

## 心肺复苏中通气策略的研究进展\*

付阳阳<sup>1</sup> 徐军<sup>1</sup> 朱华栋<sup>1</sup> 于学忠<sup>1</sup>

[关键词] 气道管理;人工通气;心搏骤停;心肺复苏

doi:10.13201/j.issn.1009-5918.2019.01.002

[中图分类号] R459.7 [文献标志码] A

### Progression in ventilation strategy of cardiopulmonary resuscitation

**Summary** After cardiac arrest, the ventilation strategy is used during cardiopulmonary resuscitation(CPR). The optimal ventilation strategy is uncertain. Current guidelines are predominantly based on evidence from observational studies and expert consensus; recent randomized controlled trials should provide further information. This study describes the current evidence during of ventilation strategy CPR. Current evidence supports a stepwise approach to airway management based on patient factors, rescuer skills and the stage of resuscitation. In the absence of evidence to favour a specific technique, rescuers should use the airway technique they are most proficient in during CPR and give the maximum feasible inspired oxygen concentration.

**Key words** airway; ventilation; cardiac arrest; cardiopulmonary resuscitation

心搏骤停(cardiac arrest, CA)有很高的发病率和病死率,是全球重要公共卫生问题。心肺复苏术(cardiopulmonary resuscitation, CPR)是其救治的最重要手段,尽管经过近半个多世纪的努力,复苏成功率有所提高,但死亡率仍居高不下。美国心脏协会(American Heart Association, AHA)最新数据表明院外心搏骤停(out-of-hospital cardiac arrest, OHCA)的成人患者存活率为10.6%,而院内心搏骤停的成人患者(in-hospital cardiac arrest, IHCA)存活率为23.8%<sup>[1]</sup>。其中存活率与心肺复苏的质量直接相关,因此高质量的心肺复苏就变得尤为重要。而合适的人工通气作为心肺复苏质量重要的组成部分,虽然研究不断进展,但一些结论仍存在争议。现就近年来关于CPR中人工通气的变化及其理念进行整理。

#### 1 CPR过程中的病理生理机制

CPR的目标是一方面尽早恢复心脏的血流灌注和氧输送,使之尽可能地恢复跳动;另一方面维持一定程度的神经系统的氧输送,尽可能地降低脑损伤。而为了达到这个目的,需要有足够的氧输送。氧输送的公式=每搏量(stroke volume, SV)×心率(HR)×[血红蛋白(Hb, g/dL)×血氧饱和度(SaO<sub>2</sub>)×1.39+0.0031×动脉血氧分压(PaO<sub>2</sub>)]<sup>[2]</sup>。由上述公式可知道氧输送取决于2

个方面:每搏量与动脉氧饱和度(即胸外按压与人工通气)。

在心脏停搏的最初几分钟,血液中及肺内的储备氧尚保持一定的水平,所以此时尽快恢复心排量才是提高氧输送的关键因素。这也是为什么指南中强调,对于有目击者的室颤性患者(ventricular fibrillation cardiac arrest, VFCA),在复苏开始的几分钟内,胸外按压比呼吸支持更为重要。此外,由于人工通气会中断胸外按压、增加胸内压以及正压通气副作用等原因,可能会降低心肺复苏的效果。因此,对有目击者的VFCA患者行单人复苏时,不能因为通气而中断或延误胸外按压和除颤。但随着CPR时间的延长,VFCA患者体内储备氧逐渐耗尽,此时如果没有适当的通气,单纯胸外按压,并无法达到提高氧输送的效果。同理如果是因为窒息等呼吸系统疾病引起的缺氧而导致的CA,为提高氧输送,胸外按压和人工通气同等重要。

