

呼出气二氧化碳监测仪的研究进展及其在非气管插管患者中的应用

张小青 综述 李 氏* 审校

(北京大学第三医院麻醉科, 北京 100083)

【内容提要】肺泡通气不足和呼吸抑制常见于接受镇静药物或阿片类药物的患者。目前的临床指南均推荐将无创的呼出气二氧化碳监测仪作为有呼吸抑制风险的非插管患者的常规监测方法。本文对呼出气二氧化碳监测仪对非插管患者进行监测的临床研究进行文献综述, 其在保障患者安全、及时发现呼吸抑制方面发挥重要作用, 对存在呼吸抑制风险的患者, 不应单纯依赖脉搏氧饱和度。

【关键词】呼出气二氧化碳监测仪; 呼气末二氧化碳分压

文献标识:A 文章编号:1009-6604(2016)11-1041-04

doi:10.3969/j.issn.1009-6604.2016.11.023

Research Progress of Capnography and Its Application in Non-intubated Patients Zhang Xiaoqing, Li Min. Department of Anesthesiology, Peking University Third Hospital, Beijing 100083, China
Corresponding author: Li Min, E-mail: liminanesth@aliyun.com

【Summary】Alveolar hypoventilation and respiratory depression occur frequently in a variety of clinical settings where patients receive sedatives or opioids. Current clinical guidelines recommend capnography as one of the best non-invasive methods, which should be routinely used for non-intubated patients with high respiratory depression risk. This article reviewed the current evidences for the application of capnography in non-intubated patients and summarized the outcomes in recent clinical trials. The clinical studies support the use of this non-invasive technique. Clinicians should not solely rely on pulse oximetry in assessing patients with high risk of respiratory depression.

【Key Words】Capnography; CO₂ pressure at the end of tidal exhalation

常见呼吸功能监测项目包括肺通气功能监测、肺氧合功能监测和组织氧合状态监测。麻醉期间通气功能中最常见的是呼吸末二氧化碳分压(CO₂ pressure at the end of tidal exhalation, P_{ET}CO₂)和动脉血二氧化碳分压(partial pressure of arterial CO₂, PaCO₂)。P_{ET}CO₂作为一种无创监测方式,可以间接反映PaCO₂。P_{ET}CO₂水平受机体代谢水平、灌注程度和肺泡通气情况等影响,可提示通气/血流比值(V/Q)^[1]。目前,P_{ET}CO₂已成为插管患者的常规监测项目,在临床麻醉、重症监护、麻醉后恢复室都有重要应用价值,可用于监测通气功能、确定气管导管的位置、及时发现呼吸机的机械故障、调节呼吸机参数和指导呼吸机的撤除、监测体内CO₂含量的变

化、了解肺泡无效腔量及肺血流量变化、监测循环功能以及评估心肺复苏的效果等。近年来,呼出气二氧化碳监测仪有了较大发展,不仅可用于院内不同环境,还可用于院外急救,不仅可用于插管的患者,还可用于各类微创手术和检查的非插管患者。本文对呼出气二氧化碳监测仪的进展进行综述。

1 呼出气二氧化碳监测仪的进展

临床普遍应用的呼出气二氧化碳监测仪根据红外光谱原理,当气体经过传感器时,红外线光源的光束透过气体样本,CO₂对波长4.26 μm红外线具有强烈吸收作用,吸收量与CO₂浓度成正比,通过测定红外光衰减程度,最后经微电脑处理获得呼出气

* 通讯作者, E-mail: liminanesth@aliyun.com

二氧化碳监测的数值与图形。

根据采样方法的不同,呼出气二氧化碳监测仪分为主流式与旁流式/微流式^[2]。主流式将红外传感器连接于气管导管接头,呼吸气体直接接触传感器。优点在于传感器安置于病人气道通路上,反应迅速,可实时读取且无额外的样本气流损失;缺点包括增加阻力和死腔,传感器需加热预防冷凝水,需要经常校准,传感器体积较大,在未插管患者中应用不方便等。旁流式由有流量调节的抽气泵将气体样本送至红外线测量室,通过较细长的管路对呼出气进行采样分析(150 ml/min)。优点包括体积小,能方便应用于未插管患者,采样气体量小,测量敏感度高,反应快;缺点主要有分泌物易于堵塞采样管,需要清理采样管内水,频繁校准,对 CO₂ 的改变反应慢,需要额外的样本气流,同时会减少潮气量。

