

doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2020.07.014

View this article at: <http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.2095-6959.2020.07.014>

肺栓塞患者的摄氧效率与运动耐力的相关性

陈淑娟¹, 刘锦铭², 孙兴国³

[1. 苏州大学附属常州市肿瘤医院(常州市第四人民医院)呼吸科, 江苏 常州 213000;

2. 同济大学附属上海市肺科医院肺循环科, 上海 200434;

3. 中国医学科学院/北京协和医院/国家心血管病中心/阜外心血管病医院/

心血管疾病重点实验室, 北京 100037]

[摘要] 目的: 通过心肺运动试验(cardiopulmonary exercise testing, CPET)研究恢复初期肺血栓栓塞症(pulmonary thromboembolism, PE)患者的摄氧效率(oxygen uptake efficiency, OUE)与运动耐力的相关性。方法: 对42例恢复初期的肺栓塞患者(PE组)和42例同年龄段健康志愿者(对照组)进行CPET和常规肺功能检测(pulmonary function test, PFT), 并测定相关的功能学指标。结果: CPET测定结果显示PE组的用力肺活量占预计值百分比(forced vital capacity as a percentage of predicted value, FVC%pred)、1秒钟用力呼气容积占预计值百分比(forced expiratory volume in 1 second as a percentage of predicted value, FEV1%pred)、一氧化碳弥散量占预计值百分比(diffusion capacity for carbon monoxide as a percentage of predicted value, DLco%pred)及肺总量占预计值百分比(total lung capacity as a percentage of predicted value, TLC%pred)均显著低于对照组[(81.03±19.82)% vs (102.36±11.14)%, (78.91±21.18)% vs (98.62±11.24)%, (83.58±21.80)% vs (108.92±23.58)%及(91.01±18.12)% vs (103.27±7.82)%, 均 $P<0.05$]。PE组的峰值摄氧量(peak oxygen uptake, peakVO₂)、摄氧效率斜率(oxygen uptake efficiency slope, OUES)、摄氧效率平台(oxygen uptake efficiency plateau, OUEP)和无氧阈摄氧效率(oxygen uptake efficiency at the anaerobic threshold, OUE@AT)均显著低于健康对照组[(1 077.33±107.32) mL/min vs (1637.55±61.39) mL/min, (1.43±0.47) vs (2.03±0.44) (L/min)/lg(L/min), (30.25±5.21) mL/L vs (35.04±4.11) mL/L, (29.27±5.74) mL/L vs (34.01±4.18) mL/L, 均 $P<0.01$]。PE组的OUES, OUEP和OUE@AT与peakVO₂均呈正相关($r=0.789$, $r=0.676$, $r=0.655$; 均 $P<0.001$)。结论: 恢复期PE患者的OUE显著低于健康正常人, 且与运动耐力呈显著相关。

[关键词] 肺栓塞; 心肺运动试验; 摄氧效率

收稿日期 (Date of reception): 2020-01-13

通信作者 (Corresponding author): 陈淑娟, Email: 592467296@qq.com

基金项目 (Foundation item): 上海市科委临床医学科技创新重点项目 (11411951302)。This work was support by the Major Project of Clinical Medicine Initiation of Science and Technology of Shanghai Municipal Science and Technology Commission, China (11411951302).

Correlation between oxygen uptake efficiency and exercise capacity in pulmonary thromboembolism patients

CHEN Shujuan¹, LIU Jinming², SUN Xingguo³

(1. Department of Respiratory Medicine, Changzhou Cancer Hospital of Soochow University/Changzhou Fourth People's Hospital, Changzhou Jiangsu 213000; 2. Department of Pulmonary Circulation, Shanghai Pulmonary Hospital, Tongji University School of Medicine, Shanghai 200434; 3. State Key Laboratory of Cardiovascular Disease, Fuwai Hospital/National Center for Cardiovascular Diseases/Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100037, China)