那对于进行CPR的CA患者,理论上该如何给予人工通气呢?人工通气的目的在于维持合适的氧合及排出体内产生的二氧化碳。而CPR时,心输出量为正常的25%~33%,肺循环的灌注明显减少,即氧合所需的氧气(oxygen, O<sub>2</sub>)和排出的二氧化碳(carbon dioxide, CO<sub>2</sub>)同步减少,此时较低分钟通气量就可以维持正常的通气血流比<sup>[3]</sup>。研究表明:一个处于麻醉状态的正常成人,潮气量为8~10 ml/kg时即可保持正常的氧合和CO<sub>2</sub>清除。因此对于CPR过程中,人工通气的潮气量应

\* 基金项目:首都临床特色应用研究(No:Z181100001718147)

<sup>1</sup> 中国医学科学院北京协和医院急诊科(北京,100730)

通信作者:朱华栋, E-mail: zhuhuadong1970@126.com

该低于该数值,能够产生肉眼可见的胸廓起伏即可,潮气量为 6~7 ml/kg 即可满足需求。同时,高级气道建立之后,较低的通气频率即可满足通气需求。且过度通气会导致胸腔压力升高,减少静脉回流和心排出量,降低冠脉灌注压,并最终影响 CPR 的成功率,这也是指南中屡次强调避免过度通气的原因<sup>[4]</sup>。

而对于吸入氧浓度来说,理论上过高或过低的氧浓度吸入,均可能是无益的,但考虑到 CPR 时心输出量明显降低,尽管吸入高浓度氧气,根据氧输送公式可推断,整体氧输送仍远低于正常范围,组织线粒体内氧分压仍不会升高<sup>[5]</sup>。同时临床证据表明,在 CPR 中,提高 SaO<sub>2</sub> 可增加 ROSC 成功率<sup>[6-7]</sup>。所以目前推荐氧疗时可给予尽可能高的氧气浓度。

## 2 CPR 通气相关概念

**被动给氧通气<sup>[8]</sup>:**被动给氧通气是指,在心肺复苏中为了避免中断胸外按压而设计的一种通气方案,在保证持续胸外按压的情况下,置入人工通气道(口咽通气管道或特殊通气道),并通过该气道持续吹入高流量氧气,达到通气的目的。

**延迟正压通气<sup>[9]</sup>:**该概念是相对被动给氧通气出现的,对于非窒息相关的 CA, CPR 初期体内储备氧气未耗尽或仍有濒死样喘息的情况下,为提高氧输送,应即刻开始胸外按压,鉴于正压通气的缺点,为保证持续胸外按压,给予被动给氧通气,延迟正压通气。

**单纯胸外按压 CPR<sup>[9]</sup>:**指在心肺复苏过程中仅给予持续胸外按压,不给予人工通气的心肺复苏方式,适用于未经训练的、不愿或无法提供人工通气的施救者或某些 CPR 综合救治的一部分。

**传统 CPR:**指目前指南常规推荐的 CPR 方式,即在每 30 次胸外按压后,暂停胸外按压并给予 2 次人工呼吸的心肺复苏。

**高级气道:**气管插管和声门上气道技术均可视为高级气道。声门上气道技术装置包括喉罩、喉管、联合导管、食道封堵性气道装置。

## 3 2015 年 AHA CPR 指南中对通气的推荐意见

①对于未经培训的施救者, CPR 时推荐仅给予胸外按压;对于经过培训的施救者,首先进行胸外按压,同时按 30:2 的传统心肺复苏方式给予人工通气;无论是否为心源性 CA, 医务人员都应所有成人 CA 患者提供胸外按压和人工通气,但医务人员更实际的做法是,根据最有可能导致心脏停搏的原因,调整施救顺序。②在成人 CPR 抢救过程中,指南不推荐常规使用被动通气的方式给予人工通气,如果急救系统(emergency medical services,

