

· 论著 ·

平静呼气法与延长呼气法测定呼气末二氧化碳分压在呼吸内科应用价值的比较

谭伟 刘璠 侯海佳 代冰 王乾辉 赵洪文 康健

【摘要】 目的 探讨平静呼气法与延长呼气法测定呼气末二氧化碳分压($P_{\text{ET}}\text{CO}_2$)在呼吸内科的应用价值。方法 选择 114 例住本院呼吸内科的患者,采用平静呼气法和延长呼气法分别测定 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$,并行血气分析。分别根据动脉血二氧化碳分压(PaCO_2)水平及原发病将患者分组,对两种方法测定的 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 与 PaCO_2 进行相关性分析。同期选择 45 例健康志愿者进行对照。结果 ①健康志愿者平静呼气法、延长呼气法测定的 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ [(39.68 ± 5.07) mm Hg、(40.68 ± 3.25) mm Hg (1 mm Hg = 0.133 kPa)] 均与 PaCO_2 [(40.44 ± 2.70) mm Hg] 相关性良好 ($r_1=0.79$ 、 $P_1=0.02$ 、 $r_2=0.91$ 、 $P_2=0.04$)。②114 例患者平静呼气法、延长呼气法测定的 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ [(35.93 ± 8.19) mm Hg、(40.69 ± 10.71) mm Hg] 均与 PaCO_2 [(42.90 ± 12.62) mm Hg] 相关性良好 ($r_1=0.80$ 、 $r_2=0.86$, 均 $P<0.01$)。③ PaCO_2 分组分析:正常 PaCO_2 组 (35 ~ 45 mm Hg, 49 例) 平静呼气法、延长呼气法测定的 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ [(37.64 ± 4.67) mm Hg、(38.25 ± 5.03) mm Hg] 均与 PaCO_2 [(39.30 ± 3.10) mm Hg] 相关性良好 ($r_1=0.76$ 、 $P_1=0.61$ 、 $r_2=0.82$ 、 $P_2=0.65$); 低 PaCO_2 组 (<35 mm Hg, 26 例) 平静呼气法、延长呼气法测定的 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ [(28.41 ± 5.63) mm Hg、(31.36 ± 5.47) mm Hg] 均与 PaCO_2 [(31.27 ± 5.47) mm Hg] 相关性良好 ($r_1=0.68$ 、 $r_2=0.87$, 均 $P<0.01$); 高 PaCO_2 组 (45 ~ 60 mm Hg, 27 例) 平静呼气法测定的 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ [(37.07 ± 5.04) mm Hg] 与 PaCO_2 [(49.51 ± 5.18) mm Hg] 相关性较差 ($r=0.42$, $P=0.02$), 延长呼气法测定的 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ [(46.61 ± 3.75) mm Hg] 与 PaCO_2 [(49.51 ± 5.18) mm Hg] 相关性较好 ($r=0.81$, $P=0.01$); 极高 PaCO_2 组 (>60 mm Hg, 12 例) 平静呼气法、延长呼气法测定的 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ [(51.37 ± 11.25) mm Hg、(62.57 ± 16.24) mm Hg] 均与 PaCO_2 [(74.63 ± 12.20) mm Hg] 相关性较好 ($r_1=0.80$ 、 $P_1=0.09$ 、 $r_2=0.82$ 、 $P_2=0.11$)。④原发病分组:慢性阻塞性肺疾病 (COPD) 组 (31 例)、大量胸腔积液组 (21 例)、间质性肺炎组 (15 例) 平静呼气法测定的 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ [(44.62 ± 12.70)、(34.89 ± 3.26)、(34.82 ± 4.51) mm Hg] 与 PaCO_2 [(60.18 ± 17.38)、(38.02 ± 3.66)、(38.70 ± 4.08) mm Hg] 相关性均较差 ($r_1=0.87$ 、 $P_1<0.01$ 、 $r_2=0.23$ 、 $P_2=0.03$ 、 $r_3=0.56$ 、 $P_3=0.02$), 延长呼气法测定的 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ [(55.63 ± 16.27)、(38.59 ± 4.23)、(37.81 ± 4.23) mm Hg] 与 PaCO_2 [(60.18 ± 17.38)、(38.02 ± 3.66)、(38.70 ± 4.08) mm Hg] 相关性均较好 ($r_1=0.89$ 、 $P_1<0.01$ 、 $r_2=0.66$ 、 $P_2=0.02$ 、 $r_3=0.87$ 、 $P_3=0.01$); 肺栓塞组 (16 例) 平静呼气法和延长呼气法测定的 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ [(30.57 ± 9.49) mm Hg、(32.90 ± 8.57) mm Hg] 与 PaCO_2 [(36.50 ± 4.59) mm Hg] 相关性均较好 ($r_1=0.75$ 、 $r_2=0.76$, 均 $P<0.01$)。结论 在呼吸内科住院患者中,一般情况下 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 能代替 PaCO_2 ,但在 COPD、间质性肺炎、大量胸腔积液患者中,延长呼气法较平静呼气法测定的 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 更接近 PaCO_2 ,高水平 PaCO_2 仍应该以血气分析为准。肺栓塞患者中平静呼气法与延长呼气法测定的 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 无差别,均低于 PaCO_2 。

【关键词】 呼气末二氧化碳分压; 慢性阻塞性肺疾病; 延长呼气法

The comparison of the value of end-tidal partial pressure of carbon dioxide after eupnoea and prolonged expiratory method in Department of Respiratory Medicine TAN Wei, LIU Fan, HOU Hai-jia, DAI Bing, WANG Qian-hui, ZHAO Hong-wen, KANG Jian. The Institute of Respiratory Diseases, the First Hospital of China Medical University, Shenyang 110001, Liaoning, China

