

呼气末二氧化碳在心肺复苏中的应用(综述)

李露婷, 冯传杰

延安大学附属医院急诊科, 陕西 延安

收稿日期: 2023年11月21日; 录用日期: 2023年12月14日; 发布日期: 2023年12月25日

摘要

人体呼吸分为外呼吸、气体运输、内呼吸三部分, 外呼吸包括肺通气、肺换气, 肺通气指肺从外界吸入 O_2 , 呼出 CO_2 , 肺换气为肺内部毛细血管与肺泡之间气体交换。内呼吸指机体细胞在代谢时与周围组织、毛细血管进行气体交换, 气体运输指细胞代谢所需 O_2 、产生 CO_2 随血液流动方向, 由毛细血管、静脉、动脉进入肺, 通过肺换气、肺通气完成气体交换, 气体运输是连接内外呼吸的重要环节。在急危重症中, 心跳骤停发生时, 机体自主肺通气微弱甚至停止, 心脏无法维持正常泵血功能, 血流动力学改变导致气体运输环节中止, 内呼吸缺少血氧供给, CO_2 等代谢产物滞留, 细胞代谢无法正常运行, 细胞功能受损, 此时心肺复苏(CPR, Cardiopulmonary Resuscitation)是抢救患者唯一措施, 人工辅助通气替代自主肺通气, 胸外按压替代心脏泵血功能, 建立人工循环, 重启气体运输环节, 气体交换恢复, 组织细胞代谢产生 CO_2 随血流运行至肺毛细血管, 经肺泡与 O_2 交换, 呼气时排出体外。体内二氧化碳产量、肺通气量、肺血流量是决定肺泡内二氧化碳分压($PetCO_2$)主要因素, 院内复苏时多为气管插管呼吸机辅助通气, 若设置肺通气量恒定, 则复苏时血流速度、肺血流量决定 $PetCO_2$ 。CPR时, 血液由上下腔静脉流入右心房, 经肺动脉、肺静脉流入左心房, 在舒张期, 冠状动脉扩张、压力下降, 冠脉血流量增加, 冠状动脉的有效灌注压是心脏复跳的决定因素, 但复苏时往往时间紧促, 动静脉有创置管监测血流动力学操作难度较大, 故监测 $PetCO_2$ 可间接反应肺血流量、冠状动脉灌注压, 是一种无创、方便、快速评估CPR质量的有效手段。

关键词

呼气末二氧化碳, 心肺复苏

Application of End-Tidal Carbon Dioxide in Cardiopulmonary Resuscitation (Review)

Luting Li, Chuanjie Feng

Department of Emergency, Yan'an University Affiliated Hospital, Yan'an Shaanxi

Received: Nov. 21st, 2023; accepted: Dec. 14th, 2023; published: Dec. 25th, 2023

Abstract

Human respiration is divided into three parts: external respiration, gas transport, and internal respiration. External respiration includes pulmonary ventilation and pulmonary ventilation. Pulmonary ventilation refers to inhaling O_2 and exhaling CO_2 from the outside. Pulmonary ventilation is gas exchange between blood capillary and alveoli in the lung. Internal respiration refers to the metabolism of cells in the body and the surrounding tissue, The blood capillary carries on the gas exchange, the gas transportation refers to the cell metabolism needs the O_2 , produces the CO_2 along with the blood flow direction, enters the lung by the blood capillary, the vein, the artery, through the lung ventilates completes the gas exchange, the gas transportation is the connection inside and outside the breath important link. In critical illness, cardiac arrest occurs when the body's own lung ventilation is weak or even stopped, and the heart cannot maintain normal pumping function. Hemodynamic changes lead to the suspension of gas transportation, lack of oxygen supply in internal respiration, retention of CO_2 and other metabolites, cell metabolism can not run normally, and cell function is impaired. At this time, cardiopulmonary resuscitation (CPR) is the only measure to rescue patients. Artificial auxiliary ventilation instead of spontaneous pulmonary ventilation, chest compression instead of blood pumping function of the heart, the establishment of artificial circulation, restart the gas transport link, gas exchange recovery, tissue metabolism of CO_2 run along with the blood flow to the pulmonary capillary, through the alveoli and O_2 exchange, exhaled from the body. Intraalveolar partial pressure of carbon dioxide ($PetCO_2$) is determined by carbon dioxide production in vivo, pulmonary ventilation volume and pulmonary blood flow. In hospital resuscitation, most patients were ventilated by intubation and ventilator. If the pulmonary ventilation volume was constant, the blood flow velocity and pulmonary blood flow determined $PetCO_2$ during resuscitation. During CPR, the blood flows from the superior and inferior vena cava to the right atrium, and then to the left atrium through the pulmonary artery and pulmonary vein. In diastole, the coronary artery dilates, the pressure drops, the coronary blood flow increases, the coronary artery effective perfusion pressure is the determinant of heart beat, but the time of resuscitation is often tight, and it is difficult to monitor hemodynamics with invasive catheterization in artery and vein. Therefore, $PetCO_2$ monitoring can indirectly reflect the pulmonary blood flow, coronary artery perfusion pressure, is a non-invasive, convenient and rapid assessment of the quality of CPR effective means.

