

急诊呼气末二氧化碳监测专家共识

急诊呼气末二氧化碳监测专家共识组

孙峰 马士程 王亚 执笔

呼气末二氧化碳 (end tidal carbon dioxide, ETCO_2) 监测是一项无创、简便、实时、连续的功能学监测指标。随着监测设备的小型化、采样方法的多样化、监测结果的精准化, ETCO_2 在急诊科的临床工作中得到了越来越广泛的使用。目前, ETCO_2 监测方法的选择和临床应用上仍存在诸多困惑, 故制定该共识以期规范并提高我国急诊医学领域对 ETCO_2 监测的认识和临床应用。

1 原理

ETCO_2 监测的方法有吸光光度法、显色法、质谱分析法、拉曼散射分析法等。临床上以吸光光度法最为常用。利用二氧化碳吸收 $4.26 \mu\text{m}$ 波长的红外线这一特点, 通过监测红外线衰减强度来计算二氧化碳的浓度。显色法检测装置利用二氧化碳遇水形成碳酸的原理, 让含水汽的呼出气体经过酸碱指示剂, 指示剂变色则提示有二氧化碳。

2 仪器介绍

2.1 采样方式分类

根据仪器的采样方式不同, 可分为主流型和旁流型。主流型仪器特点为气流直接经过测量室, 检测管路为人工气道的一部分。优点在于检测结果受气道内水汽和分泌物影响较小。缺点在于持续监测仅可用于密闭气道, 部分厂家产品明显增加气道管路负重和呼吸死腔^[1-2]。旁流型仪器气流被动进入测量室。呼出的气体经由抽气泵抽取部分至测量室进行测量, 抽气流速度为 $20 \sim 300 \text{ mL}/\text{min}$ 。优点在于可用于非密闭气道, 采样部位多样。缺点在于采样口易受气道内水汽和分泌物影响, 对于低流速通气或小儿, 抽吸产生的气流丢失可能影响潮气量测定和呼吸机触发^[2]。

2.2 显示参数分类

根据仪器波形显示参数的不同, 可分时间-二氧化碳分压波形和容积-二氧化碳分压波形。

时间-二氧化碳分压波形的纵坐标为二氧化碳分压; 横坐标为时间。波形连续, 可分为四个时相: 时相 I 波形在基线, 为吸气和死腔通气时间; 时相 II 为上升支, 是死腔

通气和肺泡内气体混合呼出时间; 时相 III 波形呈高位水平线, 为呼出肺泡气时间; 时相 IV 为时相 III 末至基线, 代表下一次吸气开始 (图 1)。

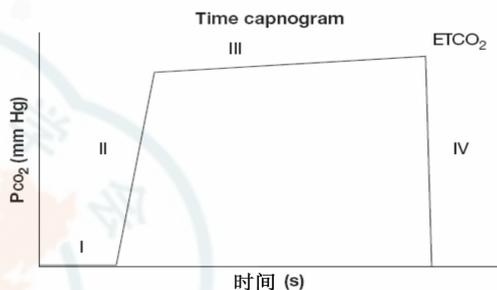


图 1 时间-二氧化碳分压波形图

容积-二氧化碳分压波形纵坐标为二氧化碳分压; 横坐标为呼出气容积。波形不连续, 可分为三个时相: 时相 I 为基线, 是死腔通气阶段; 时相 II 为上升支, 是死腔通气至肺泡通气阶段; 时相 III 为高位水平线, 是肺泡气呼出阶段。由于不监测吸气相, 没有时相 IV (图 2)。由于容积-二氧化碳分压波形仪监测二氧化碳分压的同时需要监测气道内的气流流速, 所以均使用主流型采样方式。