Abstract **Objective:** To explore the characteristics of oxygen uptake efficiency (OUE) in patients with pulmonary thromboembolism (PE) and analyze the correlation between OUE and exercise capacity. **Methods:** The relative indexes of 42 PE cases at the initial recovery stage (PE group) and 42 healthy individuals (control group) were tested using the ramp power ascending cardiopulmonary exercise testing (CPET) and pulmonary function test (PFT). **Results:** Compared with health control, the PE patients had lower the forced vital capacity as a percentage of predicted value (FVC%pred), forced expiratory volume in 1 second as a percentage of predicted value (FEV1%pred), diffusion capacity for carbon monoxide as a percentage of predicted value (DLco%pred) and total lung capacity as a percentage of predicted value (TLC%pred) [(81.03±19.82)% vs (102.36±11.14)%, (78.91±21.18)% vs (98.62±11.24)%, (83.58±21.80)% vs (108.92±23.58)%, and (91.01±18.12)% vs (103.27±7.82)%], all $P<0.05$. The parameters of CPET in PE group, such as peak oxygen uptake (peakVO₂), oxygen uptake efficiency slope (OUES), oxygen uptake efficiency plateau (OUEP) and OUE at the anaerobic threshold (OUE@AT) [(1 077.33±107.32) mL/min vs (1637.55±61.39) mL/min, (1.43 ±0.47) vs (2.03±0.44) (L/min)/lg(L/min), (30.25±5.21) mL/L vs (35.04±4.11) mL/L, (29.27±5.74) mL/L vs (34.01±4.18) mL/L, all $P<0.01$] were lower than those of the control group. And OUES, OUEP and OUE@AT were correlated positively with peakVO₂ in PE patients ($r=0.789$, $r=0.676$, $r=0.655$, all $P<0.001$). **Conclusion:** The OUE significantly declines in PE patients compared with normal subjects and it is correlated positively with exercise capacity.

Keywords pulmonary thromboembolism; cardiopulmonary exercise testing; oxygen uptake efficiency

肺血栓栓塞症(pulmonary thromboembolism, PE)是来自静脉系统或右心的血栓阻塞肺动脉或其分支所致的以肺循环和呼吸功能障碍为其主要临床和病理生理特征的疾病^[1-3]。栓子阻塞肺动脉及其分支达到一定程度后,通过机械阻塞作用,加之神经体液因素和低氧所引起的肺动脉收缩,导致肺血管阻力增加,肺动脉压力升高,右心功能负荷增加,可引起右心功能不全,甚至造成心肌缺血、心力衰竭。即使经过积极的治疗,PE患者仍存在不同程度的心肺功能损害^[4],临床可表现为普遍的运动耐力下降。近年来,摄氧效率(oxygen uptake efficiency, OUE)在评估慢性心衰、冠心病、肺动脉高压等心肺疾病的病情和预后等方面受到了广泛关注,国内外多项研究^[5-7]结果表明:摄氧效率斜率(oxygen uptake efficiency

slope, OUES)是评估受试者心肺储备功能的客观指标,且不受个人的主观因素影响。摄氧效率平台(oxygen uptake efficiency plateau, OUEP)与心力衰竭的疾病严重程度和预后等有较强的相关性^[8-9]。目前对于PE患者的OUE鲜有研究。本研究旨在探讨PE患者次级量运动参数——OUE与峰值摄氧量(peak oxygen uptake, peakVO₂)的相关性,更加全面评估PE患者的运动耐力,进而为临床疗效及预后提供参考依据。