EMS)采用包括持续胸外按压的综合救治时,对于院外心搏骤停的患者可以考虑将被动通气技术作为综合救治的一部分。例如对于有目击者、有可电击心律的院外心搏骤停患者, EMS 可以借助“3 个 200 次持续按压的按压周期,加被动给氧和辅助气道装置”的策略,来延迟正压通气。③对于没有建立高级气道的 CPR 患者,在正确开放气道后,可选择性给予口对口、口对面罩、口对鼻、口对通气孔、球囊面罩等方式进行人工通气。④对于 CPR 的患者,在给予人工通气时,给予尽可能高的吸入氧气浓度。⑤对于没有建立高级气道的院外心搏骤停患者,推荐在每 30 次胸外按压后给予 2 次人工呼吸(胸外按压暂停时间低于 10 s),每次给予通气超过 1 s, 2 次人工呼吸小于 10 s,潮气量足够使胸部隆起即可。⑥对于院内和院外 CPR 抢救过程中,球囊面罩通气和建立高级气道通气均可使用。⑦对于建立高级气道的时机,目前仍未明确。⑧对于已经建立高级气道的 CPR 患者,不再推荐使用 30:2 的通气方式,应该每 6 s 进行一次人工呼吸(10 次/min),同时不打断持续进行的胸部按压。目前对于是否需要监测分钟通气量、峰压、潮气量等参数,指南没有推荐。

## 4 目前 CPR 通气中存在争议的情况

### 4.1 单纯胸外按压 VS 传统 CPR

对于 OHCA 患者,2015 年 AHA 指南<sup>[9]</sup>指出:在 3 项随机对照研究(randomized controlled trial, RCT)中,调度员指导的单纯胸外按压与传统 CPR 相比,在短期生存率方面,两者差异无统计学意义。一项基于 2 项大样本 RCTs 的荟萃分析指出,调度员指导的单纯胸外按压在长期预后中优于传统 CPR;而自 2010 年以前的所有观察性研究,均显示两者在生存率方面差异无统计学意义。最近发表的一项 OHCA 的研究<sup>[10]</sup>(日本,2005—2014 年,14.35 万例)表示:在单变量分析中,对于 OHCA 患者神经预后方面,传统 CPR 优于单纯胸外按;但在多变量及意向性配对分析中,单纯胸外按压反而优于传统胸外按压。

而对于儿童院外心搏骤停方面,一项观察性研究<sup>[11]</sup>(美国,2013—2015 年,3900 例)表示:在提高生存率和神经功能预后方面,传统 CPR > 单纯胸外按压 CPR > 无路人 CPR;在多元性分析中,只有传统 CPR 能够提高神经功能预后;对于婴幼儿(<1 岁),传统 CPR 能提高生存率和神经功能预后,而单纯胸外按压 CPR 与无路人提供 CPR 相比无明显优势。而另一项观察性研究<sup>[12]</sup>(日本,2007—2014 年,6810 例)表示:在 1~17 岁大部分儿童亚组中,传统 CPR 优于单纯胸外按压;但在 0~17 岁

心因性中或不低于8岁的儿童中,两者差异无统计学意义。

根据上述 CPR 中病理生理过程,从理论上 CPR 中肯定是需要通气的,但上述多项临床研究表示单纯胸外按压可达到与传统胸外按压 CPR 相同的效果,甚至优于传统 CPR,又该如何解释呢?是否单纯胸外按压也可以产生通气呢?可能的原因如下。

①传统 CPR 时,人工通气不可避免的中断按压的连续性,当再次按压时,至少需要 10 s 或更长的时间来恢复冠状动脉灌注压(CPP)至相对“正常”水平,维持  $CPP > 20 \text{ mmHg}$  ( $1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$ ),对于自主循环恢复至关重要<sup>[13]</sup>。而单纯胸外按压可产生持续的血流,这可能是单纯胸外按压 CPR 优于传统 CPR 的原因之一。