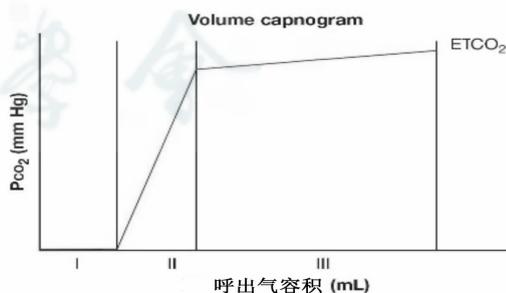


图 2 容积-二氧化碳分压波形图

3 基本操作

目前 ETCO_2 监测仪使用方法均较简便。分光光度法的仪器使用前需要以大气二氧化碳浓度定标。定标可分为自动定标和手动定标。自动定标为开机时机器自动完成; 手动定标由操作者手动按定标键完成。部分机型定期由厂家进行定标。定标结束后将管路接入气道, 即可显示数值或波形。二氧化碳分压显示数值单位为 mmHg 或浓度百分比。

4 临床应用 (图 3)



图 3 ETCO₂ 临床应用总结

4.1 确定管路位置

4.1.1 人工气道定位 推荐气管插管后使用 ETCO₂ 监测仪判断插管位置。

完成气管插管以后,使用连续监测的 ETCO₂ 监测仪是判断管路位置的优选方法,优于胸部听诊、X 线摄片。通常观察到连续 4~6 个以上的稳定波形即可判断气管插管在气道内。但注意该方法不能判断气管插管的深度。由于口对口人工呼吸可能将呼出气吹入患者胃内,或者患者短时间内服用了含碳酸盐的药物或食物,可导致采样前几次通气出现二氧化碳波形或者显色法检测装置出现假阳性。但上述情况经几次通气后呼出气二氧化碳水平即降至大气水平,因此使用连续监测装置可鉴别。主流型和旁流型仪器均适用确定人工气道位置。对于心肺复苏患者,出现连续稳定的 ETCO₂ 波形可确定气管插管在气道内。没有出现波形则不能确定气管插管是在气道内还是在食道内。需要采用其他方法确定管路位置^[3-5]。

4.1.2 鼻胃管定位 建议鼻胃管插管后使用旁路 ETCO₂ 监测仪协助管路定位。

ETCO₂ 监测仪可协助鼻胃管的定位,判断是否误入气道。Meta 分析显示使用 ETCO₂ 监测,不论是显示波形或颜色改变,都能准确判断机械通气患者鼻胃管的位置^[6]。鼻胃管口径小,仅可连接旁流型仪器或显色法检测装置。采样口应远离气道以避免呼气干扰。

4.1.3 气管插管患者的转运监测 建议带气管插管患者转运时监测 ETCO₂,协助判断人工气道异位。

转运气管插管患者时连续监测 ETCO₂,可及时发现气管插管脱出异位,减少转运的风险^[7-8]。

4.2 通气功能评价

4.2.1 低通气状态监测 建议小潮气量通气时监测

ETCO₂。

对于治疗性低通气患者,例如急性呼吸窘迫综合征患者进行保护性肺通气策略治疗时,小潮气量(6 mL/kg 甚至更低)通气增加了二氧化碳潴留的风险。实时监测 ETCO₂,可以及时发现二氧化碳潴留,并减少动脉血气检查频次。

4.2.2 低通气高危患者监测 推荐深度镇静镇痛或麻醉患者监测 ETCO₂。

对于存在低通气风险的患者,例如镇痛镇静、门诊急诊手术的患者,使用 ETCO₂ 监测仪发现的通气异常早于氧饱和度下降和可观察到的低通气状态^[9]。ETCO₂ 监测被认为是最优术后呼吸抑制监测项目^[10]。美国麻醉医师协会和英国与爱尔兰麻醉师联合会于 2011 年要求所有的麻醉过程中都必须监测患者 ETCO₂。

