

正常人在静态和最大运动状态下的肺泡-动脉氧分压差

王浩彦 徐秋芬 丁海菊 肖瑶 樊静 张玲 刘欣欣

【摘要】 目的 探讨正常成人静态及最大运动状态下的肺泡-动脉氧分压差($P_{(A-a)}O_2$)的变化,为临床研究提供参考。**方法** 受试者用功率自行车运动到最大运动量,同步实时测定摄氧量和二氧化碳排出量,以算得呼吸商,分别在运动前及运动高峰时抽取动脉血,根据公式算出 $P_{(A-a)}O_2$ 。**结果** 23名受试者均达到最大运动量,最大运动状态时的动脉血氧分压(PaO_2)明显高于运动前 PaO_2 ,分别为(110.26 ± 7.56) mm Hg和(96.69 ± 10.41) mm Hg,最大运动时的 $P_{(A-a)}O_2$ 较运动前有所增加,但无显著性差异,分别为(15.82 ± 6.59) mm Hg和(11.16 ± 7.55) mm Hg。**结论** 正常生理情况下,运动时由于肺泡氧分压(PaO_2)和 PaO_2 均比静态时明显增加, $P_{(A-a)}O_2$ 仅轻度增加。

【关键词】 肺泡-动脉氧分压差;运动

Normal values for alveolar-arterial PO_2 difference during exercise WANG Hao-yan, XU Qiu-fen, DING Hai-ju, XIAO Yao, FAN Jing, ZHANG Ling, LIU Xin-xin. Department of Respiratory Medicine, Beijing Friendship Hospital, the Capital University of Medical Science, Beijing 100029, China

【Abstract】 Objective To investigate the change of the alveolar-arterial PO_2 difference ($P_{(A-a)}O_2$) at rest and during exercise in health adults. **Methods** Cardiopulmonary exercise testing was performed in 23 health adults. Oxygen uptake and carbon dioxide output were measured continuously on the breath-by-breath mode. Arterial blood samples were drawn both at rest and maximal exercise. **Results** Twenty-three subjects were judged to be normal based on history, physical, pulmonary function, electrocardiogram during rest and exercise, blood gas. During exercise, the PaO_2 rose significantly from (110.26 ± 7.56) mm Hg to (96.69 ± 10.41) mm Hg. There was a little increase in $P_{(A-a)}O_2$ from rest (11.16 ± 7.55) mm Hg to maximal exercise (15.82 ± 6.59) mm Hg, but without significance. **Conclusions** At maximal exercise, the PaO_2 increased significantly, but the $P_{(A-a)}O_2$ increased a little with an average of 15 mm Hg.

【Key words】 Alveolar-arterial PO_2 difference; Exercise

通气/血流匹配是保证肺内气体交换的重要条件之一,而肺泡-动脉氧分压差($P_{(A-a)}O_2$)是反映通气/血流是否匹配的重要指标^[1],因此,临床上测定 $P_{(A-a)}O_2$ 可用来探讨低氧血症的原因。由于 $P_{(A-a)}O_2$ 是有创检查,因此有关正常人在最大运动状态下 $P_{(A-a)}O_2$ 变化的研究报道很少。Hansen等^[2]的实验是目前公认的比较全面的有关正常人运动通气反应的研究,但此研究存在的问题有:未包括女性、吸烟史不祥、有石棉接触史。基于这些不足,本研究测定了非吸烟、无职业粉尘接触史的正常成人在静态和最大运动状态下的 $P_{(A-a)}O_2$,以便为临床研究提供正常值参考。

1 对象与方法

1.1 对象 受试者共23例,其中男性10例,女性

13例,平均年龄为(54 ± 11.95)岁。均健康,无慢性心肺疾病、贫血、肌肉等疾病史,无吸烟史,无职业粉尘接触史,静态和动态心电图正常,静态肺通气功能正常,静态血气正常,并且签署知情同意书。