Corresponding author: ZHAO Hong-wen, Email: hwzhao2007@yahoo.com

【Abstract】 Objective To compare and discuss the value of end-tidal partial pressure of carbon dioxide ($P_{\text{ET}}\text{CO}_2$) using eupnoea or prolonged expiratory method, and explore their application value in department of respiratory medicine. **Methods** One hundred and fourteen patients admitted to the Department of Respiratory Medicine of hospital received $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ monitor, using either eupnoea or prolonged expiratory method, and blood gas analysis was performed thereafter. Then the patients were divided into different groups according to different arterial partial pressure of carbon dioxide (PaCO_2) and diseases. $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ using two methods were compared and performed correlation analysis with PaCO_2 was performed. A group of 45 healthy volunteers were served as the control group. **Results** ①In healthy volunteers, $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ using eupnoea or prolonged expiratory method was (39.68 ± 5.07) mm Hg (1 mm Hg = 0.133 kPa), (40.68 ±

3.25) mm Hg, respectively, and they showed a good correlation with PaCO₂ [(40.44 ± 2.70) mm Hg, $r_1=0.79$, $P_1=0.02$; $r_2=0.91$, $P_2=0.04$]. ② In 114 patients group, P_{ET}CO₂ using eupnoea and prolonged expiratory method was (35.93 ± 8.19) mm Hg, (40.69 ± 10.71) mm Hg, respectively, and they showed a good correlation with PaCO₂ [(42.90 ± 12.62) mm Hg, $r_1=0.80$, $r_2=0.86$, both $P<0.01$]. ③ Subgroup analysis according to different levels of PaCO₂: in normal PaCO₂ group (35–45 mm Hg, $n=49$), P_{ET}CO₂ using eupnoea or prolonged expiratory method was (37.64 ± 4.67) mm Hg, (38.25 ± 5.03) mm Hg, respectively, and they showed a good correlation with PaCO₂ [(39.30 ± 3.10) mm Hg, $r_1=0.76$, $P_1=0.61$; $r_2=0.82$, $P_2=0.65$]; in low PaCO₂ group (<35 mm Hg, $n=26$), P_{ET}CO₂ by using eupnoea or prolonged expiratory method was (28.4 ± 5.63) mm Hg, (31.3 ± 5.47) mm Hg, respectively, and they showed a good correlation with PaCO₂ [(31.27 ± 5.47) mm Hg, $r_1=0.68$, $r_2=0.87$, both $P<0.01$]; in high PaCO₂ group (45–60 mm Hg, $n=27$), P_{ET}CO₂ by using eupnoea expiratory method [(37.07 ± 5.04) mm Hg] showed a poor correlation with PaCO₂ [(49.51 ± 5.18) mm Hg, $r=0.42$, $P=0.02$], while P_{ET}CO₂ using prolonged expiratory method [(46.61 ± 3.75) mm Hg] showed a good correlation with PaCO₂ [(49.51 ± 5.18) mm Hg, $r=0.81$, $P=0.01$]. In extremely high PaCO₂ group (>60 mm Hg, $n=12$), P_{ET}CO₂ using eupnoea or prolonged expiratory method [(51.37 ± 11.25) mm Hg, (62.57 ± 16.24) mm Hg] showed a good correlation with PaCO₂ [(74.63 ± 12.20) mm Hg, $r_1=0.80$, $P_1=0.09$; $r_2=0.82$, $P_2=0.11$]. ④ Subgroup analysis according to different diseases: in chronic obstructive pulmonary disease (COPD) group ($n=31$), large pleural effusion group ($n=21$), and interstitial pneumonia group ($n=15$), P_{ET}CO₂ using eupnoea expiratory method [(44.62 ± 12.70), (34.89 ± 3.26), (34.82 ± 4.51) mm Hg] showed a poor correlation with PaCO₂ [(60.18 ± 17.38), (38.02 ± 3.66), (38.70 ± 4.08) mm Hg, $r_1=0.87$, $P_1<0.01$; $r_2=0.23$, $P_2=0.03$; $r_3=0.56$, $P_3=0.02$], while P_{ET}CO₂ using prolonged expiratory method [(55.63 ± 16.27), (38.59 ± 4.23), (37.81 ± 4.23) mm Hg] showed a good correlation with PaCO₂ [(60.18 ± 17.38), (38.02 ± 3.66), (38.70 ± 4.08) mm Hg, $r_1=0.89$, $P_1<0.01$; $r_2=0.66$, $P_2=0.02$; $r_3=0.87$, $P_3=0.01$]. In pulmonary embolism group ($n=16$), the results of P_{ET}CO₂ using eupnoea and prolonged expiratory method [(30.57 ± 9.49) mm Hg, (32.90 ± 8.57) mm Hg] showed a good correlation with PaCO₂ [(36.50 ± 4.59) mm Hg, $r_1=0.75$, $r_2=0.76$, both $P<0.01$]. **Conclusions** In Department of Respiratory Medicine, P_{ET}CO₂ can replace PaCO₂, but among the patients with COPD, interstitial pneumonia, large pleural effusion, the results of P_{ET}CO₂ measured with prolonged expiratory method could be closer to that of PaCO₂ as compared with that of using eupnoea expiratory method. In cases with high levels of PaCO₂, blood gas analysis should be executed. In pulmonary embolism patients, there was no difference between eupnoea and prolonged expiratory method, and the results were lower than that of PaCO₂.

