

心肺运动试验评估慢性血栓栓塞性肺动脉高压患者心肺功能的临床观察研究

王 勇^{1*}, 张亚光²

【摘要】 目的 探讨心肺运动试验在慢性血栓栓塞性肺动脉高压 (CTEPH) 患者心肺功能评估中的应用价值。**方法** 选取 2009 年 1 月—2013 年 10 月河南省人民医院收治的慢性血栓栓塞性疾病患者 72 例, 根据是否引起肺动脉高压分为 CTEPH 组 45 例, 慢性血栓栓塞症 (CPE) 组 27 例, 并选取同期 52 例心肺功能正常的人群作为对照组。3 组均进行心肺运动试验, 分析 3 组患者间心肺功能指标的差别以及氨基末端脑钠肽前体 (NT-proBNP) 与心肺功能指标的相关性。**结果** CTEPH 组 NT-proBNP 水平为 $(1\,564 \pm 1\,031)$ pmol/L, 高于 CPE 组和对照组的 (595 ± 159) pmol/L 和 (605 ± 167) pmol/L ($P < 0.05$)。3 组潮气末氧分压 ($P_{et}O_2$)、潮气末二氧化碳分压 ($P_{et}CO_2$)、峰值耗氧量 (VO_{2max})、 VO_{2max} 与体质量的比值 (VO_2/kg)、氧脉搏、无氧阈、氧通气当量 (VE/VO_2)、二氧化碳通气当量 (VE/VCO_2)、呼吸无效腔/潮气量比值 (VD/VT)、 VE/VCO_2 斜率比较, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); 其中 CPE 组 $P_{et}CO_2$ 、 VO_2/kg 低于对照组, VE/VO_2 、 VE/VCO_2 、 VD/VT 、 VE/VCO_2 斜率高于对照组; CTEPH 组 $P_{et}CO_2$ 、 VO_{2max} 、 VO_2/kg 、氧脉搏、无氧阈低于对照组和 CPE 组, VE/VO_2 、 VD/VT 、 VE/VCO_2 斜率高于对照组和 CPE 组, $P_{et}O_2$ 、 VE/VCO_2 高于对照组 ($P < 0.05$)。多元线性回归分析结果显示, VO_2/kg ($\beta = -0.213$, $t = -4.436$, $P < 0.001$) 和右心室前后径 (RV) ($\beta = 0.561$, $t = 4.209$, $P < 0.001$) 是影响 NT-proBNP 水平的独立影响因素。**结论** 心肺运动试验可以客观定量地评价 CTEPH 患者的心肺功能。

【关键词】 肺栓塞; 高血压, 肺性; 心肺运动试验

【中图分类号】 R 563.5 **【文献标识码】** A DOI: 10.3969/j.issn.1007-9572.2017.17.005

王勇, 张亚光. 心肺运动试验评估慢性血栓栓塞性肺动脉高压患者心肺功能的临床观察研究 [J]. 中国全科医学, 2017, 20 (17): 2064-2068. [www.chinagp.net]

WANG Y, ZHANG Y G. Clinical observation of cardiopulmonary exercise testing in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. Chinese General Practice, 2017, 20 (17): 2064-2068.

Clinical Observation of Cardiopulmonary Exercise Testing in Patients with Chronic Thromboembolic Pulmonary Hypertension WANG Yong^{1*}, ZHANG Ya-guang²

1. Department of Hypertension, the People's Hospital of Henan, Zhengzhou 450003, China

2. Henan Medical College, Zhengzhou 451191, China

* Corresponding author: WANG Yong, Associate chief physician; E-mail: wangyong_8888@126.com

【Abstract】 Objective To evaluate the application value of cardiopulmonary exercise testing in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension (CTEPH). **Methods** From January 2009 to October 2013, a total of 72 cases with chronic thromboembolic disease admitted in the People's Hospital of Henan were enrolled. According to whether it caused pulmonary hypertension, the patients were divided into 2 groups: CTEPH group of 45 cases and chronic thrombosis (CPE) group of 27 cases. And 52 patients with normal cardiopulmonary function in the same period were selected as the control group. All the 3 groups underwent cardiopulmonary exercise testing. The differences of cardiopulmonary function parameters among the three groups were compared and the correlation between the amino-terminal brain natriuretic peptide (NT-proBNP) and cardiopulmonary function parameters were analyzed. **Results** The plasma concentrations $(1\,564 \pm 1\,031)$ pmol/L of NT-proBNP in the CTEPH group were higher than those in the CPE (595 ± 159) pmol/L and control groups (605 ± 167) pmol/L (both $P < 0.05$). The $P_{et}O_2$, $P_{et}CO_2$, VO_{2max} , VO_2/kg , oxygen pulse, anaerobic threshold, VE/VO_2 , VE/VCO_2 ,

