

动脉血与呼吸末二氧化碳分压差值的临床研究

刘珊珊 李恩有

摘要 **目的** 研究动脉血二氧化碳分压(PaCO_2)与呼吸末二氧化碳分压($\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$)之间的关联以及影响 $\text{P}_{(\text{a}-\text{ET})}\text{CO}_2$ 差值的因素。**方法** 收集笔者医院 2012 年 3 月 ~ 2013 年 11 月的所有血气记录,查阅 PaCO_2 及同步对应的 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 以及合并的基础疾病等信息;通过纳入和排除标准,将所得数据($n=646$),按照手术方式的不同分成骨科、普外科 + 妇产科、神经外科、腔镜外科与心胸外科手术 5 组;按照有无基础疾病分成无合并症组(对照组)、慢性阻塞性肺疾病(COPD)组、高血压组、冠心病组、其他肺部疾病组、休克组;研究不同因素对 $\text{P}_{(\text{a}-\text{ET})}\text{CO}_2$ 差值的影响。**结果** 动脉血二氧化碳分压(PaCO_2)与呼吸末二氧化碳分压($\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$)有较好的相关性($r=0.454, P<0.01$)。按照术式不同进行分组比较发现心胸外科手术患者 PaCO_2 、 $\text{P}_{(\text{a}-\text{ET})}\text{CO}_2$ 差值与其他各组比较明显增加($P<0.05$)。按照有无基础疾病分组发现合并 COPD、其他肺部疾病(肺炎、肺挫裂伤等)的患者 PaCO_2 、 $\text{P}_{(\text{a}-\text{ET})}\text{CO}_2$ 差值明显增加($P<0.05$)。**结论** 研究证实了动脉血二氧化碳分压(PaCO_2)与呼吸末二氧化碳分压($\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$)之间具有较好的相关性。 $\text{P}_{(\text{a}-\text{ET})}\text{CO}_2$ 差值的明显增加与心胸外科手术、肺部疾病等有关。

关键词 呼吸末二氧化碳分压($\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$) 动脉血二氧化碳分压(PaCO_2) $\text{P}_{(\text{a}-\text{ET})}\text{CO}_2$ 差值

中图分类号 R614.2

文献标识码 A

DOI 10.11969/j.issn.1673-548X.2019.01.010

Clinical Study of $\text{P}_{(\text{a}-\text{ET})}\text{CO}_2$ Difference. Liu Shanshan, Li Enyou. Department of Anesthesiology, The First Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Heilongjiang 150001, China

Abstract **Objective** To study the correlation between the arterial carbon dioxide pressure (PaCO_2) and the end-tidal carbon dioxide pressure ($\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$), and to analyze the effective factors with the $\text{P}_{(\text{a}-\text{ET})}\text{CO}_2$ difference. **Methods** We collected the blood gas analysis record sheets from March 2012 to November 2013 in our hospital, recorded every records of general conditions, arterial carbon dioxide pressure (PaCO_2) and the synchronous End-tidal carbon dioxide pressure ($\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$), and combined the basic diseases, by inclusion and exclusion criteria, selected the data ($n=646$), on the basis of the difference of surgery methods, classify data into the orthopaedic surgery, the general + maternity, neurosurgery, laparoscopic surgery and cardiothoracic surgery for five groups; according to the difference of complication, classify date into no complication disease groups, Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) group, hypertension group, heart disease group, the other pulmonary disease group, and the shock group; analyse the influence of different agents to the $\text{P}_{(\text{a}-\text{ET})}\text{CO}_2$ difference. **Results** There was a significant positive correlation between $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ and PaCO_2 ($r=0.454, P<0.01$). According to the difference of disease, surgical methods, we have found that PaCO_2 , $\text{P}_{(\text{a}-\text{ET})}\text{CO}_2$ significantly increased in thoracic surgery group compared with the other groups ($P<0.05$), pulmonary disease patients with $\text{P}_{(\text{a}-\text{ET})}\text{CO}_2$ increased significantly ($P<0.05$). **Conclusion** The study confirmed that there was a good correlation between $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ and PaCO_2 . $\text{P}_{(\text{a}-\text{ET})}\text{CO}_2$ difference associated with thoracic surgery, lung diseases.