【Key words】 End-tidal partial pressure of carbon dioxide; Chronic obstructive pulmonary disease; Prolonged expiratory method

近年来,呼气末二氧化碳分压(P_{ET}CO₂)作为重要的无创监护指标在临床上被广泛关注,国内外已取得了重要的基础实验和临床结果,大部分研究得出的结论是:P_{ET}CO₂和动脉血二氧化碳分压(PaCO₂)很接近,两者存在良好的相关性,P_{ET}CO₂可用来预测 PaCO₂^[1-2],但影响因素较多,尤其是受心肺血流变化较大或肺功能较差患者的影响较大^[3],如在慢性阻塞性肺疾病(COPD)患者中,由于生理无效腔增大,导致两者的差距增大^[4]。在重症监护病房(ICU)中,P_{ET}CO₂并不能作为入院患者初始机械通气设置的参考指标^[5]。因此可以看出,对于 P_{ET}CO₂与 PaCO₂的相关性仍然存在争议。对于正常肺泡,通气/血流比值(V/Q)正常,全肺的 CO₂分布正常,排空时间一致;然而病理性肺泡 V/Q 改变,肺泡内 CO₂分布改变,排空时间也改变。因此,适当延长呼气时间可能使 P_{ET}CO₂更接近 PaCO₂。目前,国内采用平静呼气法和延长呼气法测定 P_{ET}CO₂的研究已证实,对于 COPD 伴 II 型呼吸衰竭患者,延长呼气法可较准确地预测 PaCO₂^[6-7]。但迄今为止,针对入院患者各类疾病 P_{ET}CO₂应用价值的研究较少,尤其是采用平静呼气法和延长呼气法的研究报道更少。本研究使用便

携式 CO₂ 监测仪,通过两种呼气法测定呼吸内科患者 P_{ET}CO₂和 PaCO₂,并分析其相关性,以探讨 P_{ET}CO₂测定在呼吸内科各类疾病中的应用价值和特点,从而得出在不同疾病和不同 CO₂水平下,采用哪种方法更有利于发挥 P_{ET}CO₂测定的临床价值。

1 对象与方法

1.1 研究对象:采用前瞻性自身对照研究方法,选择 2012 年 10 月至 12 月入住本院呼吸内科时需抽血进行动脉血气分析、无人工气道的患者 114 例。排除病情危重,无法端坐或半卧位配合该试验的患者。同期选择 45 例健康志愿者作为对照。本研究符合赫尔辛基宣言,并通过中国医科大学附属第一医院伦理委员会批准,所有参加试验受试者的授权委托人均阅读并签署了知情同意书。

1.2 研究方法

1.2.1 试验步骤:①对健康志愿者进行肺功能检查;对入院患者询问病史,并进行体检。②两组均进行血气分析(取桡动脉或股动脉血);5 min 后分别采用平静呼气法和延长呼气法测定 P_{ET}CO₂,连续测定 3 次,计算平均值。

1.2.2 使用 NTID 生命体征监护仪(深圳市纽泰克

电子有限公司)测定 $P_{ET}CO_2$: 患者取半卧位或端坐位,安上吹嘴,握住 CO_2 模块,使其保持水平方向(切勿堵塞出口),夹住鼻甲或捏鼻,待患者平静呼吸 20~30 s,如果没有出现波形,指导患者呼吸,吸呼比为 1:2,有完整的波形出现后记录 3 次以上平静呼气时的 $P_{ET}CO_2$ 值;然后指导患者深吸气,慢慢呼出气体直到一口气完全呼完才吸气,呼气时间坚持 5 s 或以上,记录 3 次以上延长呼气时 $P_{ET}CO_2$ 值。

1.3 分组及指标评价: 根据 $PaCO_2$ 水平将患者分为 <35、35~45、46~60、>60 mm Hg(1 mm Hg=0.133 kPa)4 组;另外根据原发病将患者分为 COPD 组、肺栓塞组、间质性肺炎组、大量胸腔积液组、肺炎组及其他(支气管扩张症、血管炎等)组。评价各组患者两种方法测定 $P_{ET}CO_2$ 与 $PaCO_2$ 的差异及相关性。

1.4 统计学方法:应用 SPSS 19.0 软件进行统计分析,计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,多组间比较采用随机区组的单因素方差分析,两组间比较、两种检测方法之间比较采用 t 检验,两种检测方法测定 $P_{ET}CO_2$ 与 $PaCO_2$ 的差异比较采用配对 t 检验;计数资料采用 χ^2 检验;用直线相关分析判断两种检测方法所测 $P_{ET}CO_2$ 与 $PaCO_2$ 的相关性。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料:114 例入选患者中男性 63 例,女性 51 例;年龄 27~76 岁,平均(51.75±21.83)岁;心率 54~114 次/min,平均(87.50±16.05)次/min;脉搏血氧饱和度(SpO_2)0.85~1.00,平均 0.96±0.03。45 例健康志愿者中男性 26 例,女性 19 例;年龄 36~72 岁,平均(52.40±8.57)岁。两组性别、年龄比较差异无统计学意义,有可比性。

2.2 两种方法测定 $P_{ET}CO_2$ 和 $PaCO_2$ 的比较

2.2.1 健康志愿者两种方法测定的 $P_{ET}CO_2$ 和 $PaCO_2$ 比较(表 1):健康志愿者平静呼气法和延长呼气法测定的 $P_{ET}CO_2$ 与 $PaCO_2$ 比较差异无统计学意义,相关性良好($r_1=0.79$ 、 $P_1=0.02$; $r_2=0.91$ 、 $P_2=0.04$)。

