

## 成人心肺复苏最佳胸部按压点研究进展

钟红<sup>1</sup> 陈碧华<sup>2</sup> 梁婧<sup>1</sup> 黄婷婷<sup>1</sup> 王建红<sup>1</sup> 周满红<sup>1</sup>

<sup>1</sup>遵义医科大学附属医院急诊科,贵州遵义 563003; <sup>2</sup>陆军军医大学生物医学工程与影像学系,重庆 400000

通信作者:周满红, Email: manhongzhou@sina.com

**【摘要】** 胸外按压是心肺复苏(CPR)的关键组成部分,成人 CPR 胸部最佳按压点的确定是高质量胸外按压不可或缺的关键因素。目前对于成人 CPR 的最佳按压点尚存在争议,仍需进一步的研究和探讨。本文从胸外按压点的发展历程及血流动力学机制方面对成人 CPR 的最佳按压点研究进展进行综述,旨在为研究确定最佳按压点提供理论参考,从而提高 CPR 中胸外按压的质量,改善心搏骤停(CA)患者的临床结局。

**【关键词】** 心搏骤停; 心肺复苏; 胸外按压; 最佳按压点

**基金项目:** 国家自然科学基金青年科学基金项目(81701300); 贵州省研究生教育创新计划项目[黔教合YJSCXJH(2018)092]

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220329-00312

### Advances in the study of optimum chest compression point for adult cardiopulmonary resuscitation

Zhong Hong<sup>1</sup>, Chen Bihua<sup>2</sup>, Liang Jing<sup>1</sup>, Huang Tingting<sup>1</sup>, Wang Jianhong<sup>1</sup>, Zhou Manhong<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Emergency, Affiliated Hospital of Zunyi Medical College, Zunyi 563003, Guizhou, China; <sup>2</sup>Department of Biomedical Engineering and Imaging, Army Medical University, Chongqing 400000, China

Corresponding author: Zhou Manhong, Email: manhongzhou@sina.com

**【Abstract】** Chest compressions are a key component of cardiopulmonary resuscitation (CPR). The determination of the optimal compression point (OCP) in adult CPR is an indispensable critical factor for high quality chest compressions (CCs). At present, the OCP for adult CPR is still controversial, which still needs further research and discussion. To provide theoretical reference for determining the OCP, this paper reviews the research progress of the OCP of adult CPR from the development process of compression point and hemodynamic mechanism, so as to improve the quality of CCs and the outcome of cardiac arrest (CA) patients.

**【Key words】** Cardiac arrest; Cardiopulmonary resuscitation; Chest compression; Optimal compression point

**Fund program:** Youth Science Foundation Program of National Natural Science Foundation of China (81701300); Postgraduate Education Innovation Plan Project of Guizhou Province [Qian Jiaohe YJSCXJH(2018)092]

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220329-00312

心搏骤停(cardiac arrest, CA)的发病率和病死率很高,是全球重要的公共卫生问题之一<sup>[1]</sup>。2020年心肺复苏(cardiopulmonary resuscitation, CPR)和心血管急救治疗国际共识强调高质量 CPR 的内涵应包括按压期间的最佳位置和(或)最佳按压点、最优化胸外按压深度和频率等<sup>[2]</sup>,表明胸外按压是 CPR 的关键,决定了整个 CPR 的质量<sup>[3]</sup>,其中胸部最佳按压点位置的把握实际上会对 CPR 的质量产生重大的影响,因此,对 CPR 时最佳按压点的研究显得十分重要。现就针对成人 CPR 最佳按压点的研究进展综述如下。

### 1 成人 CPR 胸外心脏按压点的沿革过程

在先前的指南中,医疗救援人员通过食指和中指从肋骨边缘移动到胸骨下端的方法来寻找患者胸骨下半部,从而避免压迫剑突和腹部<sup>[4-5]</sup>。随后开展的人体模型研究表明,将手掌根部简单放置在患者胸部中心时,可使判断按压点的过程简单化,胸外按压得以尽早开始,复苏成功率也可能得以提高<sup>[6]</sup>。

2005年美国心脏协会(American Heart Association, AHA)指南提出,为了尽早对患者实施胸外按压,要求救援人员只需把手掌根部放在患者两乳头间胸部中心的胸骨上作为寻