Keywords

End-Tidal Carbon Dioxide, Cardiopulmonary Resuscitation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. $PetCO_2$ 应用原理

体内 CO_2 生成量、肺血流灌注量、肺通气量是 $PetCO_2$ 三个主要决定因素[1], 若其中之一保持恒定, 则可通过 $PetCO_2$ 变化反向推导其余变量。对于呼吸心跳骤停患者, 实行气管内插管呼吸机辅助通气时根据体重设置潮气量(6~8 ml/Kg) [2], 呼吸机良好运行时表明各部件功能正常, 呼吸环路闭合完整无漏气, 此时患者无自主呼吸, 每分钟潮气量即为每分钟肺通气量, 在一定时间内, 可认为肺通气量不变, CO_2 在肺换气时通过肺泡迅速弥散, 经肺通气呼出体外, 在气管导管与螺纹管相接处接入 $PetCO_2$ 传感器, 呼出气体内所含 CO_2 可迅速被传感器感应, 可在呼吸机读取实时 $PetCO_2$ 分压数据[3] [4]。

2. 评估心肺复苏质量进展史

2.1. PetCO₂ 在胸外按压中研究进展史

临床常见心肺复苏有效指征有自主呼吸恢复、触及规律的大动脉搏动, 患者面色、口唇、甲床等由苍白或紫绀转为红润, 瞳孔由大变小、光反射恢复, 有眼球活动或睫毛反射, 肢体出现活动等, 监测指标主要有体温、呼吸、脉搏、血压、动脉血氧饱和度等, 但早在 1987 年, Garnott AR 等[5]学者研究院外发生非躯体性外伤心搏骤停患者, 转运至院内行使用心肺复苏仪继续胸外按压, 结果显示复苏失败组与成功组的 ROSC(自主循环恢复)出现前, 两组 PetCO₂ 对比无显著差异, 当成功组出现 ROSC 后, 几秒内 PetCO₂ 明显升高, 峰值与出现 ROSC 前所测得 PetCO₂ 有极显著差异($P < 0.0001$), 且常为病情改善的首要变化点。临床上常有因家属要求抢救意愿, 或患者反复室颤, 经除颤、抗心律失常药物、血管活性药物等应用可维持自主心跳、一定程度的血压, 但仍然结局不良事件发生, 该研究提示 ROSC 时 PetCO₂ 转折点可能为评估复苏终点提供参考。在 Falk JL 等[6]研究显示在连续监测有创动脉压进行胸外按压 13 例中, 9 例患者心脏指数都与 PetCO₂ 线性相关, 11 例患者在心脏停跳前 PetCO₂ 的降低与动静脉血氧饱和度的差值线性相关, 脉搏与心排量相关性极低。提示脉搏并不能作为反应灌注压的证据, 氧饱和度依然是反应复苏有力证据, PetCO₂ 可间接反应心排量。Gordon A 等[7]研究指出触及脉搏并不能说明 CPR 质量良好, 经食道心动回波记录显示, 很多胸外按压早期的血液流动因右室按压引发, 血液由冠状窦流入右心房, 冠脉灌注压为主动脉的舒张压减去右心房的舒张压, 若按压深度、频率不足, 主动脉的舒张压与右心房舒张压相等, 则冠脉血流量为零, 心肌缺血持续加剧, 冠脉灌注压不足 15 分钟后, 已造成心肌细胞不可逆损伤, 再恢复足够甚至超常的灌注压并不能挽救心肌, 心脏复跳概率极低。因二氧化碳易于弥散, CPR 时肺血流流动缓慢, 复苏早期呼气末二氧化碳可被全部呼出, 呈现一过性增高趋势, 随着复苏进行, 呼气末二氧化碳持续低于 10 mmHg 的患者不能复苏。徐州医科大学麻醉学院王飞、胡书群等[8]报道评估 ROSC 最佳临界值 10.25 mmHg, 若持续 10 min PetCO₂ ≤ 10 mmHg, 提示可停止复苏。早在 1994 年, 广州军区医院陈菊新等[9]报道对 1 例过敏性休克心脏骤停患者胸外按压 5 分钟后, PetCO₂ 波动于 21.75~24.75 mmHg, 无 ROSC, 立即给予开胸心脏按压, 仅按压 3 次后, 出现 ROSC, 给予对症支持治疗后, 患者最终 PetCO₂ 波动于 31.5~37.5 mmHg, 1.5 小时后患者自主呼吸恢复, 转入 ICU 进行后续高级生命支持。根据查阅目前现存文献, 该报道或为我国第一例开胸按压, 虽无后续随访患者是否存活, 且仅有 1 例, 开胸按压存在创伤大、被家属难以接受等缺点, 但随着医疗科技的进步, 开胸按压是否会在未来被纳入心肺复苏指南也未可知。西安交通大学周哲人、高路[10]对犬进行心肺复苏分析 PetCO₂ 与冠状动脉灌注压(CPP)结果显示 CPP 与 PetCO₂ 均呈强正线性相关, 对复苏期间不同时相进行相关分析也显示出 CPP 与 PetCO₂ 呈正线性相关, 4 分钟开胸心脏按压组 CPP 较 4 分钟胸外按压组、8 分钟开胸心脏按压组相比, 冠脉血液灌流量较大, 但随着复苏的进行, 开胸按压并不能获得更多受益, 甚至降低复苏效果, 可能因按压对改善冠脉血流作用有限, 未应用血管活性药物等因素有关。南京大学医学院附属鼓楼医院顾勤等[11]研究监测心搏骤停当时、CPR 后 2、5、10、20 min 时 PetCO₂ 值的变化, 显示 CPR 成功组与 CPR 失败组两组患者在 CPR 当时 PetCO₂ 值均较低, 两组比较差异无显著性, 但失败组 PetCO₂ 值在 2~5 min 时轻度上升, 波动于 9~10 mmHg, 之后进行性下降, 而成功组在 CPR 过程中 PetCO₂ 值逐渐上升, 成功组 CPR 过程中平均 PetCO₂ ≥ 20 mmHg, 失败组则 < 20 mmHg。北京大学第一医院陈旭岩等[12]研究结果显示, 对心跳骤停患者给予高级生命支持后, 复苏成功组患者 20 min 时 PetCO₂ 均 > 10 mmHg, 而复苏失败组 20 min 时 PetCO₂ 均 ≤ 10 mmHg, 计算敏感性、特异性、阳性预测值和阴性预测值均是 100%, 推断若以 20 min 作为复苏节点, 对于 PetCO₂ 持续 ≤ 10 mmHg 患者, 或可终止复苏; 对于 PetCO₂ > 10 mmHg 患者则应继续给予胸外按压。浙江大学医学院附属第一医院潘向滢、周斌等[13]报