4.2.3 气道梗阻判断 建议使用 ETCO₂ 监测仪判断小气道梗阻。

对于小气道梗阻导致通气困难的患者,如重症哮喘^[11]和慢性阻塞性肺病患者,在采用时间-二氧化碳分压监测仪时,由于肺泡内气体排出速度缓慢,时相 II 波形上升趋于平缓。气体存留在肺泡内的时间较长,肺泡气的二氧化碳分压更接近静脉血二氧化碳分压。这一部分气体在呼气后期缓慢排出,使得二氧化碳波形在时相 III 呈斜向上的鲨鱼鳍样特征性改变(图 4)。可以根据此特征性图形初步判断气道梗阻情况。严重气道梗阻患者,因死腔通气比例增大,可导致呼出气二氧化碳分压显著下降^[12]。

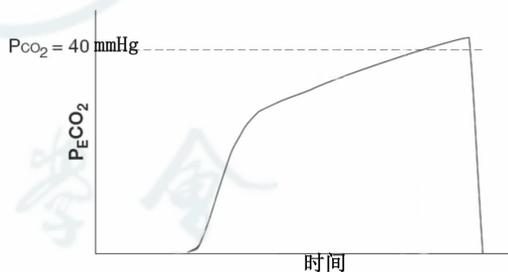


图 4 “鲨鱼鳍”样改变

4.2.4 优化通气条件 建议机械通气患者监测 ETCO₂。

对需要简易呼吸器和呼吸机通气辅助通气的患者,持续监测 ETCO₂ 可以及时发现通气过度或通气不足,指导优化通气条件,如通气频率和呼吸机触发条件等^[13-16]。对于治疗性高浓度二氧化碳通气患者可以精确调整吸入二氧化碳浓度^[17]。使用容量-二氧化碳分压监测仪还可以评估单肺通气患者通气血流比^[18-19]。评估通气血流比还有利于滴定呼气末正压的设置。

4.3 循环功能评价

4.3.1 判断自主循环恢复 推荐监测 ETCO₂ 协助判断自主循环恢复。

在心肺复苏的高级生命支持阶段,ETCO₂ 数值突然上

升 10 mmHg 以上预示自主循环恢复^[20]。但复苏过程中 ETCO₂ 数值的变化受肾上腺素、碳酸氢钠等药物以及胸外按压质量的影响,需联合动脉血压等指标判断自主循环是否恢复。

4.3.2 判断复苏预后 推荐监测 ETCO₂ 协助判断复苏预后。

2015 年 AHA 心肺复苏指南中指出,对于已经行气管插管的心肺复苏患者,经高质量心肺复苏,插管即刻与插管后 20 min 监测 ETCO₂ 数值均小于 10 mmHg,预示患者预后不良。对于非插管患者,不推荐使用 ETCO₂ 数值判断预后^[21]。

4.3.3 判断容量反应性 建议使用 ETCO₂ 联合评估容量反应性。

容量反应性是急危重症患者病情评估的重要参数。ETCO₂ 监测联合直腿抬高试验判断容量反应性,ETCO₂ 浓度上升大于 5% 可认为有容量反应性^[22-23]。ETCO₂ 监测联合快速补液试验,需输注 500 mL 液体,ETCO₂ 浓度上升 > 5.8% 提示有容量反应性^[24-25]。

4.4 辅助诊断

4.4.1 肺栓塞筛查 建议筛查肺栓塞时监测 ETCO₂。

目前 ETCO₂ 监测筛查肺栓塞主要有两种方法:(1) 比较 ETCO₂ 数值与动脉血二氧化碳分压数值,若 ETCO₂ 下降而血中二氧化碳分压数值升高,则提示肺栓塞可能。(2) 使用容量-ETCO₂,计算死腔通气比例,比例上升可考虑肺栓塞可能。判断时需结合 D-二聚体等其他指标或 WELLS 评分表评估肺栓塞病情。针对整形外科术后患者筛查肺栓塞的研究提示当 ETCO₂ 数值 > 43 mmHg,可不必进行 CTA 检查^[26]。