2.2.2 入选患者两种方法测定的 $P_{ET}CO_2$ 和 $PaCO_2$ 比较(表 2):平静呼

气法测定的 $P_{ET}CO_2$ 与 $PaCO_2$ 比较差异有统计学意义($P < 0.01$),而延长呼气法测定的 $P_{ET}CO_2$ 与 $PaCO_2$ 比较差异无统计学意义。平静呼气法和延长呼气法测定 $P_{ET}CO_2$ 均与 $PaCO_2$ 相关性良好(均 $P < 0.01$)。

2.2.3 不同 $PaCO_2$ 水平患者两种方法测定 $P_{ET}CO_2$ 和 $PaCO_2$ 的关系(表 3~4):<35 mm Hg 组及 35~45 mm Hg 组平静呼气法和延长呼气法测定 $P_{ET}CO_2$ 与 $PaCO_2$ 比较差异均无统计学意义,相关性良好。46~60 mm Hg 组平静呼气法测定 $P_{ET}CO_2$ 与 $PaCO_2$ 差异有统计学意义,相关性较差;但延长呼气法 $P_{ET}CO_2$ 与 $PaCO_2$ 差异无统计学意义,相关性较好。>60 mm Hg 组中,无论平静呼气法还是延长呼气法测定 $P_{ET}CO_2$ 均与 $PaCO_2$ 有统计学差异,但相关性较好,其中延长呼气法 $P_{ET}CO_2$ 更接近 $PaCO_2$,且 $P_{a-ET}CO_2$ 低于平静呼气法 $P_{a-ET}CO_2$ 。

表 1 45 例健康志愿者 $PaCO_2$ 与两种方法测定 $P_{ET}CO_2$ 的比较及其相关性($\bar{x} \pm s$)

测定方式	例数	$PaCO_2$ (mm Hg)	$P_{ET}CO_2$ (mm Hg)	$P_{a-ET}CO_2$ (mm Hg)	$PaCO_2$ 与 $P_{ET}CO_2$			
					t 值	P 值	r 值	P 值
平静呼气法	45	40.44±2.70	39.68±5.07	0.76±4.00	0.56	0.65	0.79	0.02
延长呼气法	45	40.44±2.70	40.68±3.25	-0.24±1.39	1.54	0.45	0.91	0.04
t 值			-0.18	0.11				
P 值			0.68	0.68				

注: $PaCO_2$ 为动脉血二氧化碳分压, $P_{ET}CO_2$ 为呼气末二氧化碳分压, $P_{a-ET}CO_2$ 为 $PaCO_2$ 与 $P_{ET}CO_2$ 的差值;1 mm Hg=0.133 kPa

表 2 114 例呼吸内科患者 $PaCO_2$ 与两种方法测定 $P_{ET}CO_2$ 的比较及其相关性($\bar{x} \pm s$)

测定方法	例数	$PaCO_2$ (mm Hg)	$P_{ET}CO_2$ (mm Hg)	$P_{a-ET}CO_2$ (mm Hg)	$PaCO_2$ 与 $P_{ET}CO_2$			
					t 值	P 值	r 值	P 值
平静呼气法	114	42.90±12.62	35.92±8.19	6.97±7.81	-0.48	<0.01	0.80	<0.01
延长呼气法	114	42.90±12.62	40.69±10.71	2.21±6.36	-0.08	0.53	0.86	<0.01
t 值			-1.06	1.21				
P 值			0.03	<0.01				

注: $PaCO_2$ 为动脉血二氧化碳分压, $P_{ET}CO_2$ 为呼气末二氧化碳分压, $P_{a-ET}CO_2$ 为 $PaCO_2$ 与 $P_{ET}CO_2$ 的差值;1 mm Hg=0.133 kPa

表 3 不同 $PaCO_2$ 水平呼吸内科患者 $PaCO_2$ 和两种方法测定 $P_{ET}CO_2$ 的比较($\bar{x} \pm s$)

$PaCO_2$ (mm Hg)	例数	$PaCO_2$ (mm Hg)	$P_{ET}CO_2$ (mm Hg)		$P_{a-ET}CO_2$ (mm Hg)	
			平静呼气法	延长呼气法	平静呼气法	延长呼气法
<35 组	26	31.27±5.47	28.41±5.63	31.36±5.47	2.85±5.72	-0.09±5.11
35~45 组	49	39.30±3.10	37.64±4.67	38.25±5.03	2.67±4.67	1.05±5.12
46~60 组	27	49.51±5.18	37.07±5.04	46.61±3.75	10.43±5.52	2.91±3.08
>60 组	12	74.63±12.20	51.37±11.25	62.57±16.24	23.25±7.61	12.06±9.42
F 值		149.47	25.82	39.51	32.41	11.31
P 值		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注: $PaCO_2$ 为动脉血二氧化碳分压, $P_{ET}CO_2$ 为呼气末二氧化碳分压, $P_{a-ET}CO_2$ 为 $PaCO_2$ 与 $P_{ET}CO_2$ 的差值;1 mm Hg=0.133 kPa

表 4 不同 PaCO₂ 水平呼吸内科患者 PaCO₂ 和两种方法测定 P_{ET}CO₂ 的水平比较及相关性

PaCO ₂ (mm Hg)	平静呼气法 PaCO ₂ 与 P _{ET} CO ₂				延长呼气法 PaCO ₂ 与 P _{ET} CO ₂			
	t 值	P 值	r 值	P 值	t 值	P 值	r 值	P 值
<35 组	-5.09	0.11	0.68	<0.01	-1.72	0.95	0.87	<0.01
35~45 组	-7.59	0.09	0.76	0.61	-7.05	0.16	0.82	0.65
46~60 组	-6.58	0.01	0.42	0.02	-5.97	0.23	0.81	0.01
>60 组	-4.12	0.02	0.80	0.09	-8.64	0.04	0.82	0.11