1. 450003 河南省郑州市, 河南省人民医院高血压科

2. 451191 河南省郑州市, 河南医学高等专科学校

* 通信作者: 王勇, 副主任医师; E-mail: wangyong_8888@126.com

VD/VT, VE/VCO₂ slope among the 3 groups were compared and the differences were statistically significant ($P < 0.05$). The PetCO₂ and VO₂/kg in the CPE group were significantly lower than those in the control group. The VE/VO₂, VE/VCO₂, VD/VT, and VE/VCO₂ slope in the CPE group were significantly higher than those in the control group. The PetCO₂, VO₂max, VO₂/kg, oxygen pulse, and anaerobic threshold in the CTEPH group were significantly lower than those in the control and CPE groups. The VE/VO₂, VD/VT, and VE/VCO₂ slope in the CTEPH group were higher than those in the control and CPE groups. The PetO₂, VE/VCO₂ in the CTEPH group were higher than those in the control group ($P < 0.05$). Multiple linear regression analysis showed that VO₂/kg ($\beta = -0.213$, $t = -4.436$, $P < 0.001$) and the right ventricular internal diameter ($\beta = 0.561$, $t = 4.209$, $P < 0.001$) were independent influencing factors affecting NT-proBNP levels. **Conclusion** Cardiopulmonary exercise testing could objectively and quantitatively evaluate the exercise capacity in patients with CTEPH.

【Key words】 Pulmonary embolism; Hypertension, pulmonary; Cardiopulmonary exercise testing

慢性血栓栓塞性肺动脉高压 (CTEPH) 是肺血栓栓塞症的一种特殊类型, 即伴有肺动脉压力升高的慢性肺栓塞^[1], 是由于血栓不能完全溶解或下肢深静脉血栓反复脱落导致反复多次肺动脉栓塞, 发展成为慢性肺栓塞, 肺动脉阻力增加从而压力升高, 最终出现呼吸困难逐渐加重^[2]。其临床症状以呼吸困难、乏力、运动耐量下降等一系列症状为主要表现, 最终造成肺动脉压力升高以及进行性右心功能衰竭^[3]。心肺运动试验是人体整体系统对负荷功率运动的功能性反应, 从而客观定量评估人体整体功能状态和疾病严重程度, 需要通过对人体功能进行整体整合生理学医学理论的正确解读而获得^[4]。心肺运动试验通过测定机体在运动状态下的峰值耗氧量 (VO₂max)、VO₂max 与体质量的比值 (VO₂/kg)、氧脉搏、无氧阈等指标评价心、肺等脏器对运动的反应^[5], 是一种能够全面客观地把握患者的运动反应、心肺功能储备和功能受损程度的无创性检测方法^[6], 同时, 可以了解疾病的病理生理改变和对病情预后的预测。本研究旨在通过比较 CTEPH、慢性血栓栓塞症 (CPE) 患者和非 CPE 人群心肺功能指标的差别, 探讨氨基末端脑钠肽前体 (NT-proBNP) 和心肺功能指标的关系, 现报道如下。

1 对象与方法

1.1 研究对象 选取 2009 年 1 月—2013 年 10 月河南省人民医院收治的慢性血栓栓塞性疾病患者 72 例, 其中 CTEPH 组 45 例, CPE 组 27 例。CTEPH 组入选标准为: 急性肺栓塞 3 个月后, 经肺灌注显影或肺通气显影显示肺段以上充盈缺损; 符合 2013 年版中华医学会呼吸病学分会制定的《慢性阻塞性肺疾病诊治指南》^[7] 和 2011 年美国心脏学会制定的关于 CTEPH 的诊断标准^[8]; 超声心动图显示估测肺动脉收缩压 (SPAP) ≥ 50 mm Hg (1 mm Hg = 0.133 kPa); 心电图表现为右心负荷加大, 心电轴右偏; 并排除合并慢性阻塞性肺疾病、慢性支气管炎、结缔组织病等可能引起肺动脉高压者。CPE 组入选标准为: 超声心动图显示估测 SPAP < 50 mm Hg; 心电图表现为右心负荷正常, 未见心电轴右