②单纯胸外按压引起的胸廓周期性的压力变化可以产生被动通气。一项犬的动物实验显示<sup>[14]</sup>,在无人工通气 CPR 按压后 4 min 后,血氧饱和度( $95.8 \pm 11.7\%$ ),潮气量约( $73.3 \pm 17.7 \text{ ml}$ ),分钟通气量为( $5.2 \pm 1.1 \text{ L/min}$ );但随后氧饱和度逐渐降低,CPR 按压开始后第 6 分钟,血氧饱和度仍为( $84.3 \pm 14.6\%$ ),说明随着体内储备氧气的耗尽,单纯靠胸外按压产生的被动通气,由于死腔的存在,并不足以满足机体的通气的需要,此时应该给予通气。但我们很难明确 CPR 前 4 min 血氧饱和度大于 90% 的原因,是因为体内储备氧气仍未耗尽,还是因为胸外按压产生的被动通气起的作用,或者两者共同作用。

而另一项猪室颤的动物实验<sup>[15]</sup>,其采用持续胸外按压加被动给氧通气(口咽部位放置导管,氧气流速为  $10 \text{ L/min}$ )方式,在 CPR 开始后第 6 分钟,其血氧分压为( $94 \pm 17 \text{ mmHg}$ ),血二氧化碳分压为( $57 \pm 9 \text{ mmHg}$ ), $\text{pH}$  为  $7.24 \pm 0.05$ ,这证明单纯胸外按压产生的被动通气加被动给氧通气,可以满足机体的氧气交换,但  $\text{CO}_2$  排出是不足的。但遗憾的是该实验无 6 min 以后的血气,我们仍无法判断是否随着体内氧储备的降低, $\text{CO}_2$  分压升高,仍需要积极的人工通气。但该实验结果证明单纯胸外按压确实可以产生一定程度的有效被动通气。

但一项仅涉及 17 例 OHCA 的研究表明<sup>[16]</sup>,采用机械按压装置(LUCAS)进行单纯主动减压胸外按压,产生的潮气量仅为  $41.5 \text{ ml}$  ( $33.0 \sim 62.1 \text{ ml}$ ),呼气末二氧化碳( $\text{PetCO}_2$ )仅为  $6.98 \text{ mmHg}$  ( $0 \sim 34.5 \text{ mmHg}$ ),分钟  $\text{CO}_2$  排出为  $19.5 \text{ ml}$  (正常值为  $150 \sim 180 \text{ ml}$ ),但该研究缺少动脉血气,且  $\text{PetCO}_2$  和分钟  $\text{CO}_2$  均与 CPR 质量相关,所以尽管该研究显示胸外按压产生的潮气量低于呼吸死

腔,但仍无法完全否定被动通气。

③大部分的 CA 患者均为心因性导致,而非窒息缺氧导致,体内氧气储备尚可,且约 1/3 伴有濒死样喘息<sup>[17]</sup>,单纯胸外按压加部分患者存在濒死样喘息加体内储备氧气,可延迟对积极人工通气的需求,使得最终抢救成功率不差于传统胸外按压。

④对于未经训练和不愿提供口对口人工呼吸的施救者来说,单纯胸外按压更容易被大众学习和接受,使得路人提供 CPR 的概率更高,进而提高存活率及预后<sup>[18-21]</sup>。

⑤传统 CPR 中,正压人工通气及过度通气存在很多副作用,降低复苏成功率。

综上所述,对于非窒息性 CA,在 CPR 前 6 min 内被动通气或者被动氧疗通气,理论上即可满足通气的需要,在该阶段单纯胸外按压更能保证重要脏器的血流灌注,且对于大众来说,简单易学,能明显提高路人提供 CPR 的概率,但 6 min 以后是否需要积极的正压通气,目前仍需更多的研究来证实。而且相较于传统 CPR,目前循证医学证据并不足够证明单纯胸外按压的优势,所以现行指南未做改变。