注: PaCO₂ 为动脉血二氧化碳分压, P_{ET}CO₂ 为呼气末二氧化碳分压;
1 mm Hg=0.133 kPa

2.2.4 不同原发病患者两种方法测定的 P_{ET}CO₂ 和 PaCO₂ 的关系(表 5~6): COPD 组、间质性肺炎组、大量胸腔积液组平静呼气法测定的 P_{ET}CO₂ 与 PaCO₂ 差异均有统计学意义(均 P<0.05), 相关性较差; 而延长呼气法测定 P_{ET}CO₂ 与 PaCO₂ 无统计学差异, 相关性较好。肺栓塞组平静呼气法与延长呼气法测定的 P_{ET}CO₂ 均与 PaCO₂ 有统计学差异, 但相关性较好。肺炎及其他组平静呼气法与延长呼气法测定的 P_{ET}CO₂ 与 PaCO₂ 无统计学差异, 相关性良好。

3 讨论

肺泡二氧化碳分压(P_ACO₂)受 CO₂ 产量、肺泡通气量和肺血流灌注量三者共同影响, CO₂ 能迅速透过毛细血管膜进入肺泡而形成 PaCO₂ 并达到平衡, 最终呼出而形成肺泡气, 健康者 P_{ET}CO₂ ≈ P_ACO₂ ≈

PaCO₂, 临床上可以通过测定 P_{ET}CO₂ 来反映 PaCO₂ 的变化, 而且两者存在良好的相关性^[8], 因此, 监测 P_{ET}CO₂ 能反映 PaCO₂ 的变化^[9]。本研究对健康志愿者的检测亦得出了该结果, 并且无论平静呼气法还是延长呼气法所测定的 P_{ET}CO₂ 均与 PaCO₂ 相关性良好。这与之前的研究结果^[4]相一致: 在健康志愿者中 P_{ET}CO₂ 基本能够代替 PaCO₂, 无呼吸衰竭的 COPD 患者也是如此。由于 P_{ET}CO₂ 受多种因素影响, 也有研究并不推荐测定 P_{ET}CO₂, 只将其当作一种辅助监测指标^[10]。本研究针对呼吸内科所有患者进行了研究, 得出平静呼气法测定的 P_{ET}CO₂ 与 PaCO₂ 有较好的相关性, 与大部分研究结果^[1-2, 11]相似, 但延长呼气法测定的 P_{ET}CO₂ 与 PaCO₂ 的相关性高于平静呼气法, 尤其是存在呼吸衰竭的 COPD 患者。P_{a-ET}CO₂ 可以反映生理死腔, 正常情况下 |P_{a-ET}CO₂| < 5 mm Hg^[12], 当死腔增大时, 其差值增大, 多数研究显示在严重肺部疾病、ICU 机械通气等情况下差值会高于 5 mm Hg, 甚至高于 20 mm Hg^[1, 13]。虽然 COPD 组中 PaCO₂ 水平仍然较高, 但在呼吸内科患者中采用延长呼气法测定的差值改善到 5 mm Hg 以内。既往有研究根据 PaCO₂ 分为高、低、正常组, 结果显示各组 P_{ET}CO₂ 与 PaCO₂ 均存在差异, 而且每组差异不一致, 高于正常组差值最高^[5]。

表 5 不同原发病呼吸内科患者 PaCO₂ 和两种方法测定 P_{ET}CO₂ 的比较($\bar{x} \pm s$)

原发病	例数	PaCO ₂ (mm Hg)	P _{ET} CO ₂ (mm Hg)		P _{a-ET} CO ₂ (mm Hg)	
			平静呼气法	延长呼气法	平静呼气法	延长呼气法
COPD	31	60.18 ± 17.38	44.62 ± 12.70	55.63 ± 16.27	16.48 ± 9.23	5.14 ± 7.99
肺栓塞	16	36.50 ± 4.59	30.57 ± 9.49	32.90 ± 8.57	5.92 ± 6.74	3.78 ± 0.39
间质性肺炎	15	38.70 ± 4.08	34.82 ± 4.51	37.81 ± 4.23	3.88 ± 4.09	0.88 ± 4.35
大量胸腔积液	21	38.02 ± 3.66	34.89 ± 3.26	38.59 ± 4.23	3.12 ± 4.30	-0.57 ± 5.12
肺炎	24	38.26 ± 5.20	35.93 ± 4.01	38.25 ± 4.29	2.31 ± 3.90	0.20 ± 0.41
其他	7	41.80 ± 4.90	38.07 ± 2.97	41.42 ± 4.57	5.73 ± 4.05	0.78 ± 2.34
F 值		11.42	3.81	6.37	7.71	3.32
P 值		0.00	<0.01	0.00	0.00	<0.01

注: PaCO₂ 为动脉血二氧化碳分压, P_{ET}CO₂ 为呼气末二氧化碳分压, COPD 为慢性阻塞性肺疾病, P_{a-ET}CO₂ 为 PaCO₂ 与 P_{ET}CO₂ 的差值; 1 mm Hg=0.133 kPa

