

国家科技部“十二五”国家科技支撑计划项目

心肺复苏 急救装备与应用

Emergency Medical Equipment for Cardiopulmonary Resuscitation and Its Application

● 主 编 | 吴太虎 张 广 王运斗

Emergency Medical Equipment for
Cardiopulmonary Resuscitation and Its Application

全面总结

心肺复苏急救装备应用研究、
新观点、新进展、新成果、心肺复
苏装备前沿研究热点，展望心肺复苏装
备技术发展趋势。

 军事医学科学出版社

国家科技部“十二五”国家科技支撑计划项目

心肺复苏急救装备与应用

Emergency Medical Equipment for Cardiopulmonary
Resuscitation and Its Application

主 编 吴太虎 张 广 王运斗
副主编 立祥 宋振兴 郑捷文
编著者 以姓氏笔画为序
王宇晓 王春飞 王海涛 卢恒志
许若飞 孙建军 李 抄 陈 锋
杜耀华 钱绍文 顾 彪 惠海鹏
程 智 魏建仓

军事医学科学出版社
· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

心肺复苏急救装备与应用/吴太虎,张广,王运斗主编.
-北京:军事医学科学出版社,2012.10
ISBN 978-7-5163-0060-2

I. ①心… II. ①吴… ②张… ③王… III. ①心肺
复苏术-医疗器械 IV. ①TH77

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第228841号

策划编辑:李 玫 责任编辑:李 玫

出 版 人:孙 宇

出 版:军事医学科学出版社

地 址:北京市海淀区太平路27号

邮 编:100850

联系电话:发行部:(010)66931051,66931049,81858195

编辑部:(010)66931039,66931127,66931038

86702759,86703183

传 真:(010)63801284

网 址:<http://www.mmssp.cn>

印 装:中煤涿州制图印刷厂北京分厂

发 行:新华书店

开 本:850mm×1168mm 1/32

印 张:10

字 数:255千字

版 次:2013年1月第1版

印 次:2013年1月第1次

定 价:30.00元

本社图书凡缺、损、倒、脱页者,本社发行部负责调换

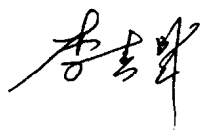
序

心肺复苏作为抢救心脏骤停患者的关键急救措施,至今已有五十余年的历史。令人遗憾的是,即使在科学技术高度发达的今天,心肺复苏的成功率仍不足 5%。仅仅在美国,每年就有超过 30 万人因心脏骤停而死亡;而我国每年因心脏骤停死亡人数接近百万!因此,增加心肺复苏效率,提高心肺复苏成功率,仍然是目前急救医学领域亟需解决的重大难题。

心肺复苏急救装备作为辅助急救人员开展急救复苏的有效工具,可完成各种人力所不及的高质量心肺复苏操作,在提高心肺复苏效率、增加患者存活率方面扮演着重要角色。近年来,随着急救医学研究的不断深入,心肺复苏的新技术与新方法不断涌现。这些新技术和新方法又不断推动着心肺复苏装备的革新。例如,新型高质量胸外按压技术的研究极大地促进了人工胸外按压装备的发展。Cardio-pump 胸外按压装置和 LUCAS 自动胸外按压系统基于主动加压减压胸外按压技术研制而成;Lifestick 胸外按压器基于联合胸腹按压技术研发;而 Lifebelt 和 Autopulse 心肺复苏机则基于全胸廓按压技术制作。这些新型胸外按压装备促进了心脏骤停患者的血液循环,增加了患者的存活几率。同时,胸外按压的意义和作用逐渐获得了世界范围内的广泛共识。2005 年 AHA 指南提出“应该发展可以提高心跳骤停现场医护人员以及非专业急救人员进行 CPR 质量的工具”。近年来,世界上众多的医疗科研机构 and 医疗仪器公司开展了大量胸外

按压监测反馈方面的研究,并进行了相关产品的研发。其中,最具代表性的研究成果有飞利浦(Philips)公司和挪度医疗(Laerdal)公司合作研究开发的心肺复苏反馈工具(Q-CPR)、Laerdal公司独立研发的心肺复苏计(CPRMeter)和ZOLL公司研制开发的具有心肺复苏反馈功能的AED Plus。这些新型心肺复苏装备的应用增加了心肺复苏效能,改进了传统心肺复苏急救方法。对这些心肺复苏装备新技术、新方法以及新争论的详细讨论和总结归纳,将对心肺复苏技术的发展起到重要的推动作用。