偏。另选取同期本院收治的心脏超声、心电图、冠状动脉造影和血气分析均正常, 排除 CPE 的其他患者 52 例。所有患者排除标准: (1) 近期心肌梗死、不稳定型心绞痛、动脉瘤、急性肺栓塞、未控制的高血压等运动禁忌证; (2) 肝、肾等严重原发性疾病; (3) 妊娠或哺乳期妇女; (4) 因神经肌肉疾病不能完成 6 min 步行试验和心肺运动试验; (5) 近期反复出现晕厥或大咯血; (6) 近 3 个月参加过其他临床试验。本研究经本院医学伦理委员会批准, 患者均签署知情同意书。

1.2 实验室检测 患者在进行心肺运动试验前进行体格检查, 同时在入院次日清晨空腹抽取静脉血 2 ml, 放置于 EDTA 试管, 摇匀, 置于 AQT90 FLEX Analyzer (Radiometer Medical ApS, 芬兰) 仪器上, 识别样本后, 把带帽的试管装入进样口, 选择合适的测试组, 应用时间分辨免疫荧光法测定 NT-proBNP, 同时行超声心动图检查。

1.3 心肺运动检查 从静息状态 (≥ 3 min), 接好口器、血压袖带和心电图导联后在自行车功率计上 (蹬车速率 60 r/min) 无功率热身 3 min, 在医师监督下, 所有患者根据性别、年龄、功能状态和疾病严重程度等选择 10 ~ 50 W/min 的功率递增速率进行症状限制性最大负荷运动, 直至出现呼吸困难、腿部肌肉酸痛、全身疲劳, 不能再进行运动时, 继续记录 ≥ 5 min 恢复情况, 连续动态测定各项功能指标变化的数据。气体交换采用逐次呼吸测量系统, 功率递增幅度的选择根据对患者病史包括日常运动量和运动强度、体格检查和心肺功能状况综合决定。心肺运动试验过程中, 监测生命体征至恢复正常生理状态。测定分钟通气量 (VE)、耗氧量 (VO₂)、二氧化碳排出量 (VCO₂)、潮气末氧分压 (PetO₂)、潮气末二氧化碳分压 (PetCO₂) 等, 计算 VO₂max、VO₂/kg、氧脉搏、无氧阈、氧通气当量 (VE/VO₂)、二氧化碳通气当量 (VE/VCO₂)、呼吸无效腔/潮气量比值 (VD/VT)、VE/VCO₂ 斜率等指标。

1.4 统计学方法 采用 SPSS 13.0 软件进行统计学分析, 计量资料以 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 多组间比较采用单因素

方差分析, 组间两两比较采用 q 检验; 计数资料的分析采用 χ^2 检验; 采用多元线性回归分析影响 NT-proBNP 水平的因素。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本资料 3 组性别、年龄比较, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。3 组吸烟时间、体质指数 (BMI)、NT-proBNP、右心室前后径 (RV)、左心室前后径 (LV)、SPAP、6 min 步行距离 (6MED) 比较, 差异均有统计学意义 ($P < 0.001$)。其中 CPE 组吸烟时间、RV 长于对照组, LV、6MED 短于对照组; CTEPH 组吸烟时间长于对照组, BMI、LV、6MED 小于对照组和 CPE 组, NT-proBNP、RV、SPAP 高于对照组和 CPE 组, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$, 见表 1)。

2.2 心肺运动试验结果 3 组 VE 比较, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。3 组 PetO_2 、 PetCO_2 、 VO_2max 、 VO_2/kg 、氧脉搏、无氧阈、 VE/VO_2 、 VE/VCO_2 、 VD/VT 、 VE/VCO_2 斜率比较, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); 其中 CPE 组 PetCO_2 、 VO_2/kg 低于对照组, VE/VO_2 、 VE/VCO_2 、 VD/VT 、 VE/VCO_2 斜率高于对照组; CTEPH 组 PetCO_2 、 VO_2max 、 VO_2/kg 、氧脉搏、无氧阈低于对照组和 CPE 组, VE/VO_2 、 VD/VT 、 VE/VCO_2 斜率高于对照组和 CPE 组, PetO_2 、 VE/VCO_2 高于对照组, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$, 见表 2)。