1 对象与方法

1.1 对象

纳入从2013年8月至2019年6月在常州市第四人民医院呼吸科住院的急性PE患者42例,其中男

32例, 女10例, 年龄(55.11 ± 7.61)岁。入选标准: 1) 所有PE患者的诊断及治疗均符合美国胸内科医师学会(American College of Chest Physicians, ACCP)^[10]制定的标准; 2) 临床类型为次大面积PE中危组, Wells评分 ≥ 2 ^[11], Geneva评分为2~5; 3) 标准抗凝治疗时间 >2 周, 且患者能够进行日常活动, 临床症状明显缓解; 4) 经抗凝治疗后CT肺动脉造影(CT pulmonary angiography, CTPA)直接征象或间接征象较前明显改善, 病情评估处于低危^[12]; 5) 下肢静脉加压超声提示无可疑栓子, 常规肺功能检测(pulmonary function test, PFT)基本正常。排除标准: 1) 临床类型为大面积或非大面积的PE, 次大面积PE者抗凝时间超过1个月; 2) 排除不能配合或影响心肺运动试验(cardiopulmonary exercise testing, CPET)结果分析的合并其他心肺疾病、神经-骨骼肌肉疾病、严重的代谢性疾病和精神性疾病的患者。另设42名年龄、性别匹配的健康志愿者作为对照组, 男30例, 12例, 年龄(57.72 ± 6.42)岁。本研究经常州市第四人民医院临床医学伦理委员会批准, 所有受试者入组前均告知其所参与的研究项目内容及所涉及的风险与受益, 并均签署运动心肺功能检查知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 一般资料收集

登记试验者的性别、年龄、身高、体重, 计算体重指数(BMI)。

1.2.2 PFT

采用意大利科迈公司Quark PFT3肺功能仪, 由专业技师依据美国胸科协会/欧洲呼吸协会(ATS/ERS)指南中的测试方法进行测定。PFT测定参数: 用力肺活量(forced vital capacity, FVC)、第1秒用力呼气容积(forced expiratory volume in 1 second, FEV₁)、1秒钟用力呼气容积与用力肺活量的比值(FEV₁/FVC)、一氧化碳弥散量(diffusion capacity for carbon monoxide, DLco)、残气(residual volume, RV)、肺总量(total lung capacity, TLC)以及各指标占预计值的百分比。PFT各参数占预计值的百分比用%pred表示。

1.2.3 CPET

采用Mastercreen-CPX心肺运动仪(Jaeger Corp, Hoechberg, Germany)及SBx/CPX气体分析盒(Jaeger Corp, Hoechberg, Germany)。首先将流量传感器及气体分析器定标, 然后根据试验者

的基本情况选择相应的递增负荷(10~25 W/min)进行测试, 测试中用12导联心电图持续动态监测, 自动袖带血压计每2 min测量1次血压及SPO₂动态监测。本试验通过实时呼吸(breath-by-breath)法自动完成采样和计算, 最短间隔为10 s^[13-14]。主要指标: 摄氧量(oxygen uptake, VO₂)、二氧化碳排出量(carbon dioxide output, VCO₂)、分钟通气量(minute ventilation, VE)、无氧阈(anaerobic threshold, AT)等。AT通过V-slope法确定^[15]。peakVO₂是峰值运动时连续30 s摄氧量的最大平均值。OUES是负荷递增运动过程中peakVO₂和VE的关系, 计算公式: $VO_2 = a \times \log_{10} VE$, 其中“a”即是OUES。OUEP代表OUE达到最大值时出现的平台, 取连续90 s的VO₂/VE最大平均值^[8]。无氧阈摄氧效率(oxygen uptake efficiency at the anaerobic threshold, OUE@AT)是指AT时刻前1 min内的VO₂/VE平均值。本研究中所有CPET预计值公式均参照之前的相关研究^[7,14,16]。

1.3 统计学处理

用SPSS 19.0统计软件包进行分析, 计量资料用均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 两组比较用t检验; 两组计数资料比较用 χ^2 检验, 两因素之间的相关性用Pearson相关分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 PE组与对照组人口学、肺功能测试结果比较

两组间年龄、性别、BMI差异均无统计学意义($P > 0.05$, 表1), PE组FVC%pred, FEV₁%pred, DLco%pred, TLC%pred与对照组相比显著降低($P < 0.05$), 差异有统计学意义。