表 6 不同原发病呼吸内科患者 PaCO₂ 和两种方法测定 P_{ET}CO₂ 的水平比较及相关性

原发病	平静呼气法 PaCO ₂ 与 P _{ET} CO ₂				延长呼气法 PaCO ₂ 与 P _{ET} CO ₂			
	t 值	P 值	r 值	P 值	t 值	P 值	r 值	P 值
COPD	-7.31	0.01	0.87	<0.01	-3.89	0.07	0.89	<0.01
肺栓塞	-3.00	0.01	0.75	<0.01	-2.04	0.05	0.76	<0.01
间质性肺炎	-2.13	0.03	0.56	0.02	-0.57	0.59	0.87	0.01
大量胸腔积液	-3.71	0.03	0.23	0.03	-0.52	0.61	0.66	0.02
肺炎	-3.68	0.08	0.71	<0.01	-0.01	0.99	0.80	<0.01
其他	-7.27	0.07	0.78	0.02	-0.75	0.74	0.88	0.01

注: PaCO₂ 为动脉血二氧化碳分压, P_{ET}CO₂ 为呼气末二氧化碳分压, COPD 为慢性阻塞性肺疾病

本研究进一步根据 PaCO₂ 水平分为 4 组, 结果显示正常组(35~45 mm Hg)和低于正常组(<35 mm Hg)平静呼气法与延长呼气法测定的 P_{ET}CO₂ 均与 PaCO₂ 相关性良好; 在 PaCO₂ 为 45~60 mm Hg 组中, 平静呼气法测定的 P_{ET}CO₂ 与 PaCO₂ 相关性较差, 延长呼气法测定的 P_{ET}CO₂ 与 PaCO₂ 相关性较好。有研究显示, P_{ET}CO₂>60 mm Hg 时, 不能很好地反映 PaCO₂, 相关性降低^[10], 本研究也将 >60 mm Hg 这部分患者筛选出来, 结果无论平静呼气法还是延长呼气法测定的 P_{ET}CO₂ 与 PaCO₂ 均有统计学差异, 但延长呼气法测定的 P_{a-ET}CO₂ 低于平静呼气法的 P_{a-ET}CO₂, 延长呼气法稍优于平静呼气法, 更接近 PaCO₂。本研究中延长呼气法时 P_{a-ET}CO₂ 为 (12.06 ± 9.42) mm Hg, 因此仍具有一定局限性, 需要行有创血气分析。有研究提出, 对于明显存在分流的患者, 不应连续、动态监测 P_{ET}CO₂, 而且要定时

检测血气,才能全面了解病情变化;连续动态观察 $P_{a-Et}CO_2$ 的变化,可提供有关 V/Q 比值的发展趋势及疾病转归等方面有益的信息^[14]。

对正常肺而言,全肺的肺泡 CO_2 弥散和分压相同,排空同步,均匀协调,呼出的肺泡气 CO_2 几乎相等,但当呼吸单位出现病理学改变时,导致呼吸单位的物理性质发生改变,使呼吸单位的 V/Q 比值和二氧化碳分压产生差别,分别有自己的排空秩序、速度和时间,使肺泡排气不同步^[15]。病理性肺泡的 V/Q 比值低, P_ACO_2 高,排空延迟或延长。本研究 COPD 组平静呼气法测定 $P_{Et}CO_2$ 值低于 $PaCO_2$,而延长呼气法增加 CO_2 排空时间,使 $P_{Et}CO_2$ 更接近 $PaCO_2$ 。在不同的呼吸系统疾病呼吸力学改变时, $P_{a-Et}CO_2$ 有所不同^[16]。有研究证实在 COPD 患者中 $P_{a-Et}CO_2$ 大小可能与气道阻力相关^[17],在肺气肿的 COPD 患者中这种差值更为明显^[18]。因此, $P_{a-Et}CO_2$ 可能与疾病病理生理改变严重程度有关。本研究中 COPD 患者使用平静呼气法时, $P_{a-Et}CO_2$ 达到 (16.48 ± 9.23) mm Hg,显著高于延长呼气法。而延长呼气法 $P_{Et}CO_2$ 更接近 $PaCO_2$,这与在容量- $P_{Et}CO_2$ 曲线中呼出气的第二阶段与第三阶段融合,斜率增加,随着呼气时间延长呼出更多 CO_2 , $P_{Et}CO_2$ 增加是一致的^[19]。刘杰等^[6]的研究也表明,在重度和极重度 COPD 患者,延长呼气法测定 $P_{Et}CO_2$ 可较准确地预测 $PaCO_2$,但高水平 $PaCO_2$ 时仍然存在局限。同时,对于 COPD 患者,有研究提出,测定 $P_{Et}CO_2$ 可用于代替 $PaCO_2$ 的动态监测结果^[17]。

健康者在呼出气的第三阶段为 P_ACO_2 ,其变化甚小, P_ACO_2 形成平段,肺泡气基本与 $PaCO_2$ 接近^[20]。而肺栓塞时肺动脉血流中断,血管分布或供应范围内的呼吸单位无血液流向肺泡释放 CO_2 ,但在该肺泡中通气仍在继续,死腔增加,同时在缺氧性呼吸驱动下,导致过度通气,不仅使 $P_{Et}CO_2$ 降低,通常 $PaCO_2$ 也低于或接近正常^[21]。本研究肺栓塞患者中平静呼气法与延长呼气法测定的 $P_{Et}CO_2$ 不会随着呼气时间的延长而逐渐升高,两者均低于 $PaCO_2$ 。正常情况下 $|P_{a-Et}CO_2| < 5$ mm Hg,但当出现肺血流灌注不良、肺栓塞、浅快呼吸等情况时,将导致 $|P_{a-Et}CO_2| > 5$ mm Hg^[22]。本研究中肺栓塞患者 $P_{a-Et}CO_2$ 高于健康者,但平静呼气法与延长呼气法测定的 $P_{a-Et}CO_2$ 值基本一致。结合 $P_{Et}CO_2$ 在肺栓塞患者的特点,可能对于其诊断更有价值,近年来,已经有研究开始联合 $P_{Et}CO_2$ 与 D-二聚体等用于提高肺栓塞的诊断,并证实具有较好的敏感性和特异性^[23-25]。