1.2 基础肺功能和血气测定

1.2.1 基础肺功能测定 包括用力肺活量(FVC)、1秒用力呼出量(FEV_1)、肺总量(TLC)、一氧化碳肺泡弥散量(D_LCO/VA)。TLC测定采用体积描记法, D_LCO 测定采用单次呼吸法。血气分别在运动前和最大运动状态下抽取桡动脉血,立即进行测定。

1.2.2 心肺运动功能测定 受试者坐在功率自行车上(Ergoline),接好面罩、呼出气采集管、心电图、袖带血压、红外血氧饱和度监测仪后,休息2 min,进行运动,采用症状自限性运动方案,运动至受试者最大耐受量^[3]。运动过程中,受试者的呼出气通过一根呼出气采集管连接至分析仪,通过 breath-by-breath 方式测定摄氧量(VO_2)和二氧化碳排出量(VCO_2)(Vmax 229, SensorMedics),并实时监测心

作者单位:100050 首都医科大学附属北京友谊医院呼吸科(王浩彦);100029 首都医科大学附属北京安贞医院呼吸科(徐秋芬、肖瑶、樊静、张玲、刘欣欣);102488 北京石景山医院(丁海菊)

电图和经皮血氧饱和度,每隔 2~3 min 测定一次血压,以保证运动安全。判断受试者是否达到最大运动量主要根据:①症状自限,即经最大努力也不能维持功率自行车在 50 转/分以上。②达到最大预计心率(220-年龄)的 80% 以上。

肺泡氧分压($P_{A}O_2$)和 $P_{(A-a)}O_2$ 通过以下公式计算^[4]:

$$P_{A}O_2 = P_{I}O_2 - (PaCO_2/R)[1-F_{I}O_2(1-R)]$$

$$P_{(A-a)}O_2 = P_{A}O_2 - PaO_2$$

其中 $P_{I}O_2$ 是吸入气氧分压, $F_{I}O_2$ 是吸入气氧浓度, $PaCO_2$ 是动脉血二氧化碳分压, R 是呼吸商 = VCO_2/VO_2 。

1.3 统计学分析 本组资料均为计量资料,分别对肺功能及运动前后的血气资料进行正态性检验,将符合正态分布的资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,并将运动前后的参数进行配对 t 检验,对不符合正态分布的资料进行对数转换,转换成正态分布再进行分析。取 $P < 0.05$ 作为差异有无显著性的检验标准。

2 结果

2.1 基础肺功能参数 23 例受试者中男性 10 例,

年龄(51.40±12.47)岁,女性 13 例,年龄(56.36±11.53)岁。经正态性检验,肺功能及血气参数均符合正态性分布。肺功能测定显示,男性 FEV₁、FVC、TLC 明显高于女性,但 FEV₁、FVC、TLC 占预计值%及 FEV₁/FVC 两组无显著性差异,男女的肺泡弥散量无显著性差异(见表 1)。

2.2 运动前后血气参数的变化 23 例受试者中 20 例运动最大心率达到预计最大心率的 80% 以上,3 例接近预计最大心率的 80%。因性别对血气没有影响,故将男女血气合并进行分析。结果显示:运动前后 pH 值分别为 7.422±0.013 和 7.385±0.028,运动高峰时的 pH 值明显低于运动前;运动高峰时的 HCO₃⁻ 为 23.292±2.156,明显低于运动前的 27.408±3.184;运动高峰的 PaO₂ 明显高于运动前 PaO₂,分别为 [(110.264±7.563) mm Hg 和 (96.691±10.409) mm Hg](见图 1);运动高峰时的 $P_{(A-a)}O_2$ 较运动前有所增加,分别为 [(15.82±6.594) mm Hg 和 (11.16±7.551) mm Hg](见图 2),经统计学分析,无显著性差异。运动前后的 PaCO₂ 无明显变化(见表 2)。