4.4.2 代谢性酸中毒 建议代谢性酸中毒患者监测 ETCO₂ 部分代替血气分析。

代谢性酸中毒患者可出现代偿性呼吸深大,导致 ETCO₂ 下降。临床通过监测 ETCO₂ 数值可间接判断酸中毒程度,减少了动脉血气检查的频率。目前报道针对糖尿病酮症酸中毒患者进行 ETCO₂ 监测可以减少动脉血气的监测^[27]。

4.5 病情评估

建议尝试监测 ETCO₂ 协助评估病情。

异常 ETCO₂ 数值预示病情危重。ETCO₂ 检测仪操作简便,可作为于急诊分诊参考依据,提升急诊分诊的安全性和准确性^[28-32]。

5 注意事项

5.1 吸入气体对数值的影响

(1) 对于常用的吸光光度法 ETCO₂ 监测仪,由于二氧化碳与氧气和一氧化氮的吸光谱相近^[33],对于吸入高浓度该类气体的患者,会影响其监测结果,需要对结果进行校正^[2]。

(2) 对于显示浓度百分比的仪器,当监测管路中存在不能监测的气体,比如氦气,监测装置不能识别这部分气体,将

导致气体总体积下降,ETCO₂ 浓度结果假阳性升高^[2,34]。

5.2 呼吸因素对数值的影响

使用旁流型 ETCO₂ 监测时,若患者呼吸频率过快,则使得气体成分变化超过了监测仪的反应速度,影响测量结果的准确性。高气道阻力和吸呼比极度异常,也会使旁流型 ETCO₂ 监测仪的准确性较主流型 ETCO₂ 监测仪略逊一筹^[35-36]。

5.3 管路滤器的影响

若呼吸管路中在患者与监测装置之间安装了滤器,可能影响气体的监测,人为导致 ETCO₂ 数值偏低^[14,37]。

5.4 气道分泌物的影响

气道分泌物或过度湿化,可粘附在主流型装置的监测腔内壁或者堵塞旁流型装置的采样管,导致测量不准确。长时间连续监测的患者,需要注意观察监测装置的清洁通畅情况。

5.5 感染因素

不论主流型还是旁流型二氧化碳监测仪,均会接触患者气道分泌物而被污染。对于可重复使用的装置和附件,应根据供应商的要求进行高级别的清洁消毒。对于监测仪表面,也应当按需清洁,避免交叉感染。

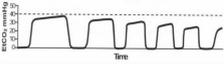
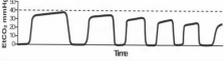
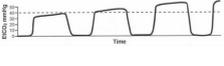
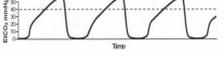
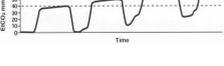
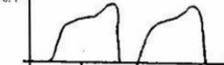
6 展望

由于 ETCO₂ 受基础代谢、循环、呼吸三方面因素影响,在一定的范围内,结合其他相关指标,综合分析 ETCO₂ 数值的结果,可以准确指导临床治疗。随着对医疗安全和精准医疗认识的加强,ETCO₂ 监测技术的应用将越发广泛。未来更多临床观察数据和研究成果的出现,将进一步深化该技术的应用。

共识专家组(按姓名汉语拼音顺序):

陈锋(福建省立医院)、曹钰(四川大学华西医院)、邓颖(哈尔滨医科大学第二附属医院)、丁邦晗(广东省中医院)、窦清理(深圳市宝安区人民医院)、杜铁宽(北京协和医院)、付阳阳(北京协和医院)、郭伟(首都医科大学附属北京天坛医院)、梁璐(河北大学附属医院)、李超乾(广西医科大学第一附属医院)、刘业成(北京协和医院)、刘继海(北京协和医院)、刘志(中国医科大学第一附属医院)、李毅(北京协和医院)、彭鹏(新疆医科大学第一附属医院)、单爱军(深圳市人民医院)、宋维(海南省人民医院)、孙峰(北京协和医院)、谈定玉(北京协和医院)、田英平(河北医科大学第二医院)、王仲(北京清华长庚医院)、徐军(北京协和医院)、杨立山(宁夏医科大学附属医院)、尹文(西京医院)、于学忠(北京协和医院)、张劲农(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、张劲松(江苏省人民医院)、张文武(深圳市宝安区人民医院)、张新超(北京医院)、詹红(中山大学附属第一医院)、周荣斌(陆军总医院)、朱华栋(北京协和医院)