Key words End-tidal carbon dioxide pressure ($\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$); Arterial carbon dioxide pressure (PaCO_2); $\text{P}_{(\text{a}-\text{ET})}\text{CO}_2$ difference

呼吸功能监测对于患者的生命安全至关重要。传统呼吸机参数调节依赖于动脉血气分析的测定,但动脉血气分析是昂贵的,每个血气样本只能提供短时间内的呼吸循环参数,并且采集动脉时患者有感染的风险^[1]。呼吸末二氧化碳分压(end-tidal carbon dioxide pressure, $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$)是间接反映血中二氧化碳张力,即动脉血二氧化碳分压(arterial carbon dioxide

pressure, PaCO_2)的指标,既可以反映患者的通气功能状况,也可以反映患者的循环功能和肺血流状况,是临床监测中非常重要的一项指标^[2]。

$\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 与 PaCO_2 之间具有良好的相关性,但现在很多研究发现,在一定的条件下 PaCO_2 与 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 之间存在相当大的差异, $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 预测 PaCO_2 不是可靠的^[3]。诸多影响因素都会引起 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 监测结果的不准确,影响临床医生对患者病情的判断。本研究为回顾性研究,就不同术式、疾病等影响因素进行分析,探讨 PaCO_2 与 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 之间的相关性及其不同因素对

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30972839)

作者单位:150001 哈尔滨医科大学附属第一医院麻醉科

通讯作者:李恩有,电子信箱:enyouli@sina.com

$P_{(a-ET)}CO_2$ 差值的影响。

材料与方法

1. 临床资料:收集笔者医院 2012 年 3 月 ~ 2013 年 11 月进行手术患者的血气记录,查询与之对应的麻醉记录单。分别记录患者的手术时间、病案号、年龄、性别、诊断、术式、身高、体重以及合并的基础疾病等一般信息,记录血气分析中的 $PaCO_2$ 及与之同步对应的 $P_{ET}CO_2$ 。通过纳入和排除标准,共计 646 例患者入选。纳入标准:麻醉记录单清晰准确,必须为气管插管的全身麻醉患者,能够准确记录 $P_{ET}CO_2$ 、 $PaCO_2$ 与 $P_{ET}CO_2$ 能够同步对应。排除标准:病案记录不全,麻醉记录显示不清晰,非气管插管全身麻醉患者, $P_{ET}CO_2$ 超出正常范围之内的患者。

2. 方法:选取气管插管机械控制通气的患者,呼吸模式为容量控制呼吸,呼吸参数设置为小潮气量 6 ~ 8ml/kg,频率为 12 ~ 16 次/分, $P_{ET}CO_2$ 维持在正常范围之内的患者。按照手术术式的不同将数据分成不同的组:①骨科手术组;②普外科 + 妇产科手术组;③神经外科手术组;④腹腔镜手术组;⑤心胸外科手术组。按照合并症的不同将患者具体分成、无合并

症组(对照组)、慢性阻塞性肺疾病(COPD)组、其他肺部疾病组、高血压组、冠心病组、休克组。

3. 统计学方法:应用 SPSS 19.0 统计学软件对数据进行统计分析,计量资料采用($\bar{x} \pm s$)表示,两变量的相关性分析选择 *Spearman* 相关性分析;各组数据均通过正态性和方差齐性检验,组间比较选用 ANOVA 单因素方差分析,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 动脉血二氧化碳($PaCO_2$)与呼吸末二氧化碳($P_{ET}CO_2$)之间的相关性:呼吸末二氧化碳($P_{ET}CO_2$)与动脉血二氧化碳($PaCO_2$)之间的比较采用直线相关分析法,结果两者之间有较好的相关性($r = 0.428$, $P < 0.01$)。

2. 不同术式对 $P_{(a-ET)}CO_2$ 差值的影响:根据术式的不同分为骨科组、普外科 + 妇产科组、神经外科组、腔镜外科组和心胸外科组。心胸外科组与骨科组、普外科 + 妇产科组进行比较, $P_{(a-ET)}CO_2$ 差值的差异有统计学意义($P < 0.05$),而神经外科组与骨科组、普外科 + 妇产科组、腹腔镜外科组进行比较, $P_{ET}CO_2$ 值减小,差异有统计学意义($P < 0.05$,表 1)。

表 1 不同术式之间 $PaCO_2$ 与 $P_{ET}CO_2$ 及 $P_{(a-ET)}CO_2$ 的比较结果 ($\bar{x} \pm s$, mmHg)