找按压点的方法,对指导非专业人员进行胸外按压具有良好的效果<sup>[7]</sup>。然而,有研究显示,使用该方法进行胸外按压时,按压点偏向剑突的概率显著增加<sup>[8]</sup>,同时也会导致按压停顿和严重按压并发症<sup>[9]</sup>;而 CPR 期间长时间的按压停顿和严重按压并发症已经被证实是极其有害的,并且很快会对脑灌注压和患者预后造成不利影响<sup>[10]</sup>。Owen 等<sup>[10]</sup>研究比较了采用 2000 年与 2005 年欧洲复苏委员会(European Resuscitation Council, ERC)指南定位按压点的方法进行复苏的效果,显示虽然 2005 年 ERC 指南按压点定位方法简单易行,但是相比之下,按该指南操作时却增加了按压点偏离胸骨下半部的概率,可能会增加按压部位器官损伤的风险。

2010 年 AHA 指南强调按压部位应为胸部中心,即胸骨下半部,按压过程中手尽量不要离开按压点,以防按压移位造成按压点错误而对患者造成二次伤害<sup>[11]</sup>。2015 年 AHA 指南推荐的最佳按压点也无变化,理由可能是对最佳按压点的研究少且结论不一致<sup>[12]</sup>。2020 年 AHA 指南推荐的成人胸外按压点位置与 2015 年 AHA 指南一致,推荐按压部位仍为胸骨下半部,理由可能是需要改变按压点的研究缺乏令人信服的数据<sup>[13]</sup>。

## 2 胸外按压的血流动力学机制对按压点选择的影响

半个多世纪前,人们首次尝试解释 CPR 中胸外按压的工作原理,此后越来越多的专家学者对此开展研究,从而产生了心泵、胸泵和混合泵等血流动力学机制<sup>[14]</sup>。目前对于胸外按压最佳按压点的确定,多数基于胸外按压的血流动力学机制来开展研究。

**2.1 基于心泵机制的按压点研究进展:** 为了对胸外按压的原理进行解释,1960年 Kouwenhoven 教授<sup>[15]</sup>提出了胸外按压的心泵机制,该机制认为,胸外按压时血液之所以能够从心脏中泵出,是因为心脏位于胸骨、肋骨和胸椎之间,在进行胸外按压时心脏直接受到挤压促使左心室压力升高并最终超过主动脉压,从而促使二尖瓣关闭及主动脉瓣开放产生前向血流进入主动脉。

传统观点认为,基于心泵机制,在左心室直径最大的点上按压将最大限度地提高每搏输出量,从而认为左心室直径最大点就是最佳按压点<sup>[16-17]</sup>。根据心泵机制理论,直接按压左心室是很重要的,国际复苏联络委员会(International Liaison Committee on Resuscitation, ILCOR)建议将手放在胸骨下半部进行胸外按压来提高每搏输出量,从而提高复苏成功率<sup>[18]</sup>。然而 Nestaas 等<sup>[17]</sup>在对 144 例接受 CPR 的患者进行心血管磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)检查时发现,只有 3% 患者的左心室位于胸骨下半部,因此认为胸骨下半部并不能代表左心室的位置;而该研究假设胸骨中部左侧和尾部是最佳按压点,但这一假设还需要大量的研究来验证。Park 等<sup>[19]</sup>研究认为,左心室直径最大点的胸部表面参考位置应位于胸骨中部最左侧,因此认为最佳按压点就在该点。Kim 等<sup>[20]</sup>根据左右心室直径最大点来寻找最佳按压点,研究结果显示,最佳按压点为胸骨中部右侧。还有研究人员也认为,在胸骨中部右侧按压可以增加呼气末二氧化碳分压(end-tidal carbon dioxide partial pressure,  $P_{Et}CO_2$ )的数值,表明在此处进行胸外按压的确更有效<sup>[21-22]</sup>。

**2.2 基于胸泵机制的按压点研究进展:** 在 20 世纪 80 年代早期,一些研究提出了对 CPR 时血流机制的不同解释,即胸泵机制<sup>[23]</sup>。胸泵机制认为,在进行胸外心脏按压时胸腔内压力增高,从而在胸腔内血管和胸腔外血管之间形成了压力梯度,从而推动了前向血流的形成。

Criley 等<sup>[24]</sup>发现,在无任何外部力量压迫胸腔的情况下,导管实验室中经历心室颤动的患者通过反复咳嗽维持血流和意识长达 40 s,符合胸泵机制。Weisfeldt 和 Halperin<sup>[25]</sup>对 2 名因外伤继发连枷胸致 CA 的患者进行了常规 CPR,随着胸骨连续性被修复,防止了异常的胸部扩张,每次与按压同步的可测量动脉血压显著提高,提示胸泵机制的重要性。Porter 等<sup>[26]</sup>观察到在 CPR 中同时存在胸泵和心泵机制,其中一组显示胸外按压时压缩期二尖瓣关闭支持心泵机制,另一组显示胸外按压时压缩期二尖瓣打开支持胸泵机制。