表 1 受试者的基础肺功能参数

例数	年龄	FEV ₁ (L)	FEV ₁ (%)	FVC (L)	FVC (%)	FEV ₁ /FVC (%)	TLC (L)	TLC (%)	D _L CO/VA(ml/ mmHg/min/L)	D _L CO/VA (%)
男性	10	51.40±12.47	2.943±0.279	104.75±4.425	3.905±0.204	109.50±7.724	75.25±4.500	5.683±0.554	89.25±8.421	4.318±0.529
女性	13	56.36±11.53	2.046±0.488	104.25±19.159	2.538±0.476	106.50±16.310	80.13±4.998	4.011±0.476	91.50±12.317	3.964±0.572
P 值		0.007	0.961	<0.001	0.739	0.132	<0.001	0.752	0.339	0.151

表 2 运动前后血气参数及比较

	pH	PaO ₂	PaCO ₂	HCO ₃ ⁻	$P_{(A-a)}O_2$
运动前	7.442±0.013	96.691±10.409	40.158±4.483	27.408±3.184	11.16±7.551
运动高峰	7.385±0.028	110.264±7.563	38.183±4.334	23.292±2.156	15.82±6.594
P 值	<0.001	0.009	0.199	0.001	0.147

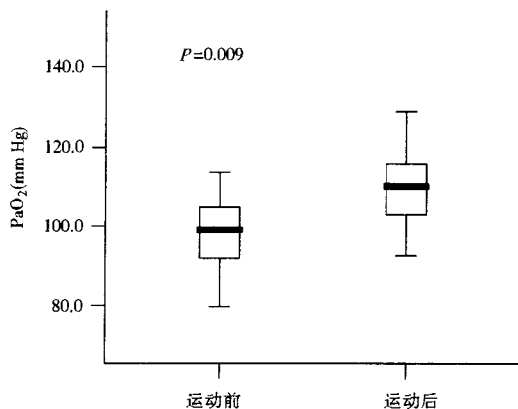


图 1 运动前及运动高峰时的 PaO₂

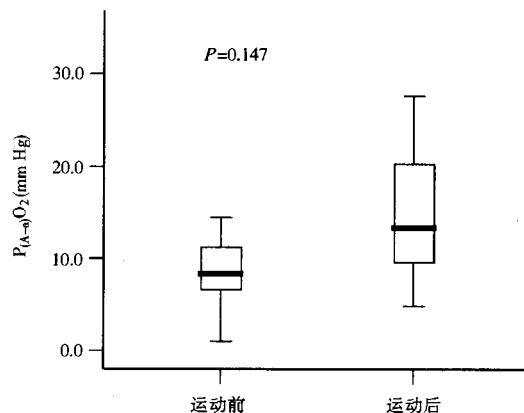


图 2 运动前及运动高峰时的 $P_{(A-a)}O_2$

3 讨论

$P_{(A-a)}O_2$ 是反映肺内气体交换的重要指标,也是鉴别低通气或其它原因导致缺氧的有效方法,运动状态下测定 $P_{(A-a)}O_2$ 更能早期发现肺部病变引起的功能改变。但由于是有创检查,故有关正常人在运动状态下的 $P_{(A-a)}O_2$ 的研究很少。本研究包括 23 例正常成人,他们无吸烟及其它慢性病史,静态及运动心电图正常,常规肺功能和静态血气均正常,其中男性 FEV_1/FVC 为 $(75.25 \pm 4.50)\%$,略降低。但在老年人,由于肺的弹性减弱,正常 FEV_1/FVC 可在 $65\% \sim 70\%$ 。通过对这 23 例正常受试者在静态和运动高峰状态下血气的测定观察,结果显示,运动高峰时虽然 PaO_2 明显增高,但 $P_{(A-a)}O_2$ 与运动前比较无显著性差异,最大 $P_{(A-a)}O_2$ 为 26 mm Hg, $PaCO_2$ 也无明显升高。