道 1 例对爆发性心肌梗死导致心脏骤停患者给予 CPR 1 min, 患者自主睁眼, 但气管插管显示 PetCO₂ 为 0 mmHg, 实施 V-A ECMO (静脉-动脉体外膜肺氧和)成功转流后, 意识恢复, PetCO₂ 仍为 0 mmHg, 床旁心动超声示心脏无有效射血, 这也证实了通过监测 PetCO₂ 数值可评估心脏有效排血量、冠状动脉及外周组织血流灌注情况。天津医科大学总医院急诊医学科刘斌等[14]研究显示, 利用平均 PETCO₂ 评估心脏骤停患者 ROSC 最佳临界值为 22 mmHg, 若平均 PetCO₂ < 15 mmHg, 可认为复苏失败。河北胸科医院张春艳、池菲等[15]研究显示 PetCO₂ 预测 ROSC 的最佳临界值为 12.5 mmHg, 若 PetCO₂ ≤ 12.5 mmHg 持续时间超过 20 min, 复苏失败率 100%。重庆市东南医院曾敏[16]对 100 例需 CPR 患者随机分为常规组(50 例)、观察组(50 例), 复苏中均监测两组 PetCO₂, 但观察组根据 PetCO₂ 变化给予对应治疗措施(如调整按压部位、深度等), 结果显示, 常规组、观察组复苏成功率分别为 60%、80%, 对比两组复苏成功患者 10、20、30 min PetCO₂, 显示 10 min PetCO₂ 无显著差异, 20、30 min 时观察组 PetCO₂ 明显高于常规组(P ≤ 0.05), 提示 PetCO₂ 对 CPR 具有一定指导意义。北京协和医院、天津医科大学总医院孙峰、李晨等[17]一项多中心研究表明, 对于成年非创伤院内复苏患者, PetCO₂ ≤ 10 mmHg 持续 10 min 可以作为终止复苏的指标。美国心脏协会(AHA, American Heart Association)自 1924 年成立以来, 一直致力于心脏病和卒中的研究与预防, 并于全球范围内进行 BLS (基础生命支持)、HeartSaver (心脏救护)与 ACLS (高级心血管生命支持)的培训。AHA 于 2000 年开始每隔 5 年制定心肺复苏(Cardiopulmonary Resuscitation, CPR)和心血管急救(Emergency Cardiovascular Care, ECC)指南, 2005 年指南[18]注明 PetCO₂ 可作为了解复苏过程中心脏排血量的无创指标, 2010 年指南[19]提出可以将 PetCO₂ 分压监测作为监测复苏效果有效指标, 2015 年指南[20]推荐可通过监测 PETCO₂ 来指导心肺复苏工作的开展, 并指出经过 20 分钟心肺复苏后, PETCO₂ 仍然低于 10 mmHg 的插管患者复苏的可能性很低。2020 年指南[21]提出可通过监测 PETCO₂ 提高心肺复苏质量, 并在指南中明确说明胸外按压时, PETCO₂ 显著升高可能提示患者达到 ROSC, 可见 PETCO₂ 在心肺复苏急救中作为无创性监测指标的地位日益趋于重要。

2.2. PetCO₂ 在腹部提压中研究进展

因胸外伤、血气胸、肋骨骨折、胸廓畸形等为胸外按压禁忌症, 且不论是人工胸外按压或使用 CPR 复苏仪, 都存在肋骨骨折、肺及心脏损伤、因通气而按压中断有效灌注压不足等缺点, 有文献报道, 传统 CPR 胸外按压复苏中约 30%~80%并发肋骨、胸骨骨折, 肺、胸膜及心脏损伤, 影响复苏成功率[22]。2019 年, 我国心肺复苏专家共识编委会颁布了《〈中国心肺复苏专家共识〉之腹部提压心肺复苏操作指南》(AACD-CPR) [23], 利用腹部提压改变腹腔内压力, 使腹腔脏器及血管内约 25%的血液流回心脏, 增加心有效排血量、冠状动脉及组织灌注, 同时诱发膈肌上下运动, 改变胸腔内压, 增加肺通气量。腹部提压的优点在于不中断通气、不影响上半身有创动静脉操作置管, 扩大了传统心肺复苏胸外按压的受益人群。郑州市及海口市急诊科汪宏伟、张思森等[24]联合研究发现, ROSC 成功组在 CPR 过程中 PetCO₂ 值逐渐上升, 失败组则在 2~5 min 内稍升高, 之后逐渐下降, 以 120 min 为复苏终止点, 成功组复苏过程中 PetCO₂ 平均值 ≥ 20 mmHg, 失败组则相反, 这与南京大学医学院附属鼓楼医院顾勤等[11]研究结论相同, 理论上可推断腹部提压与胸外按压能够获得同样的心脏有效排血量及冠状动脉灌注压。汪宏伟、沙鑫等[25]研究再次发现, 以 CPR 20 min 为节点, 监测 PetCO₂ 指标预测复苏结局, PetCO₂ 最佳临界值为 24.25 mmHg, 敏感度为 90.7%, 特异度为 96.6%。遵义医学院附属医院及武警总医院急救医学中心冉启华、刘亚华等[26]联合研究探讨对心跳骤停家猪模型实行腹主动脉按压(SACC)联合单纯胸外按压(SCC)复苏效果影响, 结果显示 SACC-CPR 组 PETCO₂、CPP、复苏成功率、24 h 存活率明显高于 SCC 组。武警总医院急救医学中心马立芝、王立祥[27]等对呼吸骤停猪模型给予腹部按压心肺复苏发现, 腹部按压产生的潮气量达到基础值 50%左右, PetCO₂ 达正常值范围, SpO₂ 达 90%左右, 说明腹部提压可起一定程度