间质性肺疾病患者与大量胸腔积液患者由于存在限制性通气功能障碍、低氧等原因,代偿性呼吸加快,排出 CO_2 较多,整体上相对呼吸性碱中毒, $PaCO_2$ 低于正常值。同时该类患者潮气量低于健康者,有效潮气量减低,每次呼吸 CO_2 排出减少,因此平静呼气法 $P_{Et}CO_2$ 低于 $PaCO_2$ 。通过提高呼出潮气量可能会使 $P_{Et}CO_2$ 更接近 $PaCO_2$ ^[26]。因此,当采用延长呼气法时,呼气时间延长,呼吸频率降低,呼出潮气量增加,测定的 $P_{Et}CO_2$ 更接近 $PaCO_2$,与 $PaCO_2$ 相关性较好。

总之,本研究得出,在健康者中 $P_{Et}CO_2$ 基本可以代替 $PaCO_2$ 。在呼吸内科住院患者中,一般情况下 $P_{Et}CO_2$ 能代替 $PaCO_2$,但在有呼吸衰竭的 COPD、间质性肺炎、大量胸腔积液患者中,延长呼气法较平静呼气法测定的 $P_{Et}CO_2$ 更接近 $PaCO_2$,但高水平的 $PaCO_2$ 仍应该以血气分析为准, $P_{Et}CO_2$ 在动态监测过程中或许具有更佳的应用价值。肺栓塞患者中平静呼气法与延长呼气法测定的 $P_{Et}CO_2$ 均低于 $PaCO_2$,在肺栓塞的诊断过程中或许能提供更好的价值。由于本研究仅限于普通病房,这一指标在危重患者中^[5]以及高原等特殊环境下^[27]的应用价值仍然存在争议,而且在其他疾病中测定 $P_{Et}CO_2$ 所具有的特点以及临床应用价值需要进一步讨论。

参考文献

- [1] Kartal M, Goksu E, Eray O, et al. The value of $ETCO_2$ measurement for COPD patients in the emergency department. *Eur J Emerg Med*, 2011, 18: 9-12.
- [2] Kartal M, Eray O, Rinnert S, et al. $ETCO_2$: a predictive tool for excluding metabolic disturbances in nonintubated patients. *Am J Emerg Med*, 2011, 29: 65-69.
- [3] 周明, 周明华, 周石连. 潮气末二氧化碳分压在机械通气中的应用价值. *中华危重病急救医学*, 2007, 19: 115-116.
- [4] Liu Z, Vargas F, Stansbury D, et al. Comparison of the end-tidal arterial PCO_2 gradient during exercise in normal subjects and in patients with severe COPD. *Chest*, 1995, 107: 1218-1224.
- [5] Belpomme V, Ricard-Hibon A, Devoir C, et al. Correlation of arterial PCO_2 and $P_{Et}CO_2$ in prehospital controlled ventilation. *Am J Emerg Med*, 2005, 23: 852-859.
- [6] 刘杰, 陈荣昌, 陈瑞, 等. 延长呼气法和曲线拟合法在老年慢性阻塞性肺疾病呼吸衰竭患者呼出气二氧化碳图中的应用. *中华老年医学杂志*, 2010, 29: 472-475.
- [7] 李德容, 郑则广, 林佩仪, 等. 延长呼气法和平静呼气法呼气末二氧化碳监测在慢性阻塞性肺疾病中的比较. *河北医学*, 2007, 13: 505-509.
- [8] Casati A, Gallioli G, Passaretta R, et al. End tidal carbon dioxide monitoring in spontaneously breathing, nonintubated patients. A clinical comparison between conventional sidestream and microstream capnometers. *Minerva Anestesiol*, 2001, 67: 161-164.
- [9] Hansen JE, Sue DY, Wasserman K. Predicted values for clinical exercise testing. *Am Rev Respir Dis*, 1984, 129: S49-55.
- [10] Kugelmann A, Zeiger-Aginsky D, Bader D, et al. A novel method of distal end-tidal CO_2 capnography in intubated infants: comparison with arterial CO_2 and with proximal mainstream end-tidal CO_2 . *Pediatrics*, 2008, 122: e1219-1224.
- [11] Delorme S, Freund Y, Renault R, et al. Concordance between