附表 常见时间-二氧化碳分压波形介绍

波形	临床意义
	代谢: 体温降低 循环: 全身或肺灌注降低 通气: 分钟通气量增大, 过度通气 仪器: 漏气、取样管故障等
	代谢: 体温升高, 寒颤, 抽搐 循环: 心输出量增加, 输入碳酸氢钠, 缺血肢体血供恢复 通气: 分钟通气量降低, 通气不足 仪器: 呼吸机活瓣故障 循环: 心搏骤停
	呼吸: 呼吸骤停 (窒息) 通气: 人工气道脱落或阻塞 仪器: CO ₂ 仪器故障 采样管堵塞 扭曲
	呼吸: 支气管痉挛 (哮喘、AECOPD)、气道阻塞 (痰液、呼吸回路的呼气段阻塞、气管插管或螺旋管部分阻塞或打折)
	通气: 回路内部分重吸入、球囊通气呼气期或呼吸机出现故障 仪器: 校准有误
	通气: 气管插管气囊漏气、气管插管管径过细
	呼吸: 自主呼吸恢复、肌松作用消失
	通气: 肺泡死腔增大
	通气: 吸气流速降低

参考文献

[1] Szaflarski NL, Cohen NH. Use of capnography in critically ill adults [J]. Heart Lung, 1991, 20 (4): 363-372.

[2] Walsh BK, Crotwell DN, Restrepo RD. Capnography/capnometry during mechanical ventilation: 2011 [J]. Respir Care, 2011, 56 (4): 503-509. DOI: 10.4187/respcare.01175.

[3] 2005 American Heart Association (AHA) guidelines for cardiopulmonary resuscitation (CPR) and emergency cardiovascular care (ECC) of pediatric and neonatal patients; pediatric advanced life support [J]. Pediatrics, 2006, 117 (5): e989-1004. DOI: 10.1542/peds.2006-0219.

[4] The International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) consensus on science with treatment recommendations for pediatric and neonatal patients; pediatric basic and advanced life support [J]. Pediatrics, 2006 (5): e955-e977. DOI: 10.1542/peds.2006-0206.

[5] Verification of endotracheal tube placement [J]. Ann Emerg Med, 2009, 54 (1): 141-142. DOI: 10.1016/j.annemergmed.2009.05.014.

[6] Chau JP, Lo SH, Thompson DR, et al. Use of end-tidal carbon dioxide detection to determine correct placement of nasogastric tube: a meta-analysis [J]. Int J Nurs Stud, 2011, 48 (4): 513-521. DOI: 10.1016/j.ijnurstu.2010.12.004.

[7] Neumar RW, Otto CW, Link MS, et al. Part 8: adult advanced cardiovascular life support: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care [J]. Circulation, 2010, 132 (18 Suppl 3): S729-767. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.970988.

[8] Silvestri S, Ralls GA, Krauss B, et al. The effectiveness of out-of-hospital use of continuous end-tidal carbon dioxide monitoring on the rate of unrecognized misplaced intubation within a regional emergency medical services system [J]. Ann Emerg Med, 2005, 45 (5): 497-503. DOI: 10.1016/j.annemergmed.2004.09.014.

[9] Burton JH, Harrah JD, Germann CA, et al. Does end-tidal carbon dioxide monitoring detect respiratory events prior to current sedation monitoring practices? [J]. Acad Emerg Med, 2006, 13 (5): 500-504. DOI: 10.1197/j.aem.2005.12.017.