的辅助通气作用。安徽医科大学附属第三医院李从圣、杨静等[28]研究发现,对于存在标准心肺复苏禁忌患者,腹部提压复苏能显著改善初期复苏效果。宝鸡市中医医院孙牧、赵家骏[29]关于院前复苏研究显示,以 30 min 为节点,腹部提压联合徒手胸外按压心肺复苏组平均动脉压(MAP)、心率(HR)、动脉血二氧化碳分压(PaCO₂)和呼气末二氧化碳分压(PetCO₂)明显高于单纯徒手胸外按压组,而联合复苏组动脉血氧分压(SpO₂)和血乳酸水平明显低于徒手胸外按压组,分析 SpO₂ 较低可能因腹部提压频率的增加,虽增加肺通气量,也增加解剖无效腔,肺泡通气/肺血流比值改变所致,有待于进一步研究。连云港第一人民医院及武警总医院急救医学中心顾彩虹、王立祥等[30]联合研究对心跳骤停兔行膈肌下抬挤复苏法发现,膈肌法复苏组复苏成功率、CPP、PetCO₂ 均高于常规胸外按压组,且均监测到两组中随着 CPP 升高, PetCO₂ 迅速升高的, ROSC 概率也升高。目前 ADCC-CPR 尚未在我国大面积推广,传统 CPR 仍然占据主导地位,期待未来能使更多患者受益。

3. 机体酸碱度与部分药物对 PetCO₂ 影响研究进展

胸外按压时,心排血量约占正常心排血量 1/4~1/3,心泵丧失正常的抽吸功能,肺循环淤血,血流速度缓慢,组织细胞缺乏灌注,细胞膜钠-钾泵失调,细胞内乳酸堆积、二氧化碳蓄积等,机体呈现酸中毒状态。我国第四军医大学唐都医院岳云等[31]用动物模型诱发室颤进行开胸按压,重复按压、除颤直至复跳成功,过程中监测动脉、混合静脉(肺动脉)血气分析指标,发现室颤前 PetCO₂ 与 PaCO₂ 有良好相关性,室颤后几乎毫不相关,反应肺低流量灌注,CPR 2 min 时 PaCO₂ 与基础状态相比无明显差异,但混合静脉二氧化碳(PvCO₂)增加,动静脉 CO₂ 差增大,动静脉血 Ph 值增大,但动静脉 HCO₃⁻ 无明显差异,表明在静脉血(Ph 7.08 ± 0.03)中出现呼吸性酸中毒,动脉血(Ph 7.25 ± 0.03)却相对偏碱,故复苏时静脉血更接近机体酸中毒状态。分析原因可能为 CPR 时肺血流仍低,因 CO₂ 易于弥散,当肺泡通气/肺泡血流比值增加,可表现为 PaCO₂ 正常,但因组织细胞仍处于低灌注状态,气体运输、交换环节受损,组织细胞 CO₂ 不能及时排出,表现为 PvCO₂ 增加。若根据常规血气分析 Ph 值 7.35~7.45 为正常范围,而临床常采取动脉血行血气分析,此时便会误认为机体 Ph 值偏酸,给予碳酸氢钠纠正,而碳酸氢钠会经过一系列可逆性分解合成,最终产生 CO₂,若未得到有效清除,便会加重酸中毒,抑制心肌细胞能量代谢,最终岳云建议,除非动脉血 Ph < 7.2,否则使用碳酸氢钠并无益处。大剂量肾上腺素曾被国外学者 Chase 等[32]报道虽可增加心肌灌注压和心肌血流量,却降低心排出量和 PetCO₂。国内广西医科大学原见春、陈序等[33]报道 22 例急性失血性休克患者给予大剂量肾上腺素,14 例康复出院;邹霞、林成新等[34]报道 1 例大剂量肾上腺素用于术中急性失血性休克心脏骤停病人,抢救中多次给予大剂量肾上腺素(0.1~0.2 mg/Kg),生命体征平稳后共计使用肾上腺素 289 mg,后转入 ICU 继续给予低温等支持治疗,ICU 停留时间为 42.5 h,术后 17 天出院,1 个月后随访未见明显并发症。考虑该类患者术中低血容量休克虽导致心跳骤停,但能得到及时的补液、复苏等措施,是否大剂量肾上腺素适用此种类型患者,仍有待研究。山莨菪碱因阻滞 M 胆碱受体机制,可缓解微血管痉挛,改善微循环,逐渐成为心肺复苏中用药研究热点,众多研究表明[35]-[45]山莨菪碱能改善心肌微循环灌注,抑制炎症因子释放,改善冠脉内皮功能,保护冠脉内皮细胞完整,对心脏骤停后缺血心肌再灌注有保护作用。但关于山莨菪碱与 PetCO₂ 相关性的报道较少,理论上来说,冠脉灌注是影响心脏复跳、ROSC 成功率的重要因素,而山莨菪碱可改善冠脉微循环,增加冠脉灌注压,应于 PetCO₂ 有较好相关性。遵义医学院附属医院、解放军总医院急诊科周满红、张维、刘亚华等人[46]在山莨菪碱对心跳骤停猪模型研究显示,山莨菪碱联合肾上腺素组与肾上腺素组相比,联合组除颤总次数明显低于肾上腺素组,差异有统计学意义(P = 0.007),首次除颤前联合组 PetCO₂ 明显高于肾上腺素组,差异有统计学意义(P < 0.01),联合组 ROSC 率及复苏成功率(77.78%)高于肾上腺素组(55.56%),但差异无统计学意义(P > 0.05),但仍提示山莨菪碱降低除颤所需总能量,使用山莨菪碱或许可使除颤更容易成功,首次除颤前联合