本书作者吴太虎教授、张广博士和王运斗教授多年从事院前急救装备研发设计工作,在心肺复苏技术以及心肺复苏急救装备研究方面造诣颇深。他们在总结实际急救复苏装备研发经验的基础上,广泛收集国内外文献,对于心肺复苏装备的设计思路、技术特点和应用现状进行了深入的阐述。本书详细介绍了心肺复苏装备研究领域的最新进展,探索了心肺复苏装备的前沿研究热点,并对心肺复苏装备技术发展趋势进行了展望。相信本书的出版,将对心肺复苏急救装备研究起到积极的推动作用,为广大心血管病患者带来福音,故欣然作序。



中华医学会急诊医学分会主任委员
全国复苏专业组组长

前 言

现代心肺复苏技术自 20 世纪 60 年代由美国约翰霍普金斯大学的研究者开创以来,至今已有 50 余年的历史。尽管各国科学家和医务人员做了大量的努力,目前心肺复苏存活率仍令人失望。欧美等发达国家的院内心肺复苏存活率不到 20%,院外存活率不到 10%,而我国的院内外心肺复苏急救存活率仅为 10% 和 1.5%。有研究表明,若能及时、有效、高质量地实施心肺复苏,则院外心脏骤停患者的存活率可提高到 50%。预期与实际存活率的差异提示我们,提高患者存活率的空间仍然巨大。由于心肺复苏急救装备能够完成各种人力所不及的高质量心肺复苏操作,因此它将是人类跨越心肺复苏急救理想与现实鸿沟的有效工具。

最早的机械心肺复苏装备可追溯到 16 世纪。当时的医学革命先驱 Palacelsus 发明了通气风箱,他将风箱插入患者一侧鼻孔,同时密闭患者另一侧鼻孔和嘴,期望患者能够起死回生。但是,这种方法常常引起气道损伤。尽管 Palacelsus 的理念并没有得到广泛认可,但是他却开创了将机械装备用于心肺复苏急救的先河。经过百年探索与努力,心肺复苏装备在救治功能与救治效能上均得到了极大的改善,逐渐成为了急救复苏中不可或缺的基本工具,影响着胸外按压、机械通气和体外除颤等复苏“生命链”核心环节的进步与发展。

心肺复苏急救装备可以有效降低急救人员救治强度,简化心肺复苏的人工参与,允许急救人员全力完成心肺复苏以外的其他急诊

急救操作；同时它能够减少人工干预，有效防止心肺复苏的人为误判断或误操作，提高了心肺复苏的精确性和准确性；此外它还可以增强心肺复苏的易操作性，降低心肺复苏的专业化程度，使得心肺复苏全过程简单易行。心肺复苏急救装备为心肺复苏各环节效能的最大化发挥提供了必备条件。

近年来，心肺复苏急救装备研究取得了长足进展，各种新技术、新产品层出不穷。但是，正如同 Palacelsus 发明的通气风箱一样，任何新技术与新产品的诞生并非一帆风顺，其设计理念与应用实践之间往往存在较大的差距。而目前心肺复苏急救装备和技术的研究与应用缺乏系统规范的总结与归纳，研究人员无法从前人研究中取精华去糟粕，也就难以通过进一步提炼得到更加符合临床实践的新技术与新方法。

鉴于此，作者根据多年来从事心肺复苏急救装备研发和使用的经验，结合国家科技支撑计划课题的需要，在借鉴国内外相关文献的基础上，经过系统分析和研究，以现代心肺复苏“三要素”为主线，详尽地总结了目前主要心肺复苏急救装备的设计思路和技术特点，并对心肺复苏装备研究中的一些新观点、新方法以及新争论进行了详细的讨论。作者相信，如果我们能在这些方面取得实质性突破，则心肺复苏的局面将为之根本改变！

本书在编撰过程中，得到了中国人民解放军军事医学科学院、301 医院第一附属医院、中国人民解放军武警总医院和首都医科大学附属北京朝阳医院领导和专家的大力支持，在此一并致谢！