1.1 便携式二氧化碳监测仪

目前,临床使用的二氧化碳监测仪整体体积较大,或单独使用或与综合多功能监测仪整合为一体,用于手术室和重症监护室,不能用于转运途中和院前急救。近年来,出现一些便携式呼出气二氧化碳监测仪。如美国 Mallinckrodt 公司一款手掌大小的旁流式便携式呼出气二氧化碳监测仪 NPB-75^[3]。瑞典 Phasein AB 公司研发的主流式 EMMA 便携式 CO₂ 监测仪更加轻便小巧,体积仅为 52 cm × 39 cm × 39 mm,包括电池的重量为 60 g。一次性使用的接头成人型死腔为 6 ml,婴儿型为 1 ml,可直接连接至患者气管导管,具有多种采样方式,可实时、准确读取 P_{ET} CO₂^[4]。Kim 等^[5]对 35 例全麻术中采用 EMMA 便携式 CO₂ 监测仪监测,采用 Bland-Altman 统计学方法,结果显示 EMMA™ 便携式监测仪测定的 P_{ET} CO₂ 与 PaCO₂ 相比没有显著差异,两者有较好的一致性,故这种便携式呼出气二氧化碳监测仪的准确性已经得到证实。

便携式设备的应用对于手术室外急诊插管、评价心肺复苏效果以及保证插管患者转运途中的安全等具有重要意义。此外,P_{ET} CO₂ 还可心肺复苏终点的确定提供早期、准确的预测信息。Touma 等^[6]对 23 项观察性研究进行系统综述(样本量为 30 ~ 737 例),多数研究结果表明,心肺复苏后期能够恢复自主循环的患者 P_{ET} CO₂ 在心肺复苏期间显著高于未恢复自主循环的患者,复苏初期 P_{ET} CO₂ > 1.33 kPa 者,复苏有效的敏感性为 100%,P_{ET} CO₂ < 1.33 kPa 则强烈提示死亡风险增加。

1.2 经鼻咽导管采样的二氧化碳监测仪

传统的主流式二氧化碳监测仪需要直接连接到气管导管,仅适用于插管患者。新的微流型技术在不影响波形和 P_{ET} CO₂ 测量准确性的基础上,采样气室容积小(15 μL),采样量更小(50 ml/min),可减少水滴和湿气进入采样管,且内含滤水材料,可进一步滤过水汽和分泌物,既可用于气管插管患者也可用于非插管的患者^[7]。经鼻氧管口咽部采样旁流二氧化碳监测仪,可以采集自主呼吸患者口腔和鼻部呼出的气体,另一接口还可以同时供氧。随着该监测技术的发展与成熟,可对非插管镇静状态下患者的通气情况进行准确且有效的监测。

经鼻咽导管采样的呼出气二氧化碳监测仪的准确性已经得到证实。Zhang 等^[8]在 20 例脑部疾病行数字减影脑血管造影中应用异丙酚镇静,通过 Smart CapnoLine 监测麻醉镇静状态下鼻或咽部 P_{ET} CO₂,并将 P_{ET} CO₂ 同 PaCO₂ 结果进行相关性分析,结果显示 P_{ET} CO₂ 与 PaCO₂ 相关性为 0.971(P < 0.01),表明两者具有较好的相关性。张春艳等^[9]将 42 例局部麻醉下行数字减影脑血管造影随机分为吸氧组与不吸氧组,探讨经微流口鼻罩 P_{ET} CO₂ 监测的准确度以及吸氧对二氧化碳监测的影响,并同股动脉 PaCO₂ 进行对比,结果显示经微流口鼻罩监测的 P_{ET} CO₂ 与 PaCO₂ 有强相关性和较好的一致性,经微流口鼻罩 P_{ET} CO₂ 可以准确反映 PaCO₂,氧流速为 5 L/min 对经微流口鼻罩 P_{ET} CO₂ 监测的准确度没有影响。目前,经鼻咽导管采样的呼出气二氧化碳监测仪在欧美国家已经广泛应用于临床,在国内少数医院也得以引进。

2 非插管患者 P_{ET} CO₂ 监测的应用

2.1 非插管患者 P_{ET} CO₂ 监测的意义

无论在手术室还是在病房,经常有接受镇静药物或阿片类药物患者,这些患者中呼吸抑制、缺氧及肺泡通气不足发生率高且后果严重,甚至可导致死亡^[10]。例如,对于面部美容手术,由于手术时气道在麻醉医师的控制之外,一旦术中发生严重呼吸抑制,处理起来比较棘手。因此,如何在保持镇静镇痛的同时,防止和及时识别严重的呼吸抑制至关重要^[11]。接受镇静药物或阿片类药物的患者中,呼吸抑制、缺氧及肺泡通气不足发生率高且后果严重,且不同个体对药物的反应性难以预计。镇静状态下呼吸抑制发生率 4.1%,其中 1.1% 患者需要辅助通气或应用药物逆转^[10,12]。