组 PetCO₂ 明显高于肾上腺素组或因改善心肌血流组织灌注有关。

4. 结语

引起心跳骤停有心源性、肺源性、创伤性、脑源性、其他创伤性疾病等类型, 不论是院前或院内, 不同类型患者因影响因素众多, 复苏结局或许不同, 目前相关研究以院内心跳骤停(In-Hospital Cardiac Arrest, IHCA)居多。吉林大学李征等[47]研究显示对于 IHCA, 男性、高龄、CPR 持续时间超过 23 min、肾上腺素应用总量超过 3 mg 是 Non-ROSC (自主循环未恢复)的独立危险因素, IHCA 前合并心律失常、初始心律类型为可除颤心律、建立高级气道是其独立保护因素。河北胸科医院张春艳、池菲等[48]研究显示, CPR 发生地点、CPR 开始时间、首次监测心律、肾上腺素累积剂量四项指标是自主循环恢复的独立预测因素($P < 0.05$)。吉林大学附属医院赵婷婷等[49]报道 CPR 持续时间 > 30 min 是 ROSC 的独立危险因素, 年龄小、紧急气管插管、肾上腺素累积剂量小是 ROSC 的独立保护因素; CPR 持续时间 > 30 min 是存活出院的独立危险因素, 心源性病因、抢救过程中出现可除颤心律是存活出院的独立保护因素。莆田市急救中心陈智勇等[50]研究结果与赵婷婷报道基本一致。袁莹、邱建清[51]研究显示, 入院急性生理与慢性健康评分(APACHE II 评分)、心输出量(CO)是院内 IHCA 心肺复苏后自主循环恢复的独立影响因素。本文提到相关部分研究进展也存在一定局限性, 相信随着医疗技术的进步、急救专业的发展, 每一例需要复苏的患者都能得到及时、有效的救治。