Hansen 等^[2]对正常人的研究显示,运动高峰时的 PaO_2 和 $P_{(A-a)}O_2$ 明显高于静态时的 PaO_2 和 $P_{(A-a)}O_2$,分别为 (100.6 ± 9.9) mm Hg vs (94.8 ± 10.5) mm Hg 和 (19.0 ± 8.8) mm Hg vs (12.8 ± 7.4) mm Hg,其中最大 $P_{(A-a)}O_2$ 为 35 mm Hg,发生于一名重度吸烟者。本研究显示运动高峰时的 PaO_2 明显增高,但 $P_{(A-a)}O_2$ 仅轻度增高,为 (15.82 ± 6.59) mm Hg,与运动前比较无显著性差异。由于吸烟是损害肺功能的危险因素,故 Hansen 的研究结果不排除有吸烟的因素。本组受试者运动时最大 $P_{(A-a)}O_2$ 为 27.7 mm Hg,其中有 2 例运动高峰时的 $P_{(A-a)}O_2$ 较运动前降低,提示运动使肺内通气/血流更匹配,其机制尚不清楚。一般认为,正常人运动时 $P_{(A-a)}O_2$ 增大的主要原因有:组织对氧的摄取增加,导致混合静脉血氧含量降低;红细胞流经肺循环的速度增快,导致气体交换时间缩短^[2]。在正常生理情况下,红细胞流经肺泡-毛细血管单位的时间是 0.75~1.2 s,如肺泡-毛细血管膜正常,则流经肺泡-毛细血管单位的混合静脉血的红细胞在 0.25 s 内就能充分与肺泡进行气体交换,在极量运动情况下,红细胞通过肺泡-毛细血管单位的平均是 0.25 s,因

此,正常情况下,不会造成 $P_{(A-a)}O_2$ 明显增加^[5]。如运动时, $P_{(A-a)}O_2$ 超过 35 mm Hg 则提示肺部气体交换异常^[6]。

本研究显示,运动高峰时血 pH 和 HCO_3^- 明显降低,提示运动量达到一定程度时,心脏的每搏输出量和心率达到极限,此时肌肉细胞就动用葡萄糖的无氧酵解来补充有氧代谢提供的能量,无氧酵解产生的乳酸使血 pH 和 HCO_3^- 明显降低,但由于机体有完善的酸碱缓冲系统和肺通气的调节,使得 pH 在运动中仍保持在正常范围。

运动时,肌肉组织对能量需求增加,对糖和脂肪代谢产生的 CO_2 明显增加,但本研究显示运动高峰的 $PaCO_2$ 较运动前轻度下降,这主要是由于体内 CO_2 增加兴奋呼吸中枢的化学感受器,引起肺通气量增加,排出过多的 CO_2 以维持体内内环境的稳定。

研究正常运动生理是研究病理生理的基础。本研究观察了 23 名正常成人在静态和最大运动状态下血气的变化,为进一步研究肺的病理生理提供参考。由于是有创检查,并且每个受试者分别需抽取 2 次血气,所以受试者数量受到一定限制,这是本实验的不足之处。

参 考 文 献

- 1 West JB. Pulmonary pathophysiology. Baltimore: the Williams & Wilkins Company, 1977. 32-33.
- 2 Hansen JE, Sue DY, Wasserman K. Predicted values for clinical exercise testing. Am Rev Respir Dis, 1984, 129: S49-S55.
- 3 王浩彦,柯以恕,刘云芝,等.健康成人最大运动负荷下的摄氧量和心率的测定. 心肺血管病杂志, 1997, 16: 196-199.
- 4 Hughes JMB, Pride NB. Lung function tests: physiological principles and clinical applications. London: W. B. Saunders, 1999. 84-85.
- 5 Levitzky MG. Pulmonary physiology. New York: McGraw-Hill Book Company, 1982. 122-127.
- 6 ATS/ACCP. ATS/ACCP statement on cardiopulmonary exercise testing, 2003, 167: 211-277.

(收稿日期:2006-10-12)