2.3 多元线性回归分析 以 NT-proBNP 为因变量, 以心肺功能和超声心动图指标为自变量进行多元线性回归分析, 结果显示, VO_2/kg ($\beta = -0.213$, $t = -4.436$, $P < 0.001$) 和 RV ($\beta = 0.561$, $t = 4.209$, $P < 0.001$) 是影响 NT-proBNP 水平的独立影响因素。

3 讨论

研究运动时的外呼吸状态可以反映体内各器官系统的功能状况, 从而对外呼吸与细胞呼吸不同水平的功能状况进行分析评价^[9]。目前常用的评价 CTEPH 严重程度和预后的指标主要是 6MED 和 NT-proBNP, 其具有一定的局限性, 不足以客观反映患者的运动能力^[10]。心肺运动试验通过检测受试者负荷运动过程中相关生理指标变化 (包括运动气体代谢、动态心电图、血压等), 是评估心、肺储备功能和运动耐力的无创性检测手段, 其与常规静态肺功能的不同点是侧重观察机体在运动过程中的整体反应^[11]。优势在于可以通过测量气道内的气体交换且同步评估心血管系统和呼吸系统等全身各个系统对同一运动负荷的反应情况, 强调评估整体功能和储备功能^[12]。心肺运动试验在 CTEPH 早期诊断、运动限制评估、严重程度及预后评估、干预方案制订及疗效评价等方面均具有重要的临床应用价值。本研究通过对 CTEPH、CPE 和非 CPE 患者进行心肺运动试验, 探讨心肺功能指标与 NT-proBNP 的相关性。

表 1 3 组患者一般资料比较

Table 1 Comparison of general data among three groups

组别	例数	性别 (男/女)	年龄 (岁)	吸烟时间 (月)	BMI (kg/m^2)	NT-proBNP (pmol/L)	RV (mm)	LV (mm)	SPAP (mm Hg)	6MED (m)
对照组	52	29/23	52 ± 15	39 ± 17	26.4 ± 2.5	605 ± 167	18.9 ± 2.3	48.7 ± 2.6	30.2 ± 3.7	628 ± 63
CPE 组	27	14/13	55 ± 13	115 ± 29 ^a	24.3 ± 1.8	595 ± 159	23.1 ± 3.6 ^a	45.3 ± 3.9 ^a	34.6 ± 10.2	556 ± 76 ^a
CTEPH 组	45	23/22	56 ± 14	120 ± 38 ^a	21.3 ± 2.8 ^{ab}	1 564 ± 1 031 ^{ab}	31.6 ± 5.9 ^{ab}	39.8 ± 4.2 ^{ab}	80.8 ± 18.9 ^{ab}	413 ± 59 ^{ab}
$F(\chi^2)$ 值		0.24 ^c	1.02	114.46	50.87	32.89	111.79	76.69	219.75	135.34
P 值		0.889	0.363	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注: CPE = 慢性血栓栓塞症, CTEPH = 慢性血栓栓塞性肺动脉高压, BMI = 体质指数, NT-proBNP = 氨基末端脑钠肽前体, RV = 右心室前后径, LV = 左心室前后径, SPAP = 肺动脉收缩压, 6MED = 6 min 步行距离; 与对照组比较, ^a $P < 0.05$; 与 CPE 组比较, ^b $P < 0.05$; ^c 为 χ^2 值

表 2 3 组心肺运动试验结果比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of cardiopulmonary exercise test indexes among three groups