参考文献

- [1] 王庭槐, 主编. 生理学[J]. 第九版. 北京: 人民卫生出版社, 2018.
- [2] Battaglini, D., Pelosi, P. and Robba, C. (2022) Ten Rules for Optimizing Ventilatory Settings and Targets in Post Arrest Patients. *Critical Care*, **26**, Article No. 390. <https://doi.org/10.1186/s13054-022-04268-7>
- [3] 王亚林, 张广, 吴太虎. 呼气末二氧化碳监测技术及设备简介[J]. 医疗卫生装备, 2014, 35(3): 117-120.
- [4] 宋禹. 呼气二氧化碳监测仪在非插管患者监测中的研究进展[J]. 医疗装备, 2021, 34(11): 194-196.
- [5] Garnett, A.R., et al. (1987) End-Tidal Carbon Dioxide Monitoring during Cardiopulmonary Resuscitation. *JAMA*, **257**, 512-515. <https://doi.org/10.1001/jama.1987.03390040128031>
- [6] Falk, J.L., Rackow, E.C. and Weil, M.H. (1988) End-Tidal Carbon Dioxide Concentration during Cardiopulmonary Resuscitation. *New England Journal of Medicine*, **318**, 607-611. <https://doi.org/10.1056/NEJM198803103181005>
- [7] Ewy, G.A. (1993) Practical Aspects of Cardiac Resuscitation. *Heart Disease and Stroke*, **2**, 33-36.
- [8] 王飞, 徐亮, 王斌, 等. 连续呼气末二氧化碳监测在心肺复苏患者中应用价值研究[J]. 创伤与急危重病医学, 2020, 8(6): 446-449.
- [9] 陈菊新, 马国亮, 曹国志. 心肺复苏期间 CO₂ 潮气末变化的观察[J]. 广东医学, 1994, 15(9): 644. <https://doi.org/10.13820/j.cnki.gdxy.1994.09.052>
- [10] 周哲人, 高路. 心肺复苏期间犬潮气末二氧化碳分压变化实验研究[J]. 陕西医学杂志, 2014(7): 782-784.
- [11] 顾勤, 朱章华. PetCO₂——评价心肺复苏预后的有用指标[J]. 急诊医学, 2000, 9(1): 24-25.
- [12] 陈旭岩, 冯莉莉, 刘娟, 等. 潮气末二氧化碳分压评价心跳骤停患者心肺复苏的预后[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2007, 2(3): 132-134.
- [13] 潘向滢, 周斌, 王海莘, 等. 呼气末二氧化碳分压监测在一例暴发性心肌炎患者体外心肺复苏中的应用分析[J]. 中华危重症医学杂志(电子版), 2020, 13(3): 229-230.
- [14] 刘斌, 寿松涛, 李晨. 平均呼气末二氧化碳分压评估院内心搏骤停患者心肺复苏质量和预后的临床价值[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2017, 11(2): 222-225.
- [15] 张春艳, 池菲. 呼气末二氧化碳在心肺复苏中的临床价值[J]. 中国医刊, 2021, 56(11): 1207-1210.
- [16] 曾敏. 呼气末二氧化碳监测在心肺复苏中的应用[J]. 继续医学教育, 2023, 37(8): 177-180.
- [17] 孙峰, 李晨, 付阳阳. 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]. 中华危重症急救医学, 2018, 30(1): 29-33.