组别	n	$PaCO_2$	$P_{ET}CO_2$	$P_{(a-ET)}CO_2$
骨科组	239	$39.150 \pm 4.823^*$	$33.640 \pm 2.602^{\#}$	$5.510 \pm 4.444^*$
普外科 + 妇产科组	308	$39.490 \pm 5.625^*$	$33.540 \pm 2.773^{\#}$	$5.950 \pm 5.013^*$
神经外科组	31	38.650 ± 5.419	$32.190 \pm 2.880^{\#}$	6.450 ± 6.201
腹腔镜外科组	21	40.240 ± 4.989	$34.100 \pm 3.548^{\#}$	6.140 ± 3.864
心胸外科组	47	$42.570 \pm 5.245^*$	$34.340 \pm 2.921^{\#}$	$8.230 \pm 4.747^*$

与心胸外科组比较, * $P < 0.05$; 与神经外科组比较, $^{\#}P < 0.05$

3. 不同疾病对 $P_{(a-ET)}CO_2$ 差值的影响:按照有无基础疾病将数据分成无合并症组、COPD 组、高血压组、冠心病组、其他肺部疾病组(如肺炎、肺挫裂伤)5

组,COPD 组、其他肺部疾病组患者与无合并症组比较,差异有统计学意义($P < 0.05$,表 2)。

表 2 不同疾病之间 $PaCO_2$ 与 $P_{ET}CO_2$ 及 $P_{(a-ET)}CO_2$ 的比较结果 ($\bar{x} \pm s$, mmHg)

组别	n	$PaCO_2$	$P_{ET}CO_2$	$P_{(a-ET)}CO_2$
无合并症组	469	39.470 ± 5.399	33.560 ± 2.748	5.910 ± 4.810
COPD 组	26	$42.350 \pm 5.381^*$	33.920 ± 2.911	$8.420 \pm 5.616^*$
高血压组	94	38.870 ± 4.608	33.500 ± 2.808	5.370 ± 4.355
冠心病组	34	38.970 ± 5.155	33.880 ± 2.962	5.090 ± 4.801
其他肺部疾病组	23	$42.350 \pm 5.812^*$	33.780 ± 2.876	$8.570 \pm 5.599^*$

与无合并症组比较, * $P < 0.05$

讨 论

近年来, $P_{ET}CO_2$ 监测已经成为了一项常规监测技术手段和诊断工具,广泛应用于手术室(OR)以及

重症监护病房(ICU)等医疗机构^[4,5]。一般研究认为 $P_{ET}CO_2$ 可为临床实际工作提供有关患者的通气状况、代谢和循环状况等有效的信息^[6]。 $P_{ET}CO_2$ 监测

对于麻醉监测并不是一项新的技术,但其临床实践的益处和局限性一直存在争议。本研究显示,呼吸末二氧化碳与动脉血二氧化碳之间呈相关性($r = 0.428$, $P < 0.01$)。诸多文献报道 $P_{ET}CO_2$ 和 $PaCO_2$ 之间存在相关性,并探索出了一些规律^[7,8]。肺功能正常的患者,因为存在着少量的肺泡无效腔, P_aCO_2 较 $P_{ET}CO_2$ 要高 $1 \sim 5\text{mmHg}$,麻醉中由于心排血量的减少,无效腔增大,导致 $PaCO_2$ 与 $P_{ET}CO_2$ 的差值上升至 $5 \sim 10\text{mmHg}$ 。