#### 4.2 被动给氧通气 VS 正压通气

被动给氧通气虽已被提出多年,且多项动物实验表明被动给氧通气可以提供足够的通气和氧合。但目前 3 项 RCTs 并未证明该种通气方式的具有更好的优势。前两项研究(法国,2000 年,95 例;法国,2000-09—2003-11,1042 例)<sup>[22-23]</sup>表明,与经气管插管正压通气方式相比,经改良的 Boussignac 管持续供氧的方式,虽可以降低动脉血  $\text{CO}_2$  分压,但并没有增加 ROSC 成功率和 ICU 出院率。另一项研究(美国,2005-01-01—2008-09-28,1019 例)<sup>[24]</sup>显示,与球囊面罩通气相比,经口咽通气道加非重复吸入面罩持续供氧方式,可提高神经功能预后,但该研究对象仅包括有目击者的 CA。这也是为什么,2015 年 AHA 指南并没有常规推荐被动给氧通气,而推荐仅在“3 个 200 次持续按压的按压周期,加被动给氧”的策略中使用,来延迟正压通气。

#### 4.3 球囊面罩通气:持续胸外按压 VS 间断胸外按压 CPR

从 CPR 病理生理角度出发,相较于传统 CPR,持续的胸外按压加通气,理论上应该优于传统 CPR,但目前证据并未支持该结论。一项涉及 114 个 EMS 的群组随机对照研究(cluster-randomized trial, CRT)(北美,2011-06-06—2015-04-28,23711 例)<sup>[25]</sup>,该研究将各参与 EMS 随机分为试验组(给予 3 轮“200 次持续按压加每分钟 10 次的球囊面罩通气加口咽通气”,随后给予建立高级气道)和对照

组(给予 3 轮“5 个 30 次胸外按压:2 次球囊面罩通气加口咽通气”,随后给予建立高级气道),对于 OHCA 患者,EMS 按随机方案实施 CPR。最终结论显示:与传统 CPR 相比,持续胸外按压并未提高 OHCA 患者生存率和神经功能预后。该项研究为专业 EMS 人员参与的高质量随机对照研究,其结论可信度较高。这使我们产生更多的疑问,难道持续胸外按压与间断胸外按压真的没有区别?又或者在 CPR 的前 6 min 内,其体内氧储备尚可,在此阶段短时间的干预措施尚不足以产生差别?

#### 4.4 声门上气道 VS 球囊面罩

声门上气道因其操作简单易学、需胸外按压停止时间更短等优势,在 CPR 中使用越来越广泛。一项观察性研究<sup>[26]</sup>显示(英国,1998 年,798 例),相较于球囊面罩通气,传统喉罩的使用可有效降低胃内容物反流。而最新的二代喉罩(例如,i-gel 喉罩和 Supreme 型喉罩),能更好的起到封闭食道的作用,同时具有胃管引流等功能。虽然一项动物实验<sup>[27]</sup>中发现,置入声门上气道的使用可压迫颈动脉,降低颅内血液灌注,但在临床影像学检查中,我们并没有发现类似的现象。目前并无高质量循证医学证据证明使用声门上气道或球囊面罩通气在生存率和神经功能预后上存在差别;仅有 3 个观察性研究显示,与球囊面罩通气相比,使用声门上气道的 CPR 患者生存率和神经预后较差。而关于声门上气道和气管插管对比的一些研究中,褒贬参半。有些回顾性数据,显示使用声门上气道的有更好的神经功能预后,但另一些研究反而更支持气管插管<sup>[4]</sup>。

#### 4.5 在 CPR 中,非高级气道 VS 高级气道

如果在球囊面罩通气遇到气道阻力过大及误吸时,有经验的医务人员常会给予建立高级气道。但高级气道的建立会引起胸外按压的暂停,同时建立高级气道的理想时机目前并未明确。一项基于观察性研究的荟萃分析显示<sup>[28]</sup>,与球囊面罩通气相比,建立高级气道的 OHCA 患者,30 d 生存率反而较低。但考虑到观察性数据常混杂多种偏倚,上述结论不一定正确,例如早期 ROSC 通常不需要高级气道;而窒息或误吸相关的 OHCA,经常会建立高级气道,但这部分患者,病情较重,预后往往极差。另一项多中心的非劣效随机对照研究(法国加比利时,2015-03-09—2017-01-02,2043 例)<sup>[29]</sup>,由 EMS 实施,将 OHCA 患者随机分为早期气管插管组和球囊面罩通气组,但最终并未证明球囊面罩通气组非劣效或劣效于气管插管组。尚需进一步的等效或优效研究以验证气管插管和球囊面罩通气的优劣性。