- [18] 刘瑛琪, 钱方毅, 李宗浩. 2005 年美国心脏学会(AHA)心肺复苏与心血管急救指南解读(十八) [J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2008(3): 154-157.
- [19] 李春盛. 对 2010 年美国心脏协会心肺复苏与心血管急救指南的解读[J]. 中国危重病急救医学, 2010, 22(11): 641-644. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1003-0603.2010.11.001>
- [20] 秦历杰. 《2015 年美国心脏协会心肺复苏及心血管急救指南更新》解读[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2017, 31(10): 937-939.
- [21] 何亚荣, 郑玥, 周法庭, 姚鹏. 2020 年美国心脏协会心肺复苏和心血管急救指南解读——成人基础/高级生命支持[J]. 华西医学, 2020, 35(11): 1311-1323.
- [22] 王立祥, 刘中民. 腹部提压心肺复苏术[J]. 中国研究型医院, 2022, 9(3): 71-76. <https://doi.org/10.19450/j.cnki.jcrh.2022.03.014>
- [23] 李鑫, 刘亚华, 王立祥. 《中国心肺复苏专家共识》之腹部提压心肺复苏临床操作指南[J]. 中华危重病急救医学, 2019, 31(4): 385-389. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.04.001>
- [24] 汪宏伟, 张思森, 沙鑫, 等. PETCO₂ 在腹部提压心肺复苏急救效果评估中的临床价值分析: 附 92 例报告[J]. 中华卫生应急电子杂志, 2017, 3(2): 112.
- [25] 汪宏伟, 沙鑫, 张思森, 等. PetCO₂ 对腹部提压 CPR 救治效果及血清 S100B 蛋白对脑功能预测价值的研究[J]. 中华危重病急救医学, 2018, 30(2): 117-122.
- [26] 冉启华, 刘亚华, 等. SAAC 联合 CPR 对心脏骤停家猪模型复苏效果的影响[J]. 重庆医学, 2013(27): 3275-3277.
- [27] 马立芝, 王立祥, 等. 腹部按压心肺复苏方法对呼吸骤停猪肺通气的观察[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2011, 5(12): 3623-3624.
- [28] 李从圣, 杨静, 等. 腹部提压心肺复苏在心搏骤停患者抢救中的应用效果[J]. 中华卫生应急电子杂志, 2021, 7(5): 269-271.
- [29] 孙牧, 赵家骏. 腹部提压装置联合徒手胸部按压进行院前心肺复苏的效果[J]. 医学临床研究, 2021, 38(10): 1530-1532, 1536.
- [30] 顾彩虹, 王立祥, 等. 膈肌下抬挤复苏法对心跳骤停兔潮气末二氧化碳分压的影响[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2012, 7(2): 146-148.
- [31] 岳云. 心肺复苏时的二氧化碳代谢[J]. 临床麻醉学杂志, 1992, 8(1): 6-8.
- [32] Chase, P.B., Kern, K.B., Sanders, A.B., et al. (1993) Effects of Graded Doses of Epinephrine on Both Noninvasive and Invasive Measures of Myocardial Perfusion and Blood Flow during Cardiopulmonary Resuscitation. *Critical Care Medicine*, 21, 413-419. <https://doi.org/10.1097/00003246-199303000-00020>