由于不同因素的影响,在实际工作中所测定的 $P_{ET}CO_2$ 与 $PaCO_2$ 之间往往存在着较大的差异,例如患者的年龄、麻醉和手术的影响、合并心肺部疾病、肺血流的改变等,最根本原因是肺通气血流比例的失调,凡是影响通气/血流比值(V/Q)的,增大患者无效腔量/潮气量(V/D)的因素均会影响 $P_{(a-ET)}CO_2$ 差值^[9]。本研究通过不同手术术式对患者分组,发现心胸外科手术的患者 $P_{(a-ET)}CO_2$ 差值与其他各组比较显著增加($P < 0.05$)。究其原因,可能与患者的病理生理状态和手术方式相关,患有心脏疾病的患者,其合并的病理变化可影响 $P_{ET}CO_2$ 的准确性,有研究报道按照心脏病理分型的不同, $PaCO_2$ 与 $P_{ET}CO_2$ 的相关性也随之改变^[10]。另外,在进行心胸手术时,还要考虑单肺通气(OLV)对 $P_{ET}CO_2$ 的影响^[11,12]。OLV 时,通气侧肺部氧合要明显大于肺灌注的血流,而非通气侧则与之相反,肺部有血流灌注却没有充分氧合,造成局部的通气血流比例失调和肺内分流的增加, $PaCO_2$ 升高,进而 $P_{(a-ET)}CO_2$ 差值与原来相比增大。另一方面,还要考虑 OLV 对血流动力学的影响,OLV 时造成静脉回心血量的减少,血压下降,心排血量减少,引起 $P_{ET}CO_2$ 的下降。 $P_{ET}CO_2$ 主要反映的是患者的通气状况,但不能直接反映机体的酸碱平衡状态。心胸手术时 $P_{(a-ET)}CO_2$ 差值变异性增大,虽然动态观察 $P_{ET}CO_2$ 能够反映 $PaCO_2$ 的改变,但不能单纯依赖 $P_{ET}CO_2$ 监测,要定时进行动脉血气分析,及时调整呼吸机参数,避免酸中毒的发生。

腹腔镜手术时,由于气腹的影响腹腔内大量 CO_2 吸收入血,导致 $PaCO_2$ 升高。由于气腹时腹压上升导致膈肌上抬,胸腔压力的增加,气道阻力增加,肺顺应性下降,气道压也随之升高,造成肺血管收缩,通气血流比例失调。本研究并没有发现腹腔镜术式与其他术式相比 $P_{(a-ET)}CO_2$ 差值具有明显差异,可能与呼吸机的参数设置相关。有研究表明合理的呼吸频率和潮气量参数调节可以降低 $P_{(a-ET)}CO_2$ 差值的变异

性,在机械通气时潮气量达到 8ml/kg 时, $P_{ET}CO_2$ 估计的 $PaCO_2$ 的值最准^[13]。也有研究认为在中青年中患者低潮气量高频通气能更好地改善 CO_2 蓄积效应,而采用高潮气量低频率模式在老年患者中能有效地改善 CO_2 蓄积^[14]。王金荣等^[15] 研究发现危重症患者在行有创机械通气治疗时,不同呼吸机治疗模式、不同疾病类型和不同氧合指数下 $PaCO_2$ 与 $P_{ET}CO_2$ 均具有良好的相关性。本研究差异无统计学意义也可能与所采集的样本量较小有关,不能代表其普遍性,需要进一步调查研究。

本研究发现,神经外科手术时 $P_{ET}CO_2$ 与其他组比较显著下降($P < 0.05$),这与术中进行过度通气治疗有关。严重颅脑损伤的患者脑血流的自身调节机制发生障碍,过度通气治疗可以增加自我调节反应的有效性^[16]。

在非心肺合并疾病的患者中,机械通气时 $P_{ET}CO_2$ 基本反映患者的通气状况, $P_{ET}CO_2$ 升高说明通气不足,而下降则说明过度通气, $P_{ET}CO_2$ 是调节呼吸机参数的主要依据^[17,18]。然而,在有严重的呼吸系统以及循环系统疾病的患者中,由于生理无效腔增大、 V/Q 失调等因素, $P_{ET}CO_2$ 常不能准确的反映患者的通气功能,同时 $P_{(a-ET)}CO_2$ 差值明显增大,此时应该结合来 $PaCO_2$ 的情况来进行分析,及时进行调整。而患有 COPD 合并肺损伤,且体重指数 $> 30\text{kg/m}^2$ 以及心排血量下降的患者,机体对与酸中毒及高碳酸血症的代偿能力明显下降,这些患者 $P_{ET}CO_2$ 不能准确的反应 $PaCO_2$, $P_{(a-ET)}CO_2$ 差值可高达 15mmHg 。

综上所述,动脉血二氧化碳($PaCO_2$)与呼吸末二氧化碳($P_{ET}CO_2$)之间具有良好的相关性,但两者之间 $P_{(a-ET)}CO_2$ 差值由于术式、疾病的影响存在变异性,对于危重患者术中应该同时监测动脉血气,从而保证患者围术期的安全。