对接受镇静药物或阿片类药物的患者观察其呼吸频率、胸廓起伏和脉搏氧饱和度 (pulse oximetry, SpO_2) 是监测其呼吸状况无创且经典的方式^[13]。但单纯呼吸频率并不能反映通气是否充分,当出现严重呼吸抑制时,呼吸频率仍可能维持正常^[14]。 SpO_2 监测可以提示氧合状态,但通气与氧合是 2 个完全不同的生理过程。对于有呼吸抑制风险的患者,不应当单纯依赖 SpO_2 对患者进行氧饱和度的监测,尤其对于需要辅助吸氧的患者^[15]。

2.2 非插管患者 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 监测的应用研究

2.2.1 镇静患者

Cacho 等^[16]对 55 例采用哌替啶、咪唑安定、丙泊酚、芬太尼等不同药物组合镇静行肠镜检查,应用 Microcap 经鼻咽导管采样的 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$, 同时监测 SpO_2 , $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 发现 29 次 (16 例) 呼吸异常情况,与此同时 SpO_2 仅发现了 11 次 (9 例),他们认为镇静状态下行肠镜检查易出现呼吸抑制, $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 监测方法较 SpO_2 可信度更高。Friedrich-Rust 等^[17]研究 533 例镇静状态下行肠镜检查缺氧 ($\text{SpO}_2 < 90\%$) 和严重低氧血症 ($\text{SpO}_2 < 85\%$) 事件,应用 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 监测可以早期发现缺氧 (18% vs 32%, $P = 0.00091$)。另一随机研究表明对肠镜检查患者常规应用 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 监测可降低 50% 缺氧发生率^[18]。Waugh 等^[19]对 1~16 岁患儿镇静下行肠镜检查,达到期望镇静深度的第 5、10、15 min 后 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 与基础值相比明显升高,但 SpO_2 无明显改变。

近期的 meta 分析表明,仅通过 SpO_2 和胸廓起伏度可能低估镇静患者呼吸抑制的发生率,应用 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 监测发现呼吸抑制患者数为无该监测的 17 倍^[1]。需要注意的是, CO_2 波形显示通气的频率和持续时间,但是波形的振幅并不代表通气的深度,波的垂直高度代表呼出的 CO_2 总量。目前,临床指南均推荐将 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 监测作为评估非插管患者通气功能的最佳评估指标,其在内镜室和导管室、放射科、睡眠监测室内的应用已成为了解患者通气情况的重要监测内容^[1]。多个国家的麻醉及临床安全委员会均强烈建议将 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 作为中度至深度镇静患者的标准监测^[20]。

国内近年来开展的各类微创检查、治疗及手术越来越多,麻醉医师提供的镇静镇痛大大提高了患者的舒适度,但目前对呼吸功能的监测基本仅限于 SpO_2 , 我们相信经鼻咽导管采样的呼出气二氧化碳监测技术的引进将进一步提高患者的安全性。

2.2.2 阿片类药物镇痛患者 在 178 例病人自控

镇痛 (patient controlled analgesia, PSA) 的研究中, SpO_2 监测显示 12% 的患者出现低氧血症 ($\text{SpO}_2 < 90\%$), $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 监测显示 41% 的患者出现呼吸抑制 (呼吸频率 < 10 次/min), 且持续 3 min 以上^[21]。对于使用阿片类药物的患者监测 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$, 同未监测 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 对照组相比,能更快地发现呼吸频率降低、呼吸暂停,需要进行拮抗药物逆转阿片类药物作用的病例数减少 40%, 需要进行更高级别监测的患者减少 100%^[22]。鼻咽导管采样呼出气二氧化碳监测也被用于使用阿片类 PCA 镇痛的患儿,但儿童对于鼻咽导管的长期耐受度有限^[23]。PCA 的使用应该实现个体化,结合患者疼痛评分、阿片类药物用量及呼出气二氧化碳监测数据,及时调整 PCA 泵的参数,才能既解除患者的痛苦,又保证患者的安全。

3 小结

$\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 在监测患者通气功能方面具有重要意义,可以反映患者 V/Q 状态,对临床判断 PaCO_2 具有指导意义,已成为手术室内麻醉的常规监测项目。随着越来越多手术室外 (导管室、胃肠镜检查室、支气管镜检查室等) 镇静操作的实施及 PCA 的开展,对镇静或应用阿片类药物的患者进行呼吸功能监测,尤其是呼出气二氧化碳监测尤为重要。呼出气二氧化碳监测在保障患者安全、及时发现呼吸抑制方面发挥重要作用。麻醉医生及相关临床医生应充分重视对呼吸功能的监测,对于有呼吸抑制、高碳酸血症、低氧血症风险的患者,不应当单纯依赖 SpO_2 进行监测。

