CPR 还是 ACD-CPR 技术,按压周期中,胸廓回弹时胸内压降低,有部分气体被“吸入”肺,从而使胸内负压变小,影响血液回流于胸腔和心脏,导致下一次按压全身重要脏器血流灌注减少。阻抗阈值装置(impedance threshold device, ITD)的诞生正是为了解决这一问题。ITD 安装在面罩或气管导管和呼吸机或通气袋之间。在胸部减压期间,若胸腔内压力 $<10$  mm Hg( $1$  mm Hg $=0.133$  kPa),且处于自发或正压通气期间,ITD 就会启动内部的压力感受单向活瓣,这个单向活瓣可避免气体吸入,降低胸腔内压。此外,持续的胸腔内负压还可通过主动的胸腔内压力调节器来实现,ITD 因此能维持恒定的 5~10 mm Hg 的胸腔内负压,从而保证右心的静脉回流,增加心输出量。有研究表明,对心搏骤停患者应用 ITD 辅助 CPR 复苏后生存率优于未使用 ITD<sup>[19]</sup>。值得关注的是,PRIMED 试验及其后研究<sup>[20]</sup>表明,ITD 只有在高质量 CPR 的情况下使用,才能提高神经系统的恢复率,在不正确的 CPR 中使用可能导致神经系统不完全恢复或存活率降低等结果,因此,ITD 应在高质量 CPR 条件下使用。此外目前有团队正在进行常规 ITD 在出血性休克和冠状动脉旁路移植术中的应用研究<sup>[21]</sup>,关于 ITD 在 CPR 中的应用还需进一步深入研究。

ITD 和 ACD 能协同降低胸腔内负压,从而降低颅内压,增加右心静脉回流,增加心输出量,并改善 CPR 期间的脑血流量<sup>[22]</sup>。两种方法的联合使用将心搏骤停后的存活率提高了 50%,提高了神经功能的恢复率。如前文所述,ITD 的使用需高质量 CPR,可通过

使用 ACD 设备来达成这个条件。因为在人工 CPR 中,ITD 产生的胸腔内负压仅由胸部固有的弹性反冲产生,且复苏效果很大程度上取决于 CPR 的质量以及这个过程中可能发生的突发情况,如:按压导致的胸部损伤或肋骨骨折会显著降低弹性阻力,胸廓发生倾斜后吸入的液体也会对静脉回流产生不利影响<sup>[23]</sup>。而通过使用带有吸盘的 ACD 泵或带活塞装置的 LucasCPR 机,则能改善这一情况。后者与手动 ACD 装置相比,主动减压效果更好,按压深度和频率保持不变,因此可能有更好的复苏效果。

## 2 TFCPR 及其与机械装置的联合运用

### 2.1 TFCPR 建设

目前 AHA CPR 指南强调持续高质量按压和早期除颤,并在此基础上提出“集束化”治疗是目前的发展趋势<sup>[3]</sup>。TFCPR 是一种高效和团队化的院前 CPR 流程。2009 年在美国卡罗莱纳州开始用于院前 CPR,2012 年开始在全美广泛使用。它的创意来源于一级方程式赛车比赛中途赛车进站维保的流程,强调预先明确每一个抢救人员的站位和分工,细化每一步流程及时间分配。TFCPR 流程基于 AHA CPR 指南,强调持续高质量按压,尽量减少按压中断,早期除颤,并提出相对延后气管插管和静脉用药,通过反复的培训最终实现技能的固化<sup>[24]</sup>。2015 年 AHA 指南提出医护人员以团队形式实施 CPR,使得应急反应系统的启动和后续处理更加灵活,更加符合医护人员的实际临床环境。目前已有多项研究表明,在院前使用这种 TFCPR 模式能提高心搏骤停患者 ROSC 率、存活入院率、出院率及神经功能完好率。一项 2010—2014 年的大型回顾性队列研究纳入 14 129 例院前心搏骤停病例,研究表明与标准 CPR(符合 AHA CPR 指南要求,但未细化,强调每一步流程及时间分配的 CPR)相比,TFCPR 有更好的存活入院率、出院率及神经功能完好率<sup>[25]</sup>。另一项前后病例对照研究也报道了使用该流程前后对比 ROSC 率有显著的提高<sup>[26]</sup>。项涛等对 TFCPR 还提出了一种更为优化的流程和解决方案,并以此申请了急诊室 TFCPR 专利。通过高效团队组织、反复训练以及加强质量控制,TFCPR 的建设将是今后院内尤其是急诊抢救室 CPR 的一种发展趋势。