2.2 CPET测试结果比较

与对照组相比PE组peakVO₂, OUEP, OUES及OUE@AT均明显低于对照组, 差异具有统计学意义($P < 0.01$, 表2)。

2.3 OUE各参数与运动耐力及肺功能指标的之间相关性

PE患者的OUES, OUEP, OUE@AT与FVC, FEV₁, FEV₁/FVC($P > 0.05$)无显著相关性, 与DLco有一定的相关性($P < 0.05$), 与peakVO₂呈显著正相关($r = 0.789$, $r = 0.676$, $r = 0.655$, 均 $P < 0.001$; 图1~3)。

表1 PE组与对照组的人口学特征和肺功能检测结果($n=42$)Table 1 The demographics and pulmonary function test parameters of the PE group and the control group ($n=42$)

| 组别 | 性别 (男/女)/例 | 年龄/岁 | 体重/kg | 身高/cm | BMI/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) | FVC%pred |
|----------|-------------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|
| PE组 | 32/10 | 55.11 \pm 7.61 | 67.67 \pm 10.47 | 167.22 \pm 9.27 | 24.21 \pm 3.37 | 81.03 \pm 19.82 |
| 对照组 | 30/12 | 57.72 \pm 6.42 | 64.88 \pm 8.60 | 164.52 \pm 6.55 | 23.92 \pm 2.46 | 102.36 \pm 11.14 |
| <i>P</i> | 0.873 | 0.402 | 0.344 | 0.269 | 0.747 | <0.001 |
| 组别 | FEV1%pred | FEV1/ FVC/% | DLco%pred | RV%pred | TLC%pred | RV/TLC/% |
| PE组 | 78.91 \pm 21.18 | 78.81 \pm 7.69 | 83.58 \pm 21.80 | 107.51 \pm 23.79 | 91.01 \pm 18.12 | 42.19 \pm 8.99 |
| 对照组 | 98.62 \pm 11.24 | 77.79 \pm 4.57 | 108.92 \pm 23.58 | 109.82 \pm 10.17 | 103.27 \pm 7.82 | 38.86 \pm 5.07 |
| <i>P</i> | <0.001 | 0.547 | 0.006 | 0.730 | 0.031 | 0.215 |

表2 PE组与对照组的心肺运动测试结果($n=42$)Table 2 The results of cardiopulmonary exercise test between patients with PE and controls ($n=42$)

| 组别 | peakVO ₂ /% | peakVO ₂ /kg | AT/% | OUES | |
|----------|--|-------------------------|---------------------------------------|------------------|-------------------|
| PE组 | 1 077.33 \pm 107.32 (61.17 \pm 7.59) | 16.64 \pm 1.54 | 721.87 \pm 54.37 (52.81 \pm 7.27) | 1.43 \pm 0.47 | |
| 对照组 | 1637.55 \pm 61.39 (99.84 \pm 6.40) | 24.50 \pm 0.67 | 985.03 \pm 38.19 (90.56 \pm 4.05) | 2.03 \pm 0.44 | |
| <i>P</i> | <0.001 | <0.001 | 0.001 | <0.001 | |
| 组别 | OUES%pred | OUEP | OUEP%pred | OUE@AT | OUE@AT%pred |
| PE组 | 93.58 \pm 54.14 | 30.25 \pm 5.21 | 82.59 \pm 15.72 | 29.27 \pm 5.74 | 78.82 \pm 16.24 |
| 对照组 | 140.78 \pm 53.56 | 35.04 \pm 4.11 | 98.20 \pm 12.48 | 34.01 \pm 4.18 | 92.60 \pm 20.55 |
| <i>P</i> | 0.007 | 0.001 | 0.001 | 0.003 | 0.036 |