由于编者水平有限，加之分析问题的角度尚需商榷，请同行读者批评指正。

编者

2012 年 8 月于天津

目 录

第一章 心肺复苏技术与心肺复苏急救装备的发展与现状	(1)
第一节 心肺复苏技术的发展	(1)
第二节 心肺复苏急救装备研究进展	(13)
第三节 2010AHA 心肺复苏指南中关于心肺复苏装备的使用建议	(19)
第二章 胸外按压技术与装备	(28)
第一节 胸外按压技术概述	(29)
第二节 胸外按压技术的发展与现状	(33)
第三节 胸外按压装备概述	(51)
第四节 典型新型胸外按压装备的开发设计与研究应用	(69)
第三章 心肺复苏质量反馈监测	(92)
第一节 心肺复苏质量反馈监测的重要意义	(92)
第二节 冠状动脉灌注压(CPP)监测	(94)
第三节 呼气末二氧化碳分压(PetCO₂)监测	(98)
第四节 胸外按压深度反馈监测	(102)

第四章 机械通气装备	(122)
第一节 机械通气装备概述	(122)
第二节 呼吸机装备技术	(129)
第三节 呼吸机控制技术	(132)
第四节 呼吸机技术进展及发展趋势	(141)
第五章 吸气阻力阀 (ITD)	(167)
第一节 吸气阻力阀的临床意义	(167)
第二节 吸气阻力阀的结构与原理	(169)
第三节 吸气阻力阀研究与应用现状	(172)
第四节 吸气阻力阀研究争议	(177)
第六章 体外除颤技术	(183)
第一节 体外除颤概述	(183)
第二节 体外除颤器的工作原理	(187)
第三节 体外电除颤关键技术	(190)
第四节 体外除颤技术研究进展	(193)
第七章 不间断胸外按压除颤节律分析	(209)
第一节 不间断胸外按压除颤节律分析技术概述	(210)
第二节 基于参考信号的不间断按压除颤节律 分析技术	(212)
第三节 无参考信号的不间断按压除颤节律 分析技术	(230)
第四节 相关算法的比较分析	(237)
第五节 不间断按压除颤节律分析技术改进措施	(245)

第八章 除颤时机优化分析	(247)
第一节 除颤时机优化分析的意义	(247)
第二节 基于 VF 幅值检测的分析预测技术	(251)
第三节 基于 VF 频率的分析预测技术	(253)
第四节 基于 VF 非线性程度的分析预测技术	(267)
第五节 多变量分析预测技术	(272)
第六节 相关算法的比较分析	(277)
第七节 争论和展望	(282)
第九章 心肺复苏急救装备研究展望	(296)
第一节 心脏骤停快速识别	(297)
第二节 高质量胸外按压	(299)
第三节 快速除颤	(302)
第四节 高级生命支持生理参数反馈	(304)
第五节 心肺复苏自动化	(307)

第一章 心肺复苏技术与心肺 复苏急救装备的发展与现状

第一节 心肺复苏技术的发展

心脏骤停(cardiac arrest, CA)是威胁人类生命的主要病因,同时也是困扰世界各国的重大医学难题。在发达国家,仅以美国和加拿大为例,每年超过30万人因心脏骤停而死亡。我国人口众多,根据17个省对350万人的流行病学调查显示,急性心肌梗死和心源性猝死的年发病率为39.82/10万,即全国接近百万病例。而在众多引起心跳骤停的原因中,冠心病发作时心肌缺血和继发的心律失常成为最主要的原因。至少有20%心肌缺血的患者首发表现为心跳骤停。除了心肌缺血和心律失常,很多原因可以导致心跳骤停,包括肺栓、心包压塞、电解质紊乱和缺氧。

心脏骤停早期各脏器功能的损害源于突然缺氧性的打击,因此及早的复苏呼吸,帮助患者恢复自主循环将有助于患者脏器功能的恢复。经过长时间的探索与实践,人类总结出了一套简单易行且行之有效的救治方法——心肺复苏技术。及时有效的心肺复苏可明显提高心脏、呼吸骤停患者的生存率。目前,心肺复苏成为了急救过程中最基本最核心的救治方法和人类战胜心脏骤停死亡的最后一道防线。现代复苏方法发展的科学过程主要体现为3个阶段:最初主要是对辅助通气呼吸的研究;继而出现重建血液循环的体外机械方法,即胸外按压;最后进展为可有效恢复心脏节律的电治疗方法,即体外除颤技术。