### 2.2 TFCPR 与机械装置的联合应用

将 CPR 辅助装置加入 TFCPR 的流程,可分担救援人员压力,减少救援人员的数量和体力消耗,缓解各级医院急诊科急救人力资源紧张的矛盾,另一方面还可缩短机械装置的安装时间。有研究显示,通过 TFCPR 高效合作可将安装 CPR 机的时间从原先的 50 s 缩短到 7~21 s,ROSC 率也明显增加(41% vs

26%)<sup>[27]</sup>。综上所述,TFCPR 联合机械装置能提高心搏骤停患者的抢救效果。

## 3 结论和展望

CPR 辅助装置从机制和理论上可提供稳定和持续的高质量胸外按压,能避免医师体力耗竭,节约人力资源,在长时程 CPR 和救护车及直升机等转运特定场景下也能保证按压质量及可持续<sup>[28]</sup>,并可在持续进行胸部按压过程中确保除颤安全。尽管目前对于机械辅助按压装置在 CPR 中的治疗效果仍存在争议,但随着机械技术革新,更轻便和容易快速安装的机械复苏辅助在对心搏骤停患者 CPR 的应用中可能会有更广阔的应用前景。

单纯一项技术的革新很难从本质上提高 CPR 的最终出院存活率及神经功能完好率。因此,需整合 TFCPR 与迭代更新的机械辅助设备,以提高 CPR 的总体质量。同时,需对机械辅助装置及 TFCPR 在临床中的治疗效果以及救治价值进行更大规模和多中心的高质量 RCT 临床研究,为心搏骤停患者提供更为有效和愈后更好的综合复苏方案。

## 参考文献

- [1] Roth GA,Johnson C,Abajobir A,et al. Global, regional, and national burden of cardiovascular diseases for 10 causes, 1990 to 2015 [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2017,70(1):1-25.
- [2] Yang CL,Wen J,Li YP,et al. Cardiocerebral resuscitation vs cardiopulmonary resuscitation for cardiac arrest:a systematic review[J]. *Am J Emerg Med*,2012,30(5):784-793.
- [3] No authors listed. Correction to: part 8: post-cardiac arrest care; 2015 American Heart Association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care[J]. *Circulation*,2017,136(10):e197.
- [4] Perez CA, Samudra N, Aiyagari V. Cognitive and functional consequence of cardiac arrest[J]. *Curr Neurol Neurosci Rep*,2016,16(8):70.
- [5] Ewy GA,Sanders AB. Alternative approach to improving survival of patients with out-of-hospital primary cardiac arrest[J]. *J Am Coll Cardiol*,2013,61(2):113-118.
- [6] Seethala RR, Esposito EC, Abella BS. Approaches to improving cardiac arrest resuscitation performance[J]. *Curr Opin Crit Care*,2010,16(3):196-202.
- [7] 何庆,万智,汪琳. 两种不同复苏方法对院前心搏骤停患者初期复苏效果的随机对照研究[J]. *中国危重病急救医学*,2003,5(15):292-294.
- [8] 赵群,吴莉. 主动按压减压泵在心搏骤停患者初步复苏中的应用[J]. *中华现代护理杂志*,2009,15(36):3901-3903.
- [9] Rabl W, Baubin M, Broinger G, et al. Serious complications from active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation[J]. *Int J Legal Med*, 1996,109(2):84-89.
- [10] Baubin M, Rabl W, Pfeiffer KP, et al. Chest injuries after active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation (ACD-CPR) in cadavers [J]. *Resuscitation*,1999,43(1):9-15.
- [11] 吴海东,王鹏,吴满辉,等. 手动杠杆式胸外按压心肺复苏装置对模拟院内心肺复苏按压质量和按压者疲劳影响的研究[J]. *广州医药*,2017,48(5):24-27.

(下转第 463 页)

展,2019,40(6):919-923.