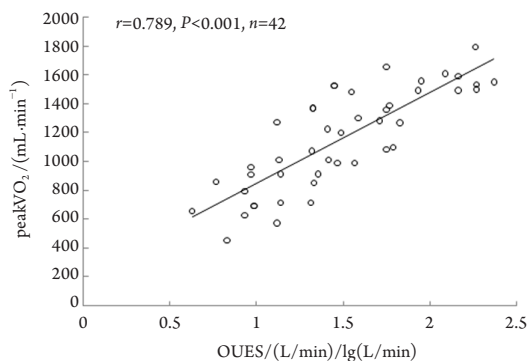
图1 肺栓塞组OUES与peakVO₂的相关性

Figure 1 Relationships of OUES versus peakVO₂ in all patients with PE

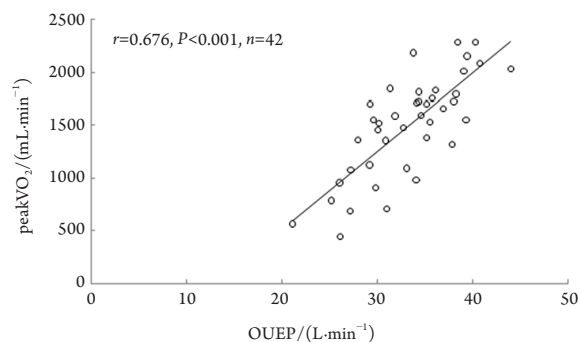
图2 肺栓塞组OUEP与peakVO₂的相关性

Figure 2 Relationships of OUEP versus peakVO₂ in all patients with PE

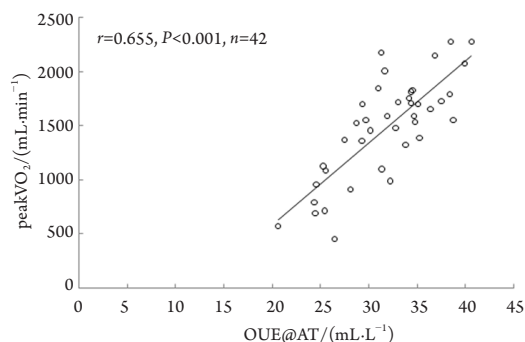


图3 肺栓塞组OUE@AT与peakVO₂的相关性

Figure 3 Relationships of OUES versus peakVO₂ in all patients with PE

3 讨论

CPET是综合心与肺及其调控, 以及肌群代谢在人体内的相互联系, 特别强调心肺代谢功能客观定量的一体化联合测定, 是目前唯一能够一次试验全面评估人体整体多系统功能的临床检测技术^[17-18]。CPET是一种无创伤、客观、定量、连续、可重复多次的临床检测方法, 主要用于对心血管疾病(如心力衰竭、冠心病、心脏康复、移植和运动处方等)和呼吸系统疾病(如慢性阻塞性肺疾病、间质性肺疾病、肺血管疾病、囊肿性纤维化、运动诱发的支气管痉挛和呼吸病康复等)患者的心肺功能评估, 以及一些特殊的临床应用, 如术前风险评估、运动康复和运动处方等。目前CPET在肺血管疾病尤其是肺动脉高压的早期诊断、预后及治疗效果的评估方面研究^[7,19-20]颇多, 我们前期对肺动脉高压患者的研究^[21-22]发现: OUE与peakVO₂呈显著正相关, 次极量运动下的OUE可作为评价肺动脉高压患者运动耐力的重要临床参考指标, 但是对于恢复期肺栓塞患者的研究国内外鲜有报道。

运动中VO₂反映了呼吸循环系统对同一运动的应激反应, CPET测定的peakVO₂代表了最大有氧代谢和心肺储备能力, 是评价运动耐力的金标准^[7,23]。peakVO₂是在极量运动下测得的, 但是在实际操作中真正的极量运动很难达到, 而且peakVO₂还会受到主观因素、骨骼肌的代谢、肺功能及血液中血红蛋白水平等因素的影响, 从而降低了对病情程度的真实评价。近年来, 评价OUE的次级量运动参数受到了广泛的关注, 其中最经典的就是OUES。OUES最早是由Baba等^[24]采用对数曲线拟合的方法, 对递增负荷运动试验中VO₂与VE之间的