参考文献

- 1 Bhat YR, Abhishek N. Mainstream end-tidal carbon dioxide monitoring in ventilated neonates[J]. Singapore Med J, 2008, 49:199-203
- 2 Akinci E, Ramadan H, Yuzbasioglu Y, et al. Comparison of end-tidal carbon dioxide levels with cardiopulmonary resuscitation success presented to emergency department with cardiopulmonary arrest[J]. Pak J Med Sci, 2014, 30 (1):16-21
- 3 Zhao H, Wang X, Liu D. The role of end-tidal carbon dioxide partial pressure in fluid responsiveness assessment in septic shock patient[J]. Chin J Intem Med, 2014, 53 (5):359-362

(下转第 68 页)

醇溶解物抑制肿瘤细胞迁移能力与浓度呈正相关,浓度越高,抑制效果越强,且不同细胞间抑制效果不同,两种醇提物对 A549 细胞的抑制迁移效果较 HepG₂ 细胞好,同一浓度醇溶解物抑制 HepG₂ 细胞的迁移作用较醇沉淀物强,Hwang 等^[18]研究也证实夏枯草乙醇提取物比水溶解部分的抗氧化效果和抗肿瘤效果更强。实验中发现一个矛盾的现象,在 0.05 ~ 0.1 g/ml 浓度范围内,醇溶解物抑制细胞迁移能力与抑制细胞增殖能力不一致,高浓度组未出现细胞迁移,但是细胞状态较低浓度组好,0.1 g/ml 浓度组虽然出现细胞迁移现象,但细胞出现圆缩,细胞数量显著减少,这一结果表明醇溶解物高浓度时通过抑制细胞迁移较抑制细胞增殖发挥抗肿瘤效果作用强,到 0.1 g/ml 时则反之。这对于患者抗肿瘤用药就是一个福音,因为在这个浓度范围内夏枯草醇溶解物一直能发挥很好的抗肿瘤效果。

综合细胞增殖实验和细胞划痕实验结果,笔者发现醇沉淀物各浓度抗肿瘤效果呈浓度依赖性,浓度越高,通过抑制肿瘤细胞增殖和抑制肿瘤细胞迁移的效果越强。醇溶物 MTT 结果显示在一定范围内对 A549 细胞和 HepG₂ 细胞的增殖呈“V”字型的抑制作用。

参考文献

- 1 张霞,聂少平,李昌,等. 夏枯草水溶性多糖乙醇分级纯化及其理化性质研究[J]. 食品工业科技,2012,33(20):87-90
- 2 朱劲华,贾晓斌,张威. 夏枯草乙醇提取物体外诱导肺癌细胞 A549 凋亡的研究[J]. 西北药学杂志,2014,29(6):598-602
- 3 李东,姜森. 中药白毛夏枯草水提液体外抗肿瘤研究[J]. 吉林中医药,2009,29(5):434-435

(上接第 37 页)

- 4 Rasera CC, Gewehr PM, Domingues AM, *et al.* Measurement of end-tidal carbon dioxide in spontaneously breathing children after cardiac surgery[J]. Am J Crit Care, 2011, 20(5):388-394
- 5 Rosier S, Launey Y, Bleichner JP, *et al.* The accuracy of transcutaneous PCO₂ in subjects with severe brain injury: a comparison with end-tidal PCO₂ [J]. Respir Care, 2014, 59(8):1242-1247
- 6 郭向阳,罗爱伦. 呼气末 CO₂ 和其它监测指标的联合应用与麻醉管理[J]. 中国医学科学院学报,1998,20(1):76-79
- 7 钱文伟. P_{ET}CO₂ 和 SpO₂ 监测与动脉血气的比较分析[J]. 中华实验外科杂志,1996,13(3):168
- 8 Bhende MS. End-tidal carbon dioxide monitoring in pediatrics: concepts and technology[J]. J Postgrad Med, 2001, 47:153-156
- 9 庄心良,曾因明,陈伯童. 现代麻醉学(第3版)[M]. 北京:人民卫生出版社,2003:20-28
- 10 Aliwalas LL, Noble L, Nesbitt K, *et al.* Agreement of carbon dioxide levels measured by arterial, transcutaneous and end tidal methods in preterm infants < or = 28 weeks gestation [J]. J Perinatol, 2005, 25(1):26-29
- 11 马曙光,何建华,顾连兵,等. 老年人单肺通气时呼气末二氧化碳监测的可信度[J]. 临床麻醉学杂志,2009,25(12):1057-1059
- 12 Brock H, Rieger R, Gabriel C, *et al.* Haemodynamic changes during