- capnography and capnia in adults admitted for acute dyspnea in an ED. *Am J Emerg Med*, 2010, 28: 711-714.
- [12] Nagler J, Krauss B. Capnography: a valuable tool for airway management. *Emerg Med Clin North Am*, 2008, 26: 881-897.
- [13] Pekdemir M, Cinar O, Yilmaz S, et al. Disparity between mainstream and sidestream end-tidal carbon dioxide values and arterial carbon dioxide levels. *Respir Care*, 2013, 58: 1152-1156.
- [14] 崔勤, 胡文能, 李海民, 等. 呼气末二氧化碳监测在 ICU 中的应用. *中华危重病急救医学*, 1996, 8: 369-370.
- [15] Romero PV, Rodriguez B, de Oliveira D, et al. Volumetric capnography and chronic obstructive pulmonary disease staging. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, 2007, 2: 381-391.
- [16] Morley TF, Giaimo J, Maroszan E, et al. Use of capnography for assessment of the adequacy of alveolar ventilation during weaning from mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis*, 1993, 148: 339-344.
- [17] 陈宇清, 赵冰清, 周新. 呼气末二氧化碳分压监测在急性呼吸衰竭中的应用. *中华急诊医学杂志*, 2003, 12: 42-44.
- [18] Blanch L, Fernandez R, Artigas A. The effect of auto-positive end-expiratory pressure on the arterial-end-tidal carbon dioxide pressure gradient and expired carbon dioxide slope in critically ill patients during total ventilatory support. *J Crit Care*, 1991, 6: 202-210.
- [19] 江学成. 时间-呼气末 CO₂ 波在危重病人中临床应用解析. *临床麻醉学杂志*, 2010, 26: 637-640.
- [20] Bhavani-Shankar K, Philip JH. Defining segments and phases of a time capnogram. *Anesth Analg*, 2000, 91: 973-977.
- [21] Hogg K, Dawson D, Tabor T, et al. Respiratory dead space measurement in the investigation of pulmonary embolism in outpatients with pleuritic chest pain. *Chest*, 2005, 128: 2195-2202.
- [22] Saura P, Blanch L, Lucangelo U, et al. Use of capnography to detect hypercapnic episodes during weaning from mechanical ventilation. *Intensive Care Med*, 1996, 22: 374-381.
- [23] Rumpf TH, Krizmaric M, Grmec S. Capnometry in suspected pulmonary embolism with positive D-dimer in the field. *Crit Care*, 2009, 13: R196.
- [24] Kline JA, Hogg MM, Courtney DM, et al. D-Dimer and exhaled CO₂/O₂ to detect segmental pulmonary embolism in moderate-risk patients. *Am J Respir Crit Care Med*, 2010, 182: 669-675.
- [25] Kline JA, Hogg M. Measurement of expired carbon dioxide, oxygen and volume in conjunction with pretest probability estimation as a method to diagnose and exclude pulmonary venous thromboembolism. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2006, 26: 212-219.
- [26] Adams AB. Monitoring and management of the patient in the intensive care unit//Wilkins RL, Stoller JK, Kacmarek RM. *Egan's fundamentals of respiratory care*. 9th ed. Maryland Heights: Mosby, 2008: 1115-1152.
- [28] 杨生岳, 冯恩志, 索玉梅, 等. 高原慢性肺源性心脏病急性加重期呼吸衰竭潮气末二氧化碳分压监测价值的研究. *中华危重病急救医学*, 2000, 12: 53.

(收稿日期: 2013-04-07)

(本文编辑: 李银平)

·读者·作者·编者·

本刊常用的不需要标注中文的缩略语(一)

肌钙蛋白 T (troponin T, cTnT)

肌酐清除率 (creatinine clearance rate, CCr)

丙氨酸转氨酶 (alanine aminotransferase, ALT)

天冬氨酸转氨酶 (aspartate aminotransferase, AST)

总胆红素 (total bilirubin, TBil)

直接胆红素 (direct bilirubin, DBil)

间接胆红素 (indirect bilirubin, IBil)

N 末端 B 型钠尿肽前体

(N-terminal pro-B-type natriuretic peptide, NT-proBNP)

降钙素原 (procalcitonin, PCT)

人白细胞 DR 抗原 (human leukocyte antigen DR, HLA-DR)

辅助性 T 细胞 (helper T cell, Th)

调节性 T 细胞 (regulatory T cell, Treg)

脂多糖 (lipopolysaccharide, LPS)

盲肠结扎穿孔术 (cecal ligation and puncture, CLP)

支气管肺泡灌洗液 (bronchoalveolar lavage fluid, BALF)

磷酸盐缓冲液 (phosphate buffer, PBS)

呼气末正压 (positive end-expiratory pressure, PEEP)

体外膜肺氧合 (extra corporeal membrane oxygenation, ECMO)

乙二胺四乙酸 (ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA)

三羟甲基氨基甲烷-甘氨酸缓冲液 (Tris-Glycine)

3,3'-二氨基联苯胺 (3,3'-two amino benzidine, DAB)

异硫氰酸荧光素 (fluorescein isothiocyanate, FITC)

逆转录-聚合酶链反应

(reverse transcription-polymerase chain reaction, RT-PCR)

蛋白质免疫印迹试验 (Western blotting)

酶联免疫吸附试验

(enzyme linked immunosorbent assay, ELISA)

原位末端缺刻标记法

(TdT-mediated dUTP nick end labeling, TUNEL)

十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳

(twelve sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis, SDS-PAGE)

天冬氨酸特异性半胱氨酸蛋白酶

(cysteine-containing aspartate-specific proteases, caspase)

β-肌动蛋白 (beta actin, β-actin)

三磷酸甘油醛脱氢酶、

(glyceraldehyde three phosphate dehydrogenase, GAPDH)

世界卫生组织 (World Health Organization, WHO)

美国心脏病学会 (American Heart Association, ACC)

美国胸科医师协会

(American College of Chest Physicians, ACCP)

危重病医学会 (Society of Critical Care Medicine, SCCM)

欧洲危重病医学会

(European Society of Critical Care Medicine, ESICM)

美国胸科学会 (American Thoracic Society, ATS)

外科感染学会 (Surgical Infection Society, SIS)

美国心脏协会 (American Heart Association, AHA)

受试者工作特征曲线

(receiver operating characteristic curve, ROC)