一、人工呼吸的发展

在公元前 1300 年左右就出现了新生儿复苏的描述。当时希伯来助产师常使用人工呼吸治疗无呼吸的新生儿。公元前 200 年至公元 500 年间,希伯来人使用口对鼻通气的方法对小孩进行复苏。公元 175 年希腊名医伽林用风箱使死亡动物双肺膨胀,这是最早的关于风箱机械通气的描述。之后,复苏医学沉寂千年,直到文艺复兴时期才再度兴起。

16 世纪,Palacelsus 再次将风箱用于机械通气,但是,Palacelsus 的理念当时并没有得到广泛认同。1744 年,Willian Tossach 用口对口人工通气的方法成功复苏了一名煤矿工人。1745 年,Fothergill 提出口对口人工呼吸是比风箱更安全有效的通气方法。18 世纪 70 年代,人们使用头朝下倒挂的方法来救治溺水患者(图 1-1a)。另一种方法为滚筒法,患者被放在桶上,让桶来回滚动,使患者的胸部间断受压和放松,从而实现通气和胸部按压(图 1-1b)。

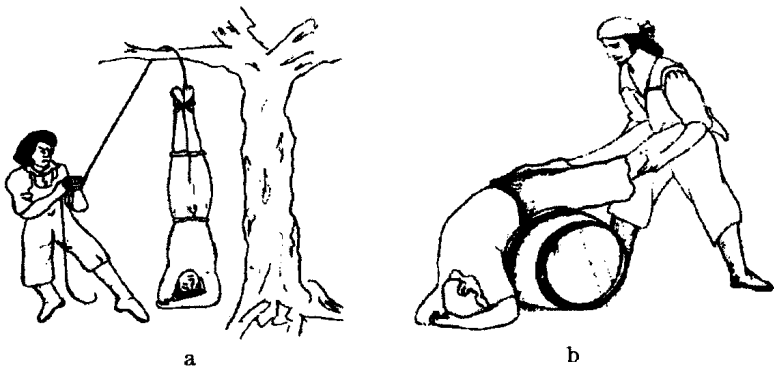


图 1-1 倒挂法和滚筒法

a. 倒挂法;b. 滚筒法

18世纪下叶,英国著名解剖学家 John Hunter 使用双控风箱来救治溺水患者。1827年,LeRoy 报道风箱单次快速通气会导致致命性气胸之后,风箱就罕有人使用了。1838年英国的 Dalziel 描述了第一个专用机械通气装置——桶式呼吸器。该呼吸器包裹患者胸腔,当桶内压力降低至低于大气压的时候,肺膨胀,产生“负”气道压通气。1856年,Marshall Hall 强调对于无呼吸患者应立即进行人工通气,而不能继续像传统方法那样先保暖再通气。他还提出将患者的身体转至俯卧位以便患者呼气,再转至侧卧位让患者吸气。他认为仰卧位时舌阻塞患者气道的风险较大。1858年 Silvester 和 Lond 提出了另一种人工通气的方法,救护人员将患者的双臂举向患者头上使患者吸气,然后将其双臂沿体侧放回患者的侧胸部按压胸壁,使其最大限度呼气。1877年,Benjamin Howard 提出将患者置于仰卧位。救护人员骑跨在患者身上,间断按压患者胸壁让患者呼气,放松胸廓期间,让患者吸气。

1904年,Schafer 提议使用俯卧加压方法来人工通气,也就是按压患者的后腰部使其呼气,放松时让其吸气。此方法可让中等身材的成年人达到 500 ml 左右的潮气量。1932年,丹麦的 Holger Nielsen 提出了“俯卧背部加压,手臂复苏法”,并证明该方法可获得更高的潮气量。此后数十年,这种方法一直是人工呼吸的主要方法,尤其是对于溺水患者更是如此。1929年,哈佛医学院的 Drinker 和 McKhann 使用桶式呼吸机治疗呼吸衰竭,尤其是延髓灰质炎患者。在随后 30年中,该方法成为治疗延迟性神经肌肉瘫痪后致命性呼吸暂停的有效方法。1960年,在马里兰脊髓灰质炎流行时,Safar 及其同事用间歇性正压呼吸机治疗了 24 例无呼吸的患者。他们认为桶式呼吸机的缺点在于:患者处于仰卧位,发生肺不张的可能性更高;妨碍体格检查;不易搬动。他们还比较了间隙性正压通气和桶式通气的效果,提出正压通气可以增加存活率。1954年,James Elam 等人提出了口对面罩人工通气技术。Elam 检