- [33] 原见春, 陈序. 大剂量肾上腺素在术中急性重度失血性休克的应用探讨[J]. 广西医科大学学报, 2013, 30(2): 265-266.
- [34] 邹霞, 张光英, 林成新, 等. 1 例大剂量肾上腺素抢救心跳骤停的病例分析[J]. 广西医科大学学报, 2020, 37(6): 1198-1200.
- [35] 周满红. 山莨菪碱对心脏骤停复苏中心肌氧含量与复苏成功因素影响的研究[D]: [博士学位论文]. 天津: 南开大学, 2012.
- [36] 董桂娟, 杨军, 赵鑫, 等. 氢溴酸山莨菪碱可改善复苏后机体微循环[J]. 临床急诊杂志, 2023, 24(8): 424-431.
- [37] 吕骏卿, 籍强, 郭婷婷. 氢溴酸山莨菪碱对心脏骤停行心肺复苏患者微循环及冠状动脉内皮功能的影响[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2022, 17(7): 856-859.
- [38] 王福军, 郭树彬, 等. 氢溴酸山莨菪碱对心肺复苏术后冠脉内皮功能的保护作用机制[J]. 中国急救医学, 2021, 41(1): 60-65.
- [39] 张杰, 刘亚华, 等. 山莨菪碱对心搏骤停猪心肺复苏后肺损伤的保护作用及其作用机制研究[J]. 实用心脑血管病杂志, 2015(10): 40-44.
- [40] 刘亚华, 周满红, 等. 山莨菪碱对心脏骤停猪内质网源性心肌细胞凋亡的保护[J]. 临床急诊杂志, 2014, 15(10): 614-617.
- [41] 李嘉燕, 覃纲, 等. 山莨菪碱在染性休克患者早期集束化治疗中的应用研究[J]. 岭南急诊医学杂志, 2020, 25(5): 520-522.
- [42] 白世茹. 不同剂量山莨菪碱对缺血/再灌注损伤心肌的保护效应及线粒体 ATP 敏感性钾通道介导机制的研究[D]: [博士学位论文]. 石家庄: 河北医科大学, 2016.

- [43] 贾立静, 计达, 等. 山莨菪碱对心搏骤停大鼠心肌和脑组织代谢影响的研究[J]. 中国药物应用与监测, 2017, 14(2): 84-87.
- [44] 武杰. 心肺脑复苏术联合山莨菪碱对急诊心脏骤停患者康复效果的影响[J]. 医学理论与实践, 2020, 33(5): 734-736.
- [45] 方向韶, 等. 山莨菪碱改善脓毒性休克大鼠急性肺损伤的研究[J]. 岭南急诊医学杂志, 2018, 23(6): 511-513.
- [46] 周满红, 张维, 刘亚华, 等. 山莨菪碱对心搏骤停猪呼气末二氧化碳分压及复苏效果的影响[J]. 中国危重病急救医学, 2013, 25(2): 119-120.
- [47] 李征. 院内成人心脏骤停预后模型的构建与评价[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2023.
- [48] 张春艳, 孟宇, 池菲, 等. 急诊科心肺复苏后患者自主循环恢复的影响因素[J]. 河北医药, 2021, 43(7): 1009-1012, 1017.
- [49] 赵婷婷, 赵媛媛, 邢吉红. 成人院内心脏骤停患者临床特征及复苏结局影响因素分析[J]. 协和医学杂志, 2023, 14(3): 536-542.
- [50] 陈智勇, 林国良, 等. 影响心搏骤停患者 CPR 抢救成功及存活出院的相关危险因素分析[J]. 心血管病防治知识, 2022, 12(34): 27-31.
- [51] 袁莹, 邱建清. 院内心脏骤停患者自主循环恢复的影响因素分析[J]. 岭南急诊医学杂志, 2023, 28(4): 307-309, 312.