胸泵机制认为,在 CPR 过程中被按压的结构不仅仅是胸骨,而是整个胸腔,包括与胸骨相连的肋骨<sup>[14]</sup>。基于胸泵机制的原理, Halperin 等<sup>[27]</sup>在犬的 CPR 动物模型研究中通

过使用 CPR 背心环绕动物的胸部,快速充气放气来达到充分均匀按压胸部的目的,使用 CPR 背心进行 CPR 的动物存活率显著高于常规手动 CPR 组和其他机械按压组。按照胸泵机制的原理,人们还研究出了更加便携灵敏的复苏装置<sup>[14, 28]</sup>。

**2.3 基于混合泵机制的按压点研究进展:** 在 CPR 的最初阶段,心泵机制可能起主要作用,但在复苏过程中,随着时间推移,胸泵机制的作用所造成的影响则会逐渐增加,在长时程 CPR 中变得更为重要<sup>[14]</sup>。在 CPR 中,两种理论都可能发挥作用,这取决于患者的胸部解剖结构<sup>[29]</sup>和胸骨的“铰链”运动<sup>[30]</sup>。在左心室位于胸骨下部后方的患者中,由于左心室直接受到胸骨下部的压迫,因此心泵机制占主导地位。相反,当左心室更偏向胸骨上部时,胸泵机制则占主导地位,因为胸骨下部只有部分压迫左心室,并且主要是依赖间接的胸内压力而不是靠心脏直接受压增加来建立整个心脏的动静脉压力梯度,迫使血液沿梯度向前移动并从胸腔流向体循环。

基于上述机制,人们进行了各种各样的模拟研究,以进一步了解 CPR 的血流动力学原理,其中大多数研究是基于 Babbs 提出的模型,该模型将心泵机制与胸泵机制相结合,从而提出了混合泵机制的假说<sup>[31]</sup>,该假说认为,心泵和胸泵机制同时发挥作用,心房和心室受到胸腔内压力变化的影响而同时被直接压缩<sup>[32]</sup>。基于混合泵机制的假说,心房和心室在胸骨和脊柱之间被均匀压缩,并且由按压引起的胸内压力变化也被均匀施加给 4 个心腔<sup>[17]</sup>。或许因为如此,当前指南推荐成人胸外按压的按压点是胸骨下半部“中线”<sup>[13]</sup>,而并不提偏于左侧或者右侧。Cha 等<sup>[33]</sup>研究了 114 例 CPR 成功后接受胸部 CT 检查的患者,得出在胸骨剑突交界处按压心脏可能更有效的结论;但是,在此处按压也极易导致剑突断裂受损,因此也有不可取之处。

基于目前的证据,单一的理论可能不足以解释患者在 CPR 中前向血流的发展和维持<sup>[14]</sup>,很可能在特定情况下还涉及其他机制,而这取决于临床和病理生理因素之间复杂的相互作用。

**2.4 基于  $P_{Et}CO_2$  指导的按压点研究进展:**  $P_{Et}CO_2$  是反映 CPR 期间心排血量和全身血流组织灌注的可靠指标<sup>[34]</sup>。Qvigstad 等<sup>[21]</sup>在一项前瞻性临床试验研究中对利用毛细血管成像技术优化胸外按压的可行性进行评估,并确定最佳按压点,研究者测定了不同按压点的  $P_{Et}CO_2$ ,但由于受试者之间存在个体差异,无法确定最佳按压点,同时也说明个体之间的差异性会使得传统按压点并非适用每一个个体。此项研究值得引起我们的注意,确定最佳按压点应该考虑到两个因素,即个体差异性和易于在人体中识别。Cha 等<sup>[35]</sup>在一项前瞻性临床试验中指出,与传统按压点相比,在成人胸骨下端胸外按压时的  $P_{Et}CO_2$  更高,较高的  $P_{Et}CO_2$  表明胸骨下端按压点产生了较高的心排血量和肺组织血流灌注。但是,该研究还存在许多不足,包括未考虑按压深度对试验的影响,以及并未在按压全程将胸骨下端作为按压点等,因此试验结果还有待进一步考量。2020 年 ILCOR 的一项系统综述指出,在胸骨下 1/3 处进行按压时的  $P_{Et}CO_2$  更好,该处可能