而在 IHCA 患者的气道管理方面,目前并无大型的 RCT 研究,仅有一项时间依赖的意向性研究分析,其指出与未进行气管插管的患者相比,在 CPR 的前 15 min 内进行气管插管的患者反而死亡率更高。因该研究采用观察性数据,混杂了大量偏倚(例如:医务人员的经验及水平、心搏骤停病因、CPR 质量、插管指征等),但值得赞赏的是,该研究指出了早期气管插管可能是有害的,同时呼吁更多的院内心搏骤停患者气道管理的 RCTs<sup>[30]</sup>。

#### 4.6 气管插管 VS 声门上气道

在高级气道管理中,包含气管插管和声门上气道两种技术。虽然各自均有其优缺点,但在 CPR 中,目前并无足够证据说明那种方法是最好的。

一项涉及 10 个观察性研究共计 76000 例 OHCA 的荟萃分析<sup>[27]</sup>显示,与声门上气道相比,气管插管可提高存活率。另一项关于 OHCA 患者高级气道管理的 RCT(英国,2016,615 例)<sup>[31]</sup>发现在出院存活率(或 90 d 生存率)、神经认知功能(或生活质量)方面,i-gel 型喉罩组、Supreme 型喉罩组、常规气道管理组三者之间差异无统计学意义,其中 i-gel 型喉罩、Supreme 型喉罩、气管插管的一次成功率分别为 79%、75% 和 85%。另一项关于 OHCA 的观察性研究指出,喉管置入成功率为 85%。

而 CPR 中,与声门上气道相比,理论上气管插管存在一个明显的缺点,即延长胸外按压停止时间,但临床证据并不支持该结论。一项涉及 100 例 OHCA 患者的观察性研究<sup>[32]</sup>指出,气管插管可导致 110s 胸外按压暂停时间,超过 25% 的患者中断时间超过 3 min。同时另一项观察研究<sup>[33]</sup>指出(美国,2011-11-01—2016-02-14,339 例),对于 OHCA 患者,球囊面罩、声门上气道、气管插管三者有停顿时间、停顿超过 10s 次数、CCF 方面可能是相同的。而另一项涉及更多 OHCA 患者的研究<sup>[34]</sup>(美国,2015,2767 例)显示,气管插管与声门上气道对比,CCF 仅轻微降低(72.4% vs. 76.7%)。

一项涉及 30 个 EMS 的 CRT 研究(北美,2015—2017,3005 例),将 EMS 随机分为喉管组(试验组)和气管插管组(对照组),2018 年 5 月 16 日初步得出结论,在 72 h 存活率方面,喉管组优于气管插管组(18.2% vs. 15.3%),在 ROSC 率(27.9% vs. 24.1%),院内存活率(10.8% vs. 8.0%),出院神经功能预后(7.0% vs. 5.0%),喉管组同样优于气管插管组<sup>[35]</sup>。