关系进行分析得出了一个新的亚极量运动指标, 此研究^[24]表明: OUES是能够评价心肺功能的一个可靠的、客观的、可重复性的、亚极量运动试验的指标, 且该研究^[24]结果得到了多项研究^[5-7]的证实, 并广泛应用于急慢性心力衰竭及其他心血管疾病的预后评估中。随后Sun等^[8-9]又研究发现了OUEP和OUE@AT参数, 对OUES, OUEP和OUE@AT三者进行了相关性分析, 发现OUEP亦是一个稳定性、重复性较好的亚极量指标, 对于心力衰竭患者的心肺功能受损程度及预后评估具有更高的价值。受试者的OUE数值越大, 表明在一定通气量条件下有效摄取氧的能力越好, 同时也反映出受试者的心肺功能状态, 对其运动耐力也可以作出相应的评估。

在本研究中, PE患者的OUES, OUEP和OUE@AT较正常人明显降低, OUE的变化主要受以下2个因素的影响: 1)乳酸代谢, 机体内的乳酸与骨骼肌的功能有关, 骨骼肌血液的分布、摄取氧的能力及氧的利用均影响了乳酸的代谢; 2)通气/血流比值(V/Q), 过度充气或循环血流减少都会影响机体的摄氧情况^[25-26]。对于PE患者而言, 急性期需要绝对卧床, 恢复初期骨骼肌的代谢能力与发病前相比明显降低, 造成了乳酸的堆积, 从而影响了机体的摄氧能力。另外, PE的患者的OUE明显下降, 可能与疾病发病机制有关。首先PE部分的肺血管被阻塞, 肺血管床面积减少, 使肺弥散面积降低, 肺泡毛细血管膜增厚, 弥散距离增加, 进而影响了氧气的吸收。其次, PE经过治疗后, 部分栓子未完全溶解, 栓塞部分形成死腔样通气, 使肺泡不能有效地进行气体交换。阻塞血管血量转流到未阻塞的肺血管, 引起肺内分流, 导致V/Q严重失调, 从而进一步影响患者气体交换。我们认为, 上述机制可能是PE患者OUE降低的潜在原因, 然而运动刺激放大了上述机制对OUE的影响。

OUE是一个次极量运动指标, 在对心力衰竭患者的研究^[27]发现, 无论患者是否达到运动峰值, OUE之间的差异并无统计学意义。且本研究中肺栓塞患者的OUES, OUEP和OUE@AT与peakVO₂具有明显的正相关, 提示对于恢复期PE患者, 次极量运动下所得出的OUE可以对患者运动耐力做出有效的评估, 同时也可避免极量运动可能引起的意外事件发生。我们还发现OUES, OUEP和OUE@AT与DLco具有很好的相关性, 如上所述, 肺栓塞患者的特殊病理生理变化使得弥散功能严重下降, 影响了肺泡内的气体交换, 从

而导致机体的OUE降低。因此, OUE可作为评估PE患者运动耐力的良好指标。在OUES, OUEP和OUE@AT三个指标中, OUES具有更好的稳定性^[5]。我们前期对肺动脉高压的研究^[22]中也证明了这一点, 在实际条件受限而无法进行极限运动、努力程度不够或医师过早中止试验等情况下, 用OUES代替peakVO₂评估患者的心肺储备及运动耐力可能更恰当、全面和实用, 突出了其在临床应用中的潜在价值, 但是在恢复期PE患者中的OUES的应用价值需要进一步研究。