是理想的最佳按压点<sup>[2]</sup>。

### 3 小结与展望

高质量胸外按压对于 CPR 尤其重要。成人 CPR 时胸外按压最佳按压点的确定,是高质量胸外按压不可缺少的关键因素。尽管 2020 年 AHA 指南确定了成人 CPR 时按压点为胸骨下半部<sup>[13]</sup>,但此位置是否为最佳按压点,仍存在争议,还有待进一步证实。研究人员应该继续在整个 CA 患者群体中科学地寻找最佳按压点,使其在前向血流、受伤风险和易于识别点之间达到最佳平衡。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参考文献

- [1] Neumar RW, Shuster M, Callaway CW, et al. Part 1: executive summary: 2015 American Heart Association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care [J]. *Circulation*, 2015, 132 (18 Suppl 2): S315-S367. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000252.
- [2] Adult Basic Life Support Collaborators. Adult basic life support: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations [J]. *Circulation*, 2020, 142 (16\_suppl\_1): S41-S91. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000892.
- [3] 王立祥. 中国心肺复苏发展战略观 [J]. *中华危重病急救医学*, 2015, 27 (3): 161-163. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2015.03.001.
- [4] Anon. Guidelines 2000 for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. Part 3: adult basic life support. The American Heart Association in collaboration with the International Liaison Committee on Resuscitation [J]. *Circulation*, 2000, 102 (8 Suppl): I22-I59.
- [5] European Resuscitation Council Guidelines. European resuscitation council guidelines 2000 for adult basic life support. A statement from the basic life support and automated external defibrillation working group (1) and approved by the executive committee of the european resuscitation council [J]. *Resuscitation*, 2001, 48 (3): 199-205. DOI: 10.1016/s0300-9572(00)00377-4.
- [6] Handley AJ. Teaching hand placement for chest compression: a simpler technique [J]. *Resuscitation*, 2002, 53 (1): 29-36. DOI: 10.1016/s0300-9572(01)00506-8.
- [7] American Heart Association. Part 4: adult basic life support [J]. *Circulation*, 2005, 112: IV18-IV34. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.166553.
- [8] Kusunoki S, Tanigawa K, Kondo T, et al. Safety of the inter-nipple line hand position landmark for chest compression [J]. *Resuscitation*, 2009, 80 (10): 1175-1180. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2009.06.030.
- [9] 王立祥, 郑静晨. 单纯腹部提压: 一种心肺复苏的新方法 [J]. *中华危重病急救医学*, 2009, 21 (6): 323-324. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1003-0603.2009.06.002.
- [10] Owen A, Kocierz L, Aggarwal N, et al. Comparison of the errors in basic life support performance after training using the 2000 and 2005 ERC guidelines [J]. *Resuscitation*, 2010, 81 (6): 766-768. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2010.02.012.
- [11] Berg RA, Hemphill R, Abella BS, et al. Part 5: adult basic life support: 2010 American Heart Association guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care [J]. *Circulation*, 2010, 122 (18 Suppl 3): S685-S705. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.970939.
- [12] Kleinman ME, Brennan EE, Goldberger ZD, et al. Part 5: adult basic life support and cardiopulmonary resuscitation quality: 2015 American Heart Association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care [J]. *Circulation*, 2015, 132 (18 Suppl 2): S414-S435. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000259.
- [13] Adult Basic and Advanced Life Support Writing Group. 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.
- [14] Cipani S, Bartolozzi C, Ballo P, et al. Blood flow maintenance by cardiac massage during cardiopulmonary resuscitation: classical theories, newer hypotheses, and clinical utility of mechanical devices [J]. *J Intensive Care Soc*, 2019, 20 (1): 2-10. DOI: 10.1177/1751143718778486.
- [15] Kouwenhoven WB, Jude JR, Knickerbocker GG. Closed-chest cardiac massage [J]. *JAMA*. 1960, 173: 1064-1067. DOI: 10.1001/jama.1960.03020280004002.
- [16] Cho S, Oh WS, Chon SB, et al. Theoretical personalized optimum chest compression point can be determined using posteroanterior chest radiography [J]. *Resuscitation*, 2018, 128: 97-105. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2018.05.007.
- [17] Nastaas S, Stensath KH, Rosseland V, et al. Radiological assessment of chest compression point and achievable compression depth in cardiac patients [J]. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*, 2016, 24: 54. DOI: 10.1186/s13049-016-0245-0.