参考文献

- 1 Restrepo RD, Nuccio P, Spratt G, et al. Current applications of capnography in non-intubated patients. *Expert Rev Respir Med*, 2014, 8(5):629-639.
- 2 Kodali BS, Urman RD. Capnography during cardiopulmonary resuscitation: Current evidence and future directions. *J Emerg Trauma Shock*, 2014, 7(4):332-340.
- 3 Singh S, Allen WD Jr, Venkataraman ST, et al. Utility of a novel quantitative handheld microstream capnometer during transport of critically ill children. *Am J Emerg Med*, 2006, 24(3):302-307.
- 4 Lindström V, Svensen CH, Meissl P, et al. End-tidal carbon dioxide monitoring during bag valve ventilation: the use of a new portable device. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*, 2010, 18:49.
- 5 Kim KW, Choi HR, Bang SR, et al. Comparison of end-tidal CO_2 measured by transportable capnometer (EMMA™ capnograph) and arterial pCO_2 in general anesthesia. *J Clin Monit Comput*, 2015, Aug 12. [Epub ahead of print] (下转第 1052 页)

6 Touma O, Davies M. The prognostic value of end tidal carbon dioxide during cardiac arrest: a systematic review. *Resuscitation*, 2013,84(11):1470-1479.

7 Kasuya Y, Akca O, Sessler DI, et al. Accuracy of postoperative endtidal PCO₂ measurements with mainstream and sidestream capnography in nonobese patients and in obese patients. *Anesthesiology*, 2009, 111(3):609-615.

8 Zhang C, Wang M, Wang R, et al. Accuracy of end-tidal CO₂ measurement through the nose and pharynx in nonintubated patients during digital subtraction cerebral angiography. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2013,25(25):191-196.

9 张春艳,张昌伟,王 儒.经微流口鼻罩呼气末二氧化碳监测的准确度研究. *生物医学工程与临床*, 2011,15(5):461-465.

10 Pino RM. The nature of anesthesia and procedural sedation outside of the operating room. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2007, 20(4):347-351.

11 续 飞,王 宽,李 琛,等.不同剂量舒芬太尼复合丙泊酚靶控输注在面部美容手术中的前瞻性随机对照研究. *中国微创外科杂志*, 2015,15(9):777-780.

12 Sacchetti A, Senula G, Strickland J, et al. Procedural sedation in the community emergency department: initial results of the ProSCED registry. *Acad Emerg Med*, 2007, 14(1):41-46.

13 Eisenbacher S, Heard L. Capnography in the gastroenterology lab. *Gastroenterol Nurs*, 2005, 28(2):99-105.

14 Burton J, Harrah J, Germann C, et al. Does end-tidal carbon dioxide monitoring detect respiratory events prior to current sedation monitoring practices? *Acad Emerg Med*, 2006, 13(5):500-504.

15 Papachristou GI, Gleeson FC, Papachristou DJ, et al. Endoscopist administered sedation during ERCP: impact of chronic narcotic/benzodiazepine use and predictive risk of reversal agent utilization. *Am J Gastroenterol*,2007,102(4):738-743.

16 Cacho G, Pérez-Calle JL, Barbado A, et al. Capnography is superior to pulse oximetry for the detection of respiratory depression during colonoscopy. *Rev Esp Enferm Dig*, 2010,102(2):86-89.

17 Friedrich-Rust M, Welte M, Welte C, et al. Capnographic monitoring of propofol-based sedation during colonoscopy. *Endoscopy*, 2013, 46(3):236-244.

18 Mora Capin A, Miguez Navarro C, Lopez Lopez R, et al. Usefulness of capnography for monitoring sedoanalgesia: influence of oxygen on the parameters monitored. *An Pediatr (Barc)*, 2014, 80(1):41-46.

19 Waugh JB, Epps CA, Khodneva YA. Capnography enhances surveillance of respiratory events during procedural sedation: a meta-analysis. *J Clin Anesth*, 2011, 23(3):189-196.

20 Conway A, Douglas C, Sutherland J. Capnography monitoring during procedural sedation and analgesia: a systematic review protocol. *Syst Rev*,2015,4:92.

21 James JT. A new, evidence-based estimate of patient harms associated with hospital care. *J Patient Saf*,2013,9(3):122-128.

22 Overdyk FJ, Carter R, Maddox RR, et al. Continuous oximetry/capnometry monitoring reveals frequent desaturation and bradypnea during patient-controlled analgesia. *Anesth Analg*,2007,105(2):412-418.

23 Miller KM, Kim AY, Yaster M, et al. Long term tolerability of capnography and respiratory inductance plethysmography for respiratory monitoring in pediatric patients treated with patient controlled analgesia. *Pediatr Anesth*,2015,25(10):1054-1059.

(收稿日期:2016-03-17)

(修回日期:2016-05-13)

(责任编辑:李贺琼)