综上所述, 恢复期PE患者的OUE明显降低, OUES, OUEP和OUE@AT不需要极量运动就可以获得, 且与peakVO₂, DLco呈显著正相关, 提示OUE可能是评估恢复期肺PE患者运动耐力的重要临床参考指标。

参考文献

- 程显声. 进一步提高肺动脉栓塞诊断与处理水平[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2000, 23(9): 517.
CHEN Xiasheng. Further improve the diagnosis and management of pulmonary embolism[J]. Chinese Journal of Tuberculosis and Respiratory Diseases, 2000, 23(9): 517.
- British Thoracic Society Standards of Care Committee Pulmonary Embolism Guideline Development Group. British Thoracic Society guideline for the management of suspected acute pulmonary embolism[J]. Thorax, 2003, 58: 470-483.
- 中华医学会呼吸病学分会. 肺血栓栓塞症诊治与预防指南[J]. 中华医学杂志, 2018, 98(14): 1060-1087.
Chinese Medical Association Respiratory Branch. Guidelines for the diagnosis, treatment and prevention of pulmonary thromboembolism[J]. National Medical Journal of China, 2018, 98(14): 1060-1087.
- 中华医学会心血管病学分会. 急性肺栓塞诊断与治疗中国专家共识(2015)[J]. 中华心血管杂志, 2016, 44(3): 197-211.
Chinese Medical Association Cardiovascular Branch. Chinese expert consensus on the diagnosis and treatment of acute pulmonary embolism (2015)[J]. Chinese Journal of Cardiology, 2016, 44(3): 197-211.
- Arena R, Brubaker P, Moore B, et al. The oxygen uptake efficiency slope is reduced in older patients with heart failure and a normal ejection fraction[J]. Int J Cardiol, 2010, 144(1): 101-102.
- Baba R, Tsuyuki K, Yano H, et al. Robustness of the oxygen uptake efficiency slope to exercise intensity in patients with coronary artery disease[J]. Nagoya J Med Sci, 2010, 72(1/2): 83-89.
- Sun XG, Hansen JE, Oudiz RJ, et al. Exercise pathophysiology in patients with primary pulmonary hypertension[J]. Circulation, 2001, 104: 429-435.
- Sun XG, Hansen JE, Stringer WW. Oxygen uptake efficiency plateau: physiology and reference values[J]. Eur J Appl Physiol, 2012, 112(3): 919-928.
- Sun XG, Hansen JE, Stringer WW. Oxygen uptake efficiency plateau best predicts early death in heart failure[J]. Chest, 2012, 141(5): 1284-1294.
- Guyatt GH, Akl EA, Crowther M, et al. Executive summary: antithrombotic therapy and prevention of thrombosis, 9th Ed: American College of Chest Physicians Evidence-Based Clinical Practice Guidelines[J]. Chest, 2012, 141: 7S-47S.
- Wells PS, Anderson DR, Rodger M, et al. Evaluation of D-dimer in the diagnosis of suspected deep-vein thrombosis[J]. N Engl J Med, 2003, 349: 1227-1235.
- Stein PD, Fowler SE, Goodman LR, et al. Multidetector computed tomography for acute pulmonary embolism[J]. N Engl J Med, 2006, 354: 2317-2327.
- Sun XG, Hansen JE, Beshai J, et al. Oscillatory breathing and exercise gas exchange abnormalities prognosticate early mortality and morbidity in heart failure[J]. J Am Coll Cardiol, 2010, 55: 1814-1823.
- Sun XG, Hansen JE, Garatachea N, et al. Ventilatory efficiency during exercise in healthy subjects[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2002, 166: 1443-1448.
- Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting the anaerobic threshold by gas exchange[J]. J Appl Physiol, 1986, 60: 2020-2027.
- Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, et al. Principles of the exercise testing and interpretation[M]. 4th Ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2011.
- 孙兴国. 整体整合生理学医学新理论体系: 人体功能一体化自主调控[J]. 中国循环杂志, 2013, 28: 88-92.
SUN Xingguo. Holistic integration of a new theoretical system of physiology and medicine: integrated autonomous regulation of human body functions[J]. Chinese Circulation Journal, 2013, 28: 88-92.
- 谭晓越, 孙兴国. 从心肺运动的应用价值看医学整体整合的需求[J]. 医学与哲学, 2013, 4(5): 28-31.
TAN Xiaoyue, SUN Xingguo. From the application value of cardiopulmonary exercise to see the needs of overall medical integration[J]. Medicine and Philosophy, 2013, 34(5): 28-31.
- 谭晓越, 杨文兰, 郭建, 等. 摄氧效率降低在诊断特发性肺动脉高压气体交换异常时的作用[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2015, 38(4): 278.
TAN Xiaoyue, YANG Wenlan, GUO Jian, et al. Usefulness of decrease in oxygen uptake efficiency to identify gas exchange abnormality in