- [18] Basic Life Support Chapter Collaborators. Part 3: adult basic life support and automated external defibrillation: 2015 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations [J]. *Resuscitation*, 2015, 95: e43-e69. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2015.07.041.
- [19] Park GY, Oh WS, Chon SB, et al. The maximum diameter of the left ventricle may not be the optimum target for chest compression during cardiopulmonary resuscitation: a preliminary, observational study challenging the traditional assumption [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2020, 34 (2): 383-391. DOI: 10.1053/j.jvca.2019.07.005.
- [20] Kim H, Chon SB, Yoo SM, et al. Optimum chest compression point might be located rightwards to the maximum diameter of the right ventricle: a preliminary, retrospective observational study [J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2020, 64 (7): 1002-1013. DOI: 10.1111/aas.13577.
- [21] Qvigstad E, Kramer-Johansen J, Tømte Ø, et al. Clinical pilot study of different hand positions during manual chest compressions monitored with capnography [J]. *Resuscitation*, 2013, 84 (9): 1203-1207. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2013.03.010.
- [22] Suh GJ, Park J, Lee JC, et al. End-tidal CO<sub>2</sub>-guided automated robot CPR system in the pig. Preliminary communication [J]. *Resuscitation*, 2018, 127: 119-124. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2018.04.011.
- [23] Weisfeldt ML, Chandra N. Physiology of cardiopulmonary resuscitation [J]. *Annu Rev Med*, 1981, 32: 435-442. DOI: 10.1146/annurev.me.32.020181.002251.
- [24] Criley JM, Blaufuss AH, Kissel GL. Cough-induced cardiac compression. Self-administered from of cardiopulmonary resuscitation [J]. *JAMA*, 1976, 236 (11): 1246-1250. DOI: 10.1001/jama.1976.03270120022018.
- [25] Weisfeldt ML, Halperin HR. Cardiopulmonary resuscitation: beyond cardiac massage [J]. *Circulation*, 1986, 74 (3): 443-448. DOI: 10.1161/01.cir.74.3.443.
- [26] Porter TR, Ornato JP, Guard CS, et al. Transesophageal echocardiography to assess mitral valve function and flow during cardiopulmonary resuscitation [J]. *Am J Cardiol*, 1992, 70 (11): 1056-1060. DOI: 10.1016/0002-9149(92)90360-b.
- [27] Halperin HR, Guerci AD, Chandra N, et al. Vest inflation without simultaneous ventilation during cardiac arrest in dogs: improved survival from prolonged cardiopulmonary resuscitation [J]. *Circulation*, 1986, 74 (6): 1407-1415. DOI: 10.1161/01.cir.74.6.1407.
- [28] Ong ME, Ornato JP, Edwards DP, et al. Use of an automated, load-distributing band chest compression device for out-of-hospital cardiac arrest resuscitation [J]. *JAMA*, 2006, 295 (22): 2629-2637. DOI: 10.1001/jama.295.22.2629.
- [29] Olszynski PA, Bryce R, Hussain Q, et al. A novel anatomic landmark to target the left ventricle during chest compressions in cardiac arrest [J]. *Cureus*, 2021, 13 (3): e13652. DOI: 10.7759/cureus.13652.
- [30] Papadimitriou P, Chalkias A, Mastrokostopoulos A, et al. Anatomical structures underneath the sternum in healthy adults and implications for chest compressions [J]. *Am J Emerg Med*, 2013, 31 (3): 549-555. DOI: 10.1016/j.ajem.2012.10.023.
- [31] Shin DA, Lee JC. Mathematical model of modified hybrid pump mechanism for cardiopulmonary resuscitation [J]. *Comput Methods Programs Biomed*, 2021, 206: 106106. DOI: 10.1016/j.cmpb.2021.106106.
- [32] Babbs CF. Effects of an impedance threshold valve upon hemodynamics in Standard CPR: studies in a refined computational model [J]. *Resuscitation*, 2005, 66 (3): 335-345. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2005.03.023.
- [33] Cha KC, Kim YJ, Shin HJ, et al. Optimal position for external chest compression during cardiopulmonary resuscitation: an analysis based on chest CT in patients resuscitated from cardiac arrest [J]. *Emerg Med J*, 2013, 30 (8): 615-619. DOI: 10.1136/emermed-2012-201556.
- [34] 孙峰, 李晨, 付阳阳, 等. 连续监测呼气末二氧化碳分压对院内复苏结果的预测价值: 针对一项多中心观察研究数据的二次分析 [J]. *中华危重病急救医学*, 2018, 30 (1): 29-33. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.01.006.
- [35] Cha KC, Kim HJ, Shin HJ, et al. Hemodynamic effect of external chest compressions at the lower end of the sternum in cardiac arrest patients [J]. *J Emerg Med*, 2013, 44 (3): 691-697. DOI: 10.1016/j.jemermed.2012.09.026.

(收稿日期: 2022-03-29)