组别	例数	VE (L/min)	PetO_2 (mm Hg)	PetCO_2 (mm Hg)	VO_2max (ml/min)	VO_2/kg ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)	氧脉搏 ($\text{ml}/\text{次}$)	无氧阈 ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)	VE/VO_2	VE/VCO_2	VD/VT (%)	VE/VCO_2 斜率
对照组	52	24 ± 9	110 ± 10	42 ± 11	1 526 ± 347	21.7 ± 4.1	10.8 ± 2.4	14.0 ± 3.6	33 ± 8	30.2 ± 4.7	21 ± 3	25.3 ± 3.2
CPE 组	27	24 ± 8	115 ± 12	34 ± 10 ^a	1 498 ± 429	16.5 ± 3.7 ^a	9.8 ± 3.0	12.9 ± 4.1	42 ± 11 ^a	40.5 ± 3.5 ^a	25 ± 5 ^a	30.5 ± 6.7 ^a
CTEPH 组	45	25 ± 6	135 ± 9 ^a	23 ± 6 ^{ab}	926 ± 239 ^{ab}	12.8 ± 3.5 ^{ab}	5.9 ± 1.6 ^{ab}	8.7 ± 3.5 ^{ab}	51 ± 10 ^{ab}	47.9 ± 10.5 ^a	32 ± 6 ^{ab}	45.3 ± 10.4 ^{ab}
F 值		0.22	53.90	35.38	31.37	46.57	39.52	18.44	29.59	52.37	45.18	65.26
P 值		0.791	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注: VE = 分钟通气量, PetO_2 = 潮气末氧分压, PetCO_2 = 潮气末二氧化碳分压, VO_2max = 峰值耗氧量, VO_2/kg = VO_2max 与体质量的比值, VE/VO_2 = 氧通气当量, VE/VCO_2 = 二氧化碳通气当量, VD/VT = 呼吸无效腔/潮气量比值; 与对照组比较, ^a $P < 0.05$; 与 CPE 组比较, ^b $P < 0.05$

本研究采用心肺运动试验,同步监测气体交换和心血管系统指标,测定氧摄取量、无氧阈、氧脉搏等指标,系统评价 CTEPH 患者的心肺功能状态。结果显示,与对照组相比,CTEPH 组 $VO_2\max$ 、 VO_2/kg 、无氧阈、氧脉搏、 $PetCO_2$ 均降低, $PetO_2$ 、 VE/VCO_2 升高,说明 CTEPH 患者的供氧能力较差,客观地评价了其运动耐力水平。另外 CTEPH 组和 CPE 组的 VD/VT 均比对照组高,也说明 CTEPH 和 CPE 均有肺血管阻塞造成的肺通气血流不匹配的现象,随着肺动脉压力升高,血管阻力也增大,从而影响心脏功能。赵智慧等^[13]对 44 例 CTEPH 患者和 48 例无肺血栓栓塞症及肺动脉高压的对照组患者进行比较,CTEPH 组与对照组比较, $VO_2\max$ 、 VO_2 、 VO_2/kg 、无氧阈、氧脉搏、 $PetCO_2$ 均降低, VE/VCO_2 升高,本研究结果与之一致,进一步验证心肺运动试验能较好反映 CTEPH 在运动状态下的心肺整体功能。提示 CTEPH 患者心血管储备功能显著降低,摄氧能力和运动耐力显著下降,心肺功能指标与临床常用评价指标相关性较好,可以客观定量评价 CTEPH 患者的心肺功能。

心肺运动试验在 CTEPH 患者肺功能康复中有着不可替代的作用。近年研究显示,心肺运动试验指标可用于评价康复治疗效果,指导制定恰当的运动处方及进行功能分级判定,评价康复治疗者的心肺功能变化等^[14-16]。心肺运动试验实时检测在不同负荷条件下机体 VO_2 和 VCO_2 的动态变化,从而了解心脏、肺脏和循环系统之间的相互作用与储备能力,具有静态肺功能检查所不能替代的优点^[17]。

NT-proBNP 水平是反映右心室重塑的良好指标,且与血液的流动性指标相关,可以反映肺动脉高压的严重程度,此外,NT-proBNP 还可以作为评估肺动脉内膜切除手术前后治疗效果的指标^[18]。本研究结果显示 RV 是影响 NT-proBNP 水平的因素,说明右心负荷加重,肺动脉高压形成。6MED 也是目前广泛用于评估肺动脉高压患者运动耐量的重要指标,且 6 min 步行训练法可有效改善患者运动能力减退现象,保证机体维持一定活动量。已有研究显示,6 min 及以上适量运动有助于提高罹患呼吸系统疾病患者心肺功能水平^[19]。心肺运动试验常联合 6MED 对 CTEPH 患者的心肺功能进行评价^[20]。

综上所述,心肺运动试验可以对 CTEPH 患者的严重程度进行评价,不仅可以反映患者的运动耐力,还可以反映心肺的受损程度,评估肺功能康复治疗的效果,为 CTEPH 患者的及早治疗和运动康复提供客观的指标。

本文背景:

慢性血栓栓塞性肺动脉高压 (CTEPH) 是肺栓塞症的常见类型,可导致肺功能严重受损,进而影响右心功能,导致预后不良,甚至危及生命。6 min 步行为简单的运动功能检查,可以预测死亡的危险性或者手术治疗的预后,但是方法的标准化是亟待解决的重要问题。心肺运动试验可提供有关呼吸系统、循环系统及气体代谢等指标,能更全面地反映患者疾病的生理病理情况,客观定量、功能性地评估个体化运动康复,能有效改善心肺功能,提高患者生活质量。目前国内针对采用心肺运动试验指导制定个体化的运动处方较少,本研究通过探讨氨基末端脑钠肽前体 (NT-proBNP) 和心肺功能指标的关系,对 CTEPH 患者的严重程度进行评价,为患者的及早治疗和运动康复提供客观的指标。

作者贡献:王勇进行文章的构思与设计、研究的实施与可行性分析、撰写论文、进行论文的修订、负责文章的质量控制及审校、对文章整体负责,监督管理;张亚光进行数据收集、数据整理、统计学处理、进行结果的分析与解释。

本文无利益冲突。

参考文献

- [1] PETER S M, KIM M K, WILLIAM R A. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. Clin Chest Med, 2013, 34 (4): 779 - 797.
- [2] MAYER E, JENKINS D, LINDNER J, et al. Surgical management and outcome of patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension: results from an international prospective registry [J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2011, 141 (3): 702 - 710. DOI: 10.1016/j.jtcvs. 2010. 11. 024.
- [3] HAYTHE J. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension: a review of current practice [J]. Prog Cardiovasc Dis, 2012, 55 (2): 134 - 143. DOI: 10.1016/j.pcad. 2012. 07. 005.
- [4] 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 (2): 88 - 92. DOI: 10.3969/j. issn. 1000 - 3614. 2013. 02. 004.
SUN X G. New theory of holistic integrative physiology and medicine: the function of human body controlled integratively [J]. Chinese Circulation Journal, 2013, 28 (2): 88 - 92. DOI: 10.3969/j. issn. 1000 - 3614. 2013. 02. 004.
- [5] 王浩彦. 心肺运动试验简介 [J]. 心脑血管病杂志, 2011, 30 (2): 162. DOI: 10.3969/j. issn. 1007 - 5062. 2011. 02. 020.
WANG H Y. The synopsis of cardiopulmonary exercise testing [J]. Journal of Cardiovascular & Pulmonary Diseases, 2011, 30 (2): 162. DOI: 10.3969/j. issn. 1007 - 5062. 2011. 02. 020.
- [6] PAOLETTI P, DE FILIPPIS F, FRAIOLI F, et al. Cardiopulmonary