[10] Weinger MB, Lee LA. No patient shall be harmed by opioid-induced respiratory depression [J]. APsF Newsletter, 2011, 26: 26-28.

[11] Nagurka R, Bechmann S, Gluckman W, et al. Utility of initial prehospital end-tidal carbon dioxide measurements to predict poor outcomes in adult asthmatic patients [J]. Prehosp Emerg Care, 2014, 18 (2): 180-184. DOI: 10.3109/10903127.2013.851306.

[12] Ward KR, Yealy DM. End-tidal carbon dioxide monitoring in emergency medicine, Part 2: Clinical applications [J]. Acad Emerg Med, 1998, 5 (6): 637-646. DOI: 10.1111/j.1553-2712.1998.tb02474.x.

[13] Muñoz AE. False-negative capnographic reading caused by a malfunctioning bag-valve-mask device resulting in a pneumomediastinum [J]. Resuscitation, 2008, 78 (3): 378-380. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2008.04.003.

[14] Hardman JG, Mahajan RP, Curran J. The influence of breathing system filters on paediatric capnography [J]. Paediatr Anaesth, 1999, 9 (1): 35-38. DOI: 10.1046/j.1460-9592.1999.9120299.x.

[15] Kumar AY, Bhavani-Shankar K, Moseley HS, et al. Inspiratory valve malfunction in a circle system: pitfalls in capnography [J]. Can J Anaesth, 1992, 39 (9): 997-999. DOI: 10.1007/BF03008353.