#### 5 在 CPR 中,该如何进行合适的通气呢?

目前的 CPR 抢救过程,随着施救者由非专业向专业医务人员转换,典型的通气策略常呈阶梯式

递进<sup>[26]</sup>(图 1),在经典通气策略中,第一阶段常由目击者(多为非专业人员)提供单纯胸外按压;第二阶段由受过训练的非专业人员或专业人员提供口对口人工呼吸;第三阶段在专业人员达到后,在没有建立高级气道前常选用球囊面罩进行 30:2 的通气策略;第四阶段建立声门上气道,或直接跳过第四阶段,进行第五阶段(即建立气管插管),在持续胸外按压的前提下,给予 10 次/min 的通气频率,而对于建立声门上气道的患者,在出现明显误吸或 ROSC 后无自主呼吸时,则给予气管插管。当然在实际操作中并不一定会完全按照经典通气策略的顺序进行,可能仅包括其中的几部分。比如仅包含单纯胸外按压→面罩通气→气管插管;或者因窒息而导致的 CA 患者,应给予口对口人工呼吸→面罩通气→气管插管,但均呈阶梯式递进,由简单基础的通气策略,向高级复杂的通气策略进行转换。而根据目前获得的循证医学证据,在 CPR 中,关于气道管理、氧疗、通气参数等综合的最佳通气方案目前仍未确定。所以目前在 CPR 中,施救者应该根据实际情况,选择尽可能高的吸入氧浓度,采用施救者最擅长的气道管理技术,同时配合其他 CPR 技术合理提供通气。

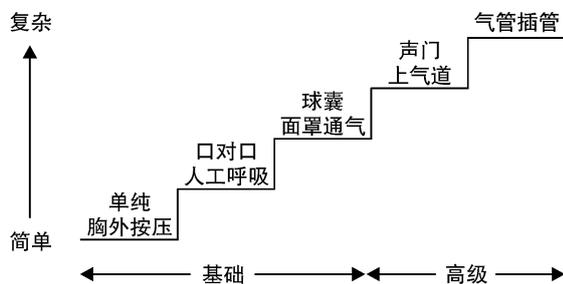


图 1 心肺复苏过程中气道管理呈阶梯式递进

## 参考文献

- [1] Benjamin EJ, Blaha MJ, Chiuve SE, et al. Heart Disease and Stroke Statistics-2017 Update: A Report From the American Heart Association[J]. *Circulation*, 2017, 135(10): e146-e603.
- [2] Hameed SM, Aird WC, Cohn SM. Oxygen delivery[J]. *Crit Care Med*, 2003, 31(12 Suppl): S658-S667.
- [3] 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.
- [4] Link MS, Berkow LC, Kudenchuk PJ, et al. Part 7: Adult Advanced Cardiovascular Life Support[J]. *Circulation*, 2015, 132(18 suppl 2): S444-S464.
- [5] Neumar RW. Optimal oxygenation during and after cardiopulmonary resuscitation[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2011, 17(3): 236-240.
- [6] Soar J, Nolan JP, Böttiger BW, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 3. Adult advanced life support[J]. *Resuscitation*, 2015, 95: 100-147.
- [7] Spindelboeck W, Gemes G, Strasser C, et al. Arterial blood gases during and their dynamic changes after cardiopulmonary resuscitation: a prospective clinical study[J]. *Resuscitation*, 2016, 106(1): 24-29.
- [8] Yu H, Qing H, Min Y. Continuous passive oxygen insufflation for out-of-hospital cardiac arrest: A systematic review of clinical studies[J]. *Resuscitation*, 2013, 84(1): e9-e10.
- [9] 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.
- [10] Kitamura T, Kiyohara K, Nishiyama C, et al. Chest compression-only versus conventional cardiopulmonary resuscitation for bystander-witnessed out-of-hospital cardiac arrest of medical origin: A propensity score-matched cohort from 143,500 patients[J]. *Resuscitation*, 2018, 126: 29-35.
- [11] Naim MY, Burke RV, McNally BF, et al. Association of bystander cardiopulmonary resuscitation with overall and neurologically favorable survival after pediatric out-of-hospital cardiac arrest in the united states: A report from the cardiac arrest registry to enhance survival surveillance registry [J]. *JAMA Pediatrics*, 2017, 171(2): 133-141.
- [12] Zhang X, Zhang W, Wang C, et al. Conventional versus chest-compression-only cardiopulmonary resuscitation by bystanders for children with out-of-hospital cardiac arrest[J]. *Resuscitation*, 2018, 122: 126.
- [13] 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.
- [14] Brandt FK, Kern KB, Campbell SC. Continuous transtracheal oxygen delivery during cardiopulmonary resuscitation. An alternative method of ventilation in a canine model[J]. *Chest*, 1989, 95(2): 441-448.
- [15] 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.
- [16] Deakin CD, O'Neill JF, Tabor T. Does compression-