- exercise testing (CPET) in pulmonary emphysema [J]. *Respir Physiol Neurobiol*, 2011, 179 (2/3): 167 - 173. DOI: 10.1016/j.resp.2011.07.013.
- [7] 中华医学会呼吸病学分会慢性阻塞性肺疾病学组. 慢性阻塞性肺疾病诊治指南 (2013 年修订版) [J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2013, 36 (4): 255 - 264. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2013.04.007.
- The COPD Group of Chinese Thoracic Society. Chronic obstructive pulmonary disease (2013) [J]. *Chinese Journal of Tuberculosis and Respiratory Diseases*, 2013, 36 (4): 255 - 264. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2013.04.007.
- [8] BARRON A J, WENSEL R, FRANCIS D P, et al. The role for cardiopulmonary exercise testing in patients with atrial septal defects: a review [J]. *Int J Cardiol*, 2012, 161 (2): 68 - 72. DOI: 10.1016/j.ijcard.2011.09.006.
- [9] ARENA R, LAVIE C J, MILANI R V, et al. Cardiopulmonary exercise testing in patients with pulmonary arterial hypertension: an evidence - based review [J]. *J Heart Lung Transplant*, 2010, 29 (2): 159 - 173. DOI: 10.1016/j.healun.2009.09.003.
- [10] 赵青, 柳志红, 孙兴国, 等. 心肺运动试验评估慢性左心衰竭患者的运动能力 [J]. *中国循环杂志*, 2011, 26 (5): 370 - 373. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2011.05.015.
- ZHAO Q, LIU Z H, SUN X G, et al. Cardiopulmonary exercise testing assessment of exercise capacity in patients with chronic left heart failure [J]. *Chinese Circulation Journal*, 2011, 26 (5): 370 - 373. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2011.05.015.
- [11] 翟振国, 王军. 慢性血栓栓塞性肺动脉高压的发病机制 [J]. *中华医学杂志*, 2012, 92 (26): 1807 - 1809. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2012.26.003.
- ZHAI Z G, WANG J. The pathogenesis of chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *National Medical Journal of China*, 2012, 92 (26): 1807 - 1809. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2012.26.003.
- [12] SAOUTI N, DE MAN F, WESTERHOF N, et al. Predictors of mortality in inoperable chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *Respir Med*, 2009, 103 (7): 1013 - 1019. DOI: 10.1016/j.rmed.2009.01.017.
- [13] 赵智慧, 柳志红, 顾晴, 等. 心肺运动试验在慢性血栓栓塞性肺动脉高压评估中的应用 [J]. *中华医学杂志*, 2013, 93 (22): 1687 - 1690. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2013.22.003.
- ZHAO Z H, LIU Z H, GU Q, et al. Application of cardiopulmonary exercise testing in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *National Medical Journal of China*, 2013, 93 (22): 1687 - 1690. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2013.22.003.
- [14] STRINGER W W. Cardiopulmonary exercise testing: current applications [J]. *Expert Rev Respir Med*, 2010, 4 (2): 179 - 188. DOI: 10.1586/ers.10.8.
- [15] 吴浩, 孙兴国, 顾文超, 等. 心肺运动试验计算个体化目标心率指导男性慢性阻塞性肺疾病患者运动康复的效果观察 [J]. *中国全科医学*, 2016, 19 (35): 4323 - 4327. DOI: 10.3969/j.issn.1007-9572.2016.35.007.
- WU H, SUN X G, GU W C, et al. Using individualized target heart rate eeduced from cardiopulmonary exercise testing to guide exercise rehabilitation in male patients with chronic obstructive pulmonary eisease [J]. *Chinese General Practice*, 2016, 19 (35): 4323 - 4327. DOI: 10.3969/j.issn.1007-9572.2016.35.007.
- [16] 张振英, 孙兴国, 席家宁, 等. 心肺运动试验制定运动强度对慢性心力衰竭患者心脏运动康复治疗效果影响的临床研究 [J]. *中国全科医学*, 2016, 19 (35): 4302 - 4309. DOI: 10.3969/j.issn.1007-9572.2016.35.004.
- ZHANG Z Y, SUN X G, XI J N, et al. Effects of exercise intensity eeduced from cardiopulmonary exercise testing on exercise rehabilitation efficacy among patients with chronic heart failure: a clinical study [J]. *Chinese General Practice*, 2016, 19 (35): 4302 - 4309. DOI: 10.3969/j.issn.1007-9572.2016.35.004.
- [17] GUAZZI M, ADAMS V, CONRAADS V, et al. EACPR/AHA Scientific Statement. Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient population [J]. *Circulation*, 2012, 126 (18): 2261 - 2274. DOI: 10.1161/CIR.0b013e31826fb946.
- [18] AKIHIRO H, TAKAHISA K, YOSHIHISA N, et al. Effect of bosentan on exercise capacity in patients with pulmonary arterial hypertension or inoperable chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *Life Sciences*, 2013, 93 (25): 44 - 45.
- [19] 黄坚, 林焕雄, 林杰, 等. 个体化延续护理对慢性阻塞性肺疾病患者生活质量的影响 [J]. *中国护理管理*, 2014, 14 (6): 31 - 34. DOI: 10.3969/j.issn.1672-1756.2014.06.008.
- HUANG J, LIN H X, LIN J, et al. The influence of individualized extended care on quality of life of patients with chronic obstructive pulmonary disease [J]. *Chinese Nursing Management*, 2014, 14 (6): 31 - 34. DOI: 10.3969/j.issn.1672-1756.2014.06.008.
- [20] KINOSHITA H, DOHI Y, SADA Y, et al. Detection of developing pulmonary vasculopathy in the early stage of pulmonary arterial hypertension with non - invasive cardiopulmonary exercise testing [J]. *J Card Failure*, 2013, 19 (10): S145.

(收稿日期: 2016-10-24; 修回日期: 2017-04-20)

(本文编辑: 贾萌萌)