- patients with idiopathic pulmonary arterial hypertension[J]. Chinese Journal of Tuberculosis and Respiratory Diseases, 2015, 38(4): 278.
20. Guo J, Shi X, Yang W, et al. Exercise physiology and pulmonary hemodynamic abnormality in PH patients with exercise induced venous-to-systemic shunt[J]. PLoS One, 2015, 10(4): e0121690.
 21. 刘辉, 刘锦铭, 郭建, 等. 摄氧效率与肺动脉高压患者的运动耐力的相关性[J]. 中华医学杂志, 2015, 95(6): 420-424.
LIU Hui, LIU Jinming, GUO Jian, et al. Correlation between oxygen uptake efficiency and exercise tolerance in patients with pulmonary hypertension[J]. National Medical Journal of China, 2015, 95(6): 420-424.
 22. 史小芳, 刘锦铭, 郭建, 等. 肺动脉高压患者次极量运动参数与峰值摄氧量的相关性[J]. 中华医学杂志, 2014, (32): 2490-2494.
SHI Xiaofang, LIU Jinming, GUO Jian, et al. Correlation between submaximal exercise measurements and peak oxygen uptake in patients with pulmonary arterial hypertension[J]. National Medical Journal of China, 2014, (32): 2490-2494.
 23. Yasunobu Y, Oudiz RJ, Sun XG, et al. End-tidal PCO₂ abnormality and exercise limitation in patients with primary pulmonary hypertension[J]. Chest, 2005, 127(5): 1637-1646.
 24. Baba R, Nagashima M, Goto M, et al. Oxygen uptake efficiency slope: a new index of cardiorespiratory functional reserve derived from the relation between oxygen uptake and minute ventilation during incremental exercise[J]. J Am Coll Cardiol, 1996, 28(6): 1567-1572.
 25. Iwase T, Nagaya N, Ando M, et al. Acute and chronic effects of surgical thromboendarterectomy on exercise capacity and ventilatory efficiency in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension[J]. Heart, 2001, 86(2): 188-192.
 26. Topilsky Y, Hayes CL, Khanna AD, et al. Cardiopulmonary exercise test in patients with subacute pulmonary emboli[J]. Heart Lung, 2012, 41(2): 125-136.
 27. Davies LC, Wensel R, Georgiadou P, et al. Enhanced prognostic value from cardiopulmonary exercise testing in chronic heart failure by non-linear analysis: oxygen uptake efficiency slope[J]. Eur Heart J, 2006, 27(6): 684-690.

本文引用: 陈淑娟, 刘锦铭, 孙兴国. 肺栓塞患者的摄氧效率与运动耐力的相关性[J]. 临床与病理杂志, 2020, 40(7): 1713-1719. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2020.07.014

Cite this article as: CHEN Shujuan, LIU Jinming, SUN Xingguo. Correlation between oxygen uptake efficiency and exercise capacity in pulmonary thromboembolism patients[J]. Journal of Clinical and Pathological Research, 2020, 40(7): 1713-1719. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2020.07.014