测了复苏期间动脉血氧饱和度,发现口对面罩通气能产生 >90% 的氧饱和度,并能够保证充分的二氧化碳交换。Safer 认为口对口人工呼吸比当时的标准做法 Holger Nielson 方法更有效。很少有救护人员能够应用 Holger Nielson 方法让患者产生 500 ml 以上的潮气量。而口对口人工呼吸提供的潮气量通常高于 500 ml。口对口人工呼吸可持续 30 min 左右,产生接近 1 L 的潮气量,呼吸频率达到每分钟 12 次以上。在正常志愿者中,口对口人工呼吸可使动脉血氧饱和度达到 97%~100%,二氧化碳张力 < 35 mmHg。实现这些指标的前提是正确使用仰头抬下颌法开放气道。如果气道没有充分开放,胃胀气可能抵消通气的效果,增加呕吐和误吸的风险。1958 年,Ruen 发明了自充气式瓣膜面罩球囊。1964 年,氧气驱动的瓣膜复苏器问世,被称为 Elder 瓣。该装置成为急诊救护人员在院外复苏的标准配置。瓣膜面罩球囊成为院内急救的重要复苏装置,如果将其与氧气源连接可以使吸入氧浓度维持在 85% 左右。

二、胸外按压的发展

直到上世纪医学界才对胸部按压的重要性有了充分的认识。18 世纪滚桶法和骑马法(图 1-2)被用于救治溺水患者。骑马法是将患者横行俯卧于马背上,然后让马小跑,从而让患者的胸部受到间歇性有力按压。

虽然两种方法的初衷都是为了通气,但同时也获得了有效的胸部按压。

1858 年,匈牙利的 Janos Balassa 描述了闭胸式按压,这是最早的关于闭胸式胸外按压的文献记载。尽管 Balassa 在进行 6 min 的按压之后成功复苏了一名 18 岁女性,但是当时对于单纯胸部按压是否能使患者复苏仍存疑虑。据 Jude、Kouwenhoven 和 Knickerboker 等考证,最早记录开胸心脏按压的是 Mortiz Schiff 教授。他

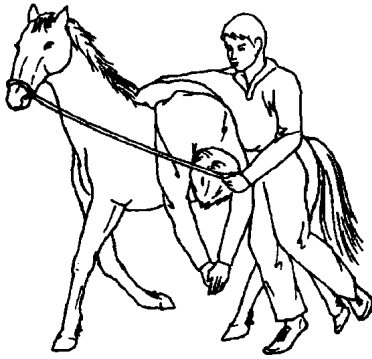


图 1-2 骑马法

在用氯仿诱导狗心脏骤停后,进行开胸心脏按压,成功恢复了狗的自主循环。他还提出开胸心脏按压时,阻断主动脉可以进一步改善预后。1878年,Boehm通过静脉注射钾盐、使用氯仿或窒息的方式诱导猫心跳骤停,然后利用胸外按压对猫进行复苏。研究发现按压两侧胸廓30 min,可以使猫的血压维持在50~120 mmHg。切开猫的颈动脉后,每次按压都会导致血从颈动脉喷出。1883年,德国哥廷根大学的外科学教授 Franz Koenig 在他编写的外科学教科书中描述了闭胸式胸外按压。Koenig 发现如果按压患者左胸部心尖位置时,自主呼吸和循环都能恢复。同时,他还报道了6例被这种方法成功复苏的患者。1892年,Friedrich Maass 更加清楚地确认了胸外按压能在心跳骤停时维持血液循环,并指出按压频率越快,复苏成功率越高。胸外按压频率应保持60次/分钟以上的观点在一百年后才得到充分证实。1901年,挪威 Kristian Igelsrud 首次对患者成功进行了开胸心脏按压。1953年,Stephenson 及同事报道了1200例心跳骤停患者接受开胸心脏按压,其中28%复苏成功。这样的病例数量及复苏成功率即使在今天也是相