- only cardiopulmonary resuscitation generate adequate passive ventilation during cardiac arrest? [J]. Resuscitation, 2007, 75(1): 53—59.
- [17] Bobrow BJ, Zuercher M, Ewy GA, et al. Gasping during cardiac arrest in humans is frequent and associated with improved survival[J]. Circulation, 2008, 118(24): 2550—2554.
- [18] Vaillancourt C, Verma A, Trickett J, et al. Evaluating the effectiveness of dispatch-assisted cardiopulmonary resuscitation instructions [J]. Acad Emerg Med, 2007, 14(10): 877—883.
- [19] Akahane M, Ogawa T, Tanabe S, et al. Impact of telephone dispatcher assistance on the outcomes of pediatric out-of-hospital cardiac arrest[J]. Crit Care Med, 2012, 40(5): 1410—1416.
- [20] Culley LL, Clark JJ, Eisenberg MS, et al. Dispatcher-assisted telephone CPR: common delays and time standards for delivery[J]. Ann Emerg Med, 1991, 20(4): 362—366.
- [21] Nichol G, Leroux B, Wang H, et al. Trial of Continuous or Interrupted Chest Compressions during CPR [J]. N Engl J Med, 2015, 373(23): 2203—2214.
- [22] SaiSsy 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Stone BJ, Chantler PJ, Baskett PJ. The incidence of regurgitation during cardiopulmonary resuscitation: a comparison between the bag valve mask and laryngeal mask airway[J]. Resuscitation, 1998, 38(1): 3—6.
- [26] Newell C, Grier S, Soar J. Airway and ventilation management during cardiopulmonary resuscitation and after successful resuscitation[J]. Crit Care, 2018, 22(1): 190.
- [27] Benoit JL, Gerecht RB, Steuerwald MT, et al. Endotracheal intubation versus supraglottic airway placement in out-of-hospital cardiac arrest: A meta-analysis[J]. Resuscitation, 2015, 93: 20—26.
- [28] Fouche PF, Simpson PM, Bendall J, et al. Airways in out-of-hospital cardiac arrest: systematic review and meta-analysis[J]. Prehosp Emerg Care, 2014, 18(2): 244—256.
- [29] Jabre P, Penaloza 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.
- [30] 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.
- [31] Bengler J, Coates D, Davies S, et al. Randomised comparison of the effectiveness of the laryngeal mask airway supreme, i-gel and current practice in the initial airway management of out of hospital cardiac arrest: a feasibility study[J]. Br J Anaesth, 2016, 116(2): 262—268.
- [32] Wang HE, Simeone SJ, Weaver MD, et al. Interruptions in cardiopulmonary resuscitation from paramedic endotracheal intubation[J]. Ann Emerg Med, 2009, 54(5): 645—652. e1.
- [33] Jarman AF, Hopkins CL, Hansen JN, et al. Advanced Airway Type and Its Association with Chest Compression Interruptions During Out-of-Hospital Cardiac Arrest Resuscitation Attempts[J]. Prehosp Emerg Care, 2017, 21(5): 628—635.
- [34] Kurz MC, Prince DK, Christenson J, et al. Association of advanced airway device with chest compression fraction during out-of-hospital cardiopulmonary arrest [J]. Resuscitation, 2016, 98: 35—40.
- [35] Wang HE, Prince DK, Stephens SW, et al. Design and implementation of the Resuscitation Outcomes Consortium Pragmatic Airway Resuscitation Trial (PART)[J]. Resuscitation, 2016, 101: 57—64.

(收稿日期: 2018-11-19)