- [16] Kerr ME, Zempsky J, Sereika S, et al. Relationship between arterial carbon dioxide and end-tidal carbon dioxide in mechanically ventilated adults with severe head trauma [J]. *Crit Care Med*, 1996, 24 (5): 785-790. DOI: 10.1097/00003246-199605000-00010.
- [17] Fatigante L, Cartei F, Ducci F, et al. Carbogen breathing in patients with glioblastoma multiforme submitted to radiotherapy. Assessment of gas exchange parameters [J]. *Acta Oncol*, 1994, 33 (7): 807-811.
- [18] Cinnella G, Dambrosio M, Brienza N, et al. Independent lung ventilation in patients with unilateral pulmonary contusion. Monitoring with compliance and EtCO₂ (2) [J]. *Intensive Care Med*, 2001, 27 (12): 1860-1867. DOI: 10.1007/s00134-001-1149-6.
- [19] Colman Y, Krauss B. Microstream capnography technology: a new approach to an old problem [J]. *J Clin Monit Comput*, 1999, 15 (6): 403-409.
- [20] Pokorný M, Necas E, Kratochvíl J, et al. A sudden increase in partial pressure end-tidal carbon dioxide (P (ET) CO₂) at the moment of return of spontaneous circulation [J]. *J Emerg Med*, 2010, 38 (5): 614-621. DOI: 10.1016/j.jemermed.2009.04.064.
- [21] Link MS, Berkow LC, Kudenchuk PJ, et al. Part 7: Adult Advanced Cardiovascular Life Support: 2015 American Heart Association Guidelines Update for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care [J]. *Circulation*, 2015, 132 (18 Suppl 2): S444-464. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000261.
- [22] Monnet X, Bataille A, Magalhaes E, et al. End-tidal carbon dioxide is better than arterial pressure for predicting volume responsiveness by the passive leg raising test [J]. *Intensive Care Med*, 2013, 39 (1): 93-100. DOI: 10.1007/s00134-012-2693-y.
- [23] 臧芝栋, 严洁, 许红阳, 等. 呼气末二氧化碳分压的变化对感染性休克机械通气患者容量反应性的预测价值 [J]. *中华内科杂志*, 2013, 52 (8): 646-650. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1426.2013.08.010.
- [24] Wang XT, Zhao H, Liu DW, et al. Changes in end-tidal CO₂ could predict fluid responsiveness in the passive leg raising test but not in the mini-fluid challenge test: A prospective and observational study [J]. *J Crit Care*, 2015, 30 (5): 1061-1066. DOI: 10.1016/j.jcrc.2015.05.019.
- [25] Jacquet-Lagrèze M, Baudin F, David JS, et al. End-tidal carbon dioxide variation after a 100- and a 500-ml fluid challenge to assess fluid responsiveness [J]. *Ann Intensive Care*, 2016, 6: 37. DOI: 10.1186/s13613-016-0141-9.
- [26] Ramme AJ, Iturrate E, Dweck E, et al. End tidal carbon dioxide as a screening tool for computed tomography angiogram in postoperative orthopaedic patients suspected of pulmonary embolism [J]. *J Arthroplasty*, 2016, 31 (10): 2348-2352. DOI: 10.1016/j.arth.2016.03.033.
- [27] Bou Chebl R, Madden B, Belsky J, et al. Diagnostic value of end tidal capnography in patients with hyperglycemia in the emergency department [J]. *BMC Emerg Med*, 2016, 16: 7. DOI: 10.1186/s12873-016-0072-7.
- [28] Manifold CA, Davids N, Villers LC, et al. Capnography for the nonintubated patient in the emergency setting [J]. *J Emerg Med*, 2013, 45 (4): 626-632. DOI: 10.1016/j.jemermed.2013.05.012.
- [29] Hunter CL, Silvestri S, Ralls G, et al. The sixth vital sign: prehospital end-tidal carbon dioxide predicts in-hospital mortality and metabolic disturbances [J]. *Am J Emerg Med*, 2014, 32 (2): 160-165. DOI: 10.1016/j.ajem.2013.10.049.
- [30] Guirgis FW, Williams DJ, Kalynych CJ, et al. End-tidal carbon dioxide as a goal of early sepsis therapy [J]. *Am J Emerg Med*, 2014, 32 (11): 1351-1356. DOI: 10.1016/j.ajem.2014.08.036.
- [31] Caputo ND, Fraser RM, Paliga A, et al. Nasal cannula end-tidal CO₂ correlates with serum lactate levels and odds of operative intervention in penetrating trauma patients: a prospective cohort study [J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2012, 73 (5): 1202-1207. DOI: 10.1097/TA.0b013e318270198c.
- [32] Deakin CD, Sado DM, Coats TJ, et al. Prehospital end-tidal carbon dioxide concentration and outcome in major trauma [J]. *J Trauma*, 2004, 57 (1): 65-68. DOI: 10.1097/01.ta.0000103984.70306.22.
- [33] Bhavani-Shankar K, Moseley H, Kumar AY, et al. Capnometry and anaesthesia [J]. *Can J Anaesth*, 1992, 39 (6): 617-632. DOI: 10.1007/BF03008330.
- [34] Graybeal JM, Russell GB. Relative agreement between Raman and mass spectrometry for measuring end-tidal carbon dioxide [J]. *Respiratory Care*, 1994, 39 (1): 190-194.
- [35] McEvedy BA, McLeod ME, Kirpalani H, et al. End-tidal carbon dioxide measurements in critically ill neonates: a comparison of side-stream and mainstream capnometers [J]. *Can J Anaesth*, 1990, 37 (3): 322-326. DOI: 10.1007/BF03005583.
- [36] Tingay DG, Stewart MJ, Morley CJ. Monitoring of end tidal carbon dioxide and transcutaneous carbon dioxide during neonatal transport [J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2005, 90 (6): F523-F526. DOI: 10.1136/adc.2004.064717.
- [37] Hardman JG, Curran J, Mahajan RP. End-tidal carbon dioxide measurement and breathing system filters [J]. *Anaesthesia*, 1997, 52 (7): 646-648. DOI: 10.1111/j.1365-2044.1997.145-az0149.x.

(收稿日期: 2017-04-08)

(本文编辑: 郑辛甜)