当惊人的。

尽管前人已对复苏方法进行了许多探索,但是对胸外按压成系统的研究和临床应用的实际开展却始于约翰霍普金斯大学的Willian Kouwenhoven。Kouwenhoven 小组在对心脏骤停的狗进行复苏时发现,按压犬胸部时,其动脉压明显增加。Kouwenhoven 教授认为这是由于按压胸部产生的前向血流造成的。之后,Kouwenhoven 小组与 James Jude 博士共同证实对胸壁的按压不仅可以产生血压,还可以恢复血流,并最终恢复自主循环。1960 年,他们总结对 20 例患者胸部按压的经验,在美国医学会杂志上发表了题为“闭胸心脏按压”的论文。这一论文具有划时代意义。论文中 20 例患者全部复苏成功,其中 14 例患者存活出院。直到今天,这个观察结果仍然对心肺复苏领域颇具影响。他们报告中的统计资料甚至优于我们在院外心脏骤停的非选择性人群中所获得的数据。

三、电击除颤技术的发展

1850 年,Ludwig 和 Hoffa 首次试验性诱导室颤成功。他们在狗开胸术后,直接用交流电电击狗的心室,从而引起室颤,并详细地描述了室颤现象。直到 1913 年,Einthoven 及其同事发明了心电图记录仪,这类观察才从动物实验发展为人体实验。1899 年,Prevost 和 Battelli 首次提出用电除颤终止室颤。他们在狗的脑和直肠间放置电极,并使用 40~2400 V 的交流电电击。他们发现低电压交流会诱发室颤,而高电压交流电可以终止室颤。1933 年,Hooker、Kouwenhoven 和 Langworthy 研究了狗心脏直接电除颤的能量水平。0.4 A 的交流电持续 5 s 可以诱导室颤,而 0.8 A 以上的电流可以除颤。1940 年,克里夫兰西储大学医学院著名教授 Wiggers 证实使用交流电除颤同时开胸心脏按压是有效的实验复苏手段。1947 年,西储大学外科学教授 Claude Beck 将除颤技术应用于临床,成功使室颤患者恢复正常心电节律。早期除颤仪使

用的是正弦交流电,非常笨重,不适合院内外紧急情况下的快速搬动使用。俄国生理学家 Gurvich 和 Yunie 对交流电除颤仪做了重大改进,使用电容器直流放电除颤。直流电除颤仪体积小、重量轻、可使用电池,比使用交流电除颤仪更加方便。1962年, Bernard Lown 及其同事证实,直流电除颤仪可以成功转复室颤、室速,而且与交流电除颤仪相比,除颤后心律失常的发生率低。动物经直流电除颤后房颤和复苏后前侧壁心肌梗死的发生率显著低于交流电除颤。此外,还发现患者复发性室速和室颤的发生率也更低,因此直流除颤被认为可以使整个心脏一致除极,比交流电除颤更安全。此外,Lown 还提出除颤易损期概念,提议不应在 T 波时放电,后来又提出对于室颤以外的心律失常应进行同步电复律。如果在易损期电击,诱发室颤的可能性增加 1/3 以上。

目前,小巧的、电池供电的便携式直流电除颤仪与带有同步功能的传统除颤仪都被专业人士所使用。“智能化”自动体外除颤仪主要供非专业人士和初级救护人员使用。近年来,还出现了与起搏器相似的体内自动除颤仪。这种装置可以自动分析心电图,一旦发现室速和室颤,就自动进行低能放电除颤。

四、现代心肺复苏技术的发展

20 世纪 50 ~ 60 年代,口对口人工呼吸与胸外按压被重新认识与重视。Peter Safar 提出将口对口人工呼吸与胸外心脏按压这两种复苏方式结合起来不仅是合理的,而且复苏效果将会大大提高,并明确地将其定义为心肺复苏(Cardio pulmonary resuscitation, CPR)。人工呼吸与胸外按压的结合标志着心肺复苏体系与学说的建立,成为现代心肺复苏与心血管急救的里程碑。自此,心肺复苏得到了迅速的发展。Kouwenhoven、Knickerbocker 与 Jude 明确宣布心肺复苏的措施应该包括人工通气、胸外按压及电击除颤。现代心肺复苏建立了基本的程序,即 A (airway, 畅通气道); B