- [27] Venetucci L, Denegri M, Napolitano C, et al. Inherited calcium channelopathies in the pathophysiology of arrhythmias[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2012, 9(10):561-575.
- [28] Antzelevitch C, Pollevick GD, Cordeiro JM, et al. Loss-of-function mutations in

the cardiac calcium channel underlie a new clinical entity characterized by ST-segment elevation, short QT intervals, and sudden cardiac death[J]. *Circulation*, 2007, 115(4):442-449.

收稿日期:2020-10-09

## (上接第 444 页)

- [12] Fox J, Fiechter R, Gerstl P, et al. Mechanical versus manual chest compression CPR under ground ambulance transport conditions[J]. *Acute Card Care*, 2013, 15(1):1-6.
- [13] Zhu N, Chen Q, Jiang Z, et al. A meta-analysis of the resuscitative effects of mechanical and manual chest compression in out-of-hospital cardiac arrest patients[J]. *Crit Care*, 2019, 23(1):100.
- [14] Casner M, Andersen D, Isaacs SM. The impact of a new CPR assist device on rate of return of spontaneous circulation in out-of-hospital cardiac arrest[J]. *Prehosp Emerg Care*, 2005, 9(1):61-67.
- [15] Gao C, Chen Y, Peng H, et al. Clinical evaluation of the AutoPulse automated chest compression device for out-of-hospital cardiac arrest in the northern district of Shanghai, China[J]. *Arch Med Sci*, 2016, 12(3):563-570.
- [16] Chen W, Weng Y, Wu X, et al. The effects of a newly developed miniaturized mechanical chest compressor on outcomes of cardiopulmonary resuscitation in a porcine model\*[J]. *Crit Care Med*, 2012, 40(11):3007-3012.
- [17] Lurie KG, Zielinski TM, 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.
- [18] Wolcke BB, Mauer DK, Schoefmann MF, et al. Comparison of standard cardiopulmonary resuscitation versus the combination of active compression-decompression cardiopulmonary resuscitation and an inspiratory impedance threshold device for out-of-hospital cardiac arrest[J]. *Circulation*, 2003, 108(18):2201-2205.
- [19] Lurie KG, Barnes TA, Zielinski T, et al. Evaluation of a prototypic inspiratory impedance threshold valve designed to enhance the efficiency of cardiopulmonary resuscitation[J]. *Respir Care*, 2003, 48(1):52-57.
- [20] Sugiyama A, Duval S, Nakamura Y, et al. Impedance threshold device combined with high-quality cardiopulmonary resuscitation improves survival with favorable

neurological function after witnessed out-of-hospital cardiac arrest[J]. *Circ J*, 2016, 80(10):2124-2132.

- [21] Noc M, Radsel P. Urgent invasive coronary strategy in patients with sudden cardiac arrest[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2008, 14(3):287-291.
- [22] Ji F, Li Z, Nguyen H, et al. Perioperative dexmedetomidine improves outcomes of cardiac surgery[J]. *Circulation*, 2013, 127(15):1576-1584.
- [23] Mohler MJ, Wendel CS, Mosier J, et al. Cardiocerebral resuscitation improves out-of-hospital survival in older adults[J]. *J Am Geriatr Soc*, 2011, 59(5):822-826.
- [24] Johnson B, Runyon M, Weekes A, et al. Team-focused cardiopulmonary resuscitation; prehospital principles adapted for emergency department cardiac arrest resuscitation[J]. *J Emerg Med*, 2018, 54(1):54-63.
- [25] Pearson DA, Darrell Nelson R, Monk L, et al. Comparison of team-focused CPR vs standard CPR in resuscitation from out-of-hospital cardiac arrest; results from a statewide quality improvement initiative[J]. *Resuscitation*, 2016, 105:165-172.
- [26] Stopyra JP, Courage C, Davis CA, et al. Impact of a "team-focused CPR" protocol on out-of-hospital cardiac arrest survival in a rural EMS system[J]. *Crit Pathw Cardiol*, 2016, 15(3):98-102.
- [27] Daniel MR, Timmy L, Casey O, et al. Mechanical, team-focused, video-reviewed cardiopulmonary resuscitation improves return of spontaneous circulation after emergency department implementation[J]. *J Am Heart Assoc*, 2020, 9(6):e014420.
- [28] Couper K, Yeung J, Nicholson T, et al. Mechanical chest compression devices at in-hospital cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis[J]. *Resuscitation*, 2016, 103:24-31.

收稿日期:2020-12-27