- 4 韩梦魁. 谈谈醇沉工艺与设备[J]. 中成药,1990,12(11):38-39
- 5 Lee IK, Kim DH, Lee SY, *et al.* Triterpenoic acids of *Prunella vulgaris* var. *lilacina* and their cytotoxic activities in vitro [J]. Arch Pharm Res,2008,31(12):1578-1583
- 6 柏玉冰,李春,周亚敏,等. 夏枯草的化学成分及其三萜成分的抗肿瘤活性研究[J]. 中草药,2015,46(24):3623-3629
- 7 裴慧,钱士辉. 夏枯草中 2 个三萜类化合物的体外抗肿瘤活性研究[J]. 海峡药学,2011,23(3):43-45
- 8 Yang Y, Tantai J, Sun Y, *et al.* Effect of hyperoside on the apoptosis of A549 human non-small cell lung cancer cells and the underlying mechanism[J]. Mol Med Rep,2017,16(5):6483-6488
- 9 田旭,王鹏,詹妮,等. 抗癌中草药有效成分的研究进展[J]. 特产研究,2010,32(3):73-76
- 10 郝海平,郑超楠,王广基. 多组分/多靶点中药整体药代动力学研究的思考与探索[J]. 药理学报,2009,44(3):270-275
- 11 王攀,李招云,付伦,等. 夏枯草提取物对肺腺癌细胞 A549 蛋白质组的影响[J]. 中华医学杂志,2014,94(28):2216-2221
- 12 冯春来,袁颖,张海生,等. 西枯草抗肿瘤分子协同作用网络分析[J]. 中成药,2016,38(9):2003-2012
- 13 石猛,莫尚志,周文政. 醇沉法存在的问题及解决办法[J]. 中药材,1999,22(6):313-314
- 14 张明华,顾俊菲,封亮,等. 中药“多维结构过程动态质量控制体系”的研究策略和实践[J]. 中国中药杂志,2013,38(21):3608-3612
- 15 刘文博. 夏枯草三萜类的肺癌化学预防机制研究[D]. 合肥:安徽大学,2012:18,26-27
- 16 岳庆喜,关树宏,谢付波,等. 灵芝总三萜与紫杉醇或与顺铂在对人源肿瘤细胞细胞毒性中的相互作用[J]. 中国天然药物,2008,6(5):367-371
- 17 徐华影,金妍. 夏枯草抗肿瘤转移活性成分及其作用机制研究[J]. 中药新药与临床药理,2015,26(3):351-355
- 18 Hwang YJ, Lee EJ, Kim HR, *et al.* In vitro antioxidant and anticancer effects of solvent fractions from *Prunella vulgaris* var. *lilacina* [J]. BMC Complement Altern Med,2013,13:310

(收稿日期:2018-03-12)

(修回日期:2018-04-09)

- thoracoscopic surgery: The effects of one-lung ventilation compared with carbon dioxide insufflation[J]. Anaesthesia, 2000, 55(1):10-16
 - 13 花晓红,谢红,费杭模. 后腹腔镜手术合理通气方法的探讨[J]. 实用临床医药杂志,2010,14(1):94-97
 - 14 杨明华,林智平,叶允荣. 不同潮气量机械通气下肺癌根治术病人动脉血二氧化碳分压与呼气末二氧化碳分压的关系[J]. 中华麻醉学杂志,2006,26(1):86-87
 - 15 王金荣,邵立业,郭伟,等. 机械通气患者呼吸末二氧化碳分压与动脉血二氧化碳分压的相关性研究[J]. 中国呼吸与危重监护杂志,2018,17(1):71-75
 - 16 Hahn J, Dumont G, Anersmino M. System identification and closed-loop control of end-tidal CO₂ in mechanically ventilated patients [J]. IEEE Trans Inf Technol Biomed, 2012, 16(6):1176-1184
 - 17 代金贞,李新华,杨辉. Philips 监护仪呼气末二氧化碳与动脉血二氧化碳分压差异的临床观察[J]. 医疗卫生装备,2013,34(1):63-64
 - 18 Yadav M, Reddy EP, Sharma A, *et al.* The effect of position on P_aCO₂ and P_{ET}CO₂ in patients undergoing cervical spine surgery in supine and prone position [J]. J Neurosurg Anesthesiol, 2017, 29(3):298-303
- (收稿日期:2018-04-05)
(修回日期:2018-04-26)