

doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2017.11.026

View this article at: http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.2095-6959.2017.11.026

四肢联动在脑卒中患者心肺适能评估中运用的可行性

钱贞^{1,2}, 李瑾³, 高民³, 张秋阳³, 陈伟¹

(1. 徐州医科大学医学技术学院, 江苏 徐州 221000; 2. 常州德安医院康复科, 江苏 常州 213000;
3. 徐州市中心医院康复科, 江苏 徐州 221000)

[摘要] 目的: 分析四肢联动在脑卒中患者心肺适能评估中运用的可行性, 探索评估脑卒中患者心肺功能的适宜设备。方法: 19位脑卒中患者均先后使用功率自行车和四肢联动两种设备进行两次症状限制性最大递增心肺运动试验, 并用配对 t 检验分析两次试验获得的峰值摄氧量(VO_{2peak})以及峰值心率(HR_{peak})之间的差异, 并采用Pearson相关系数检验它们的相关性。结果: 两次试验获得的 VO_{2peak} 以及 HR_{peak} 存在高度相关(分别 $r=0.95$ 和 $r=0.96$), 使用四肢联动获得的 VO_{2peak} 明显高于功率自行车[(14.51±3.13) vs (12.60±3.52) $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$], HR_{peak} 也明显增加[(116.26±10.98) vs (104.53±11.79) min^{-1}], 且差异均有统计学意义($P<0.05$)。使用四肢联动的患者疲劳程度较自行车轻(Borg呼吸困难: 9.95±0.85 vs 14.79±1.23; Borg腿部疲劳: 13.53±0.70 vs 15.95±0.85)。纳入研究的19位患者均能顺利完成两次试验, 没有发生任何不良事件。结论: 四肢联动在评估卒中患者心肺适能方面是安全、有效、可行的, 其测试结果更贴近患者真实的心肺功能, 并且不容易引起患者疲劳。

[关键词] 脑卒中; 四肢联动; 心肺适能; 心肺运动测试

Feasibility analysis of application of limbs linkage equipment in cardiorespiratory fitness assessment of stroke patients

QIAN Zhen^{1,2}, LI Jin³, GAO Min³, ZHANG Qiuyang³, CHEN Wei¹

(1. College of Medical Technology, Xuzhou Medical University, Xuzhou Jiangsu 221000; 2. Department of Rehabilitation, Changzhou Dean Hospital, Changzhou Jiangsu 213000; 3. Department of Rehabilitation, Xuzhou Central Hospital, Xuzhou Jiangsu 221000, China)

Abstract **Objective:** To analyze the feasibility of the application of limbs linkage equipment in cardiorespiratory fitness assessment of stroke patients, and explore the appropriate equipment for evaluating the cardiorespiratory function of stroke patients. **Methods:** Nineteen patients with stroke successively underwent two symptom limited maximal incremental cardiopulmonary exercise test using two devices: power cycling and limbs linkage. The difference in VO_{2peak} of 2 tests was analyzed by paired t -test, and so did HR_{peak} . The correlation coefficient was tested by Pearson analysis. **Results:** There was a significant correlation of VO_{2peak} obtained in the two tests ($r=0.95$), and so did HR_{peak} ($r=0.96$). The average VO_{2peak} value obtained by using limbs linkage equipment was significantly higher than that of power bicycle [(14.51±3.13) vs (12.60±3.52) $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$], and so did

收稿日期 (Date of reception): 2017-08-17

通信作者 (Corresponding author): 陈伟, Email: chenwei2339@qq.com

HRpeak [(116.26±10.98) vs (104.53±11.79) min⁻¹]. The differences were also statistically significant ($P<0.05$). Patients using limbs linkage equipment were less fatigued than those using bicycles (Borg dyspnea: 9.95±0.85 vs 14.79±1.23; Borg leg fatigue: 13.53±0.70 vs 15.95±0.85). The 19 patients in the study all successfully completed the two tests without any adverse events. **Conclusion:** Limbs linkage equipment is safe, effective and feasible in assessing cardiorespiratory fitness of stroke patients. The test results are closer to the real cardiorespiratory fitness of stroke patients, and it is not easy to cause fatigue.

Keywords stroke; limbs linkage; cardiorespiratory fitness; cardiopulmonary exercise test

脑卒中是全世界成人残疾的主要原因之一^[1], 脑卒中不仅影响神经系统, 而且损害肺和心血管健康^[2]。脑卒中患者心肺适能严重降低^[3], 最近的一项来自美国心脏协会和美国卒中协会的联合声明, 建议卒中患者应进行心肺运动试验(cardiopulmonary exercise testing, CPET)^[4]。然而, 脑卒中后的功能障碍如痉挛、肌肉无力、平衡协调等问题使患者在使用踏车、平板等这些常规测试设备时有一定的困难, 这直接影响对患者真实心肺功能的精准评估^[5], 也会间接影响患者有氧训练的效果。基于上述背景, 本文旨在研究四肢联动在评估脑卒中患者心肺适能中的运用可行性, 以探索评估脑卒中患者心肺功能的适宜设备。

1 对象与方法

1.1 对象

纳入标准: 1)首次诊断为脑卒中(脑梗死或脑出血), 具有影像学证据, 病情稳定; 2)坐站体位转变能力; 3)独立步行10 m(借助或不借助辅助装置), 没有明显的疼痛限制^[6]; 4)简易精神状态检查表(Mini-Mental State Examination, MMSE)>24分, 排除痴呆, 确保具有理解测试步骤和意义的能力^[7]; 5)年龄≥18岁; 6)愿意配合研究, 签署知情同意书。

排除标准: 1)3个月前因心肌梗死、心脏手术、充血性心力衰竭住院治疗; 2)明显的心律失常、肥厚型心肌病、严重主动脉狭窄、肺栓塞; 3)不能控制的静息严重高血压、控制不好的代谢性疾病如糖尿病, 血糖水平低于3.9 mmol/L或是高于16.7 mmol/L^[7]; 4)最近有胸部不适症状; 5)有限制运动能力的其他肌肉骨骼问题, 如肌肉拉伤、骨折等; 6)有设备制造商指南的禁忌证; 7)严重的知觉或沟通问题; 8)Fugl-Meyer运动功能评分<50分(严重运动障碍)。

选取2016年12月至2017年6月于徐州市康复医院康复科住院治疗的脑卒中患者20例, 1位患者因

下肢伸肌张力高不能完成功率自行车心肺运动测试, 被排除在研究之外, 最终纳入研究的有19例。患者的性别、年龄、身高、体重、卒中类型等基本资料详见表1。本研究经徐州市康复医院伦理委员会批准, 所有纳入患者进入测试前均签署知情同意书。

表1 患者一般资料

Table 1 General information of patients

项目	结果
年龄/岁	60.84 ± 10.10 (44~79)
性别/[例(%)]	
男	11 (58)
女	8 (42)
身高/cm	167.26 ± 6.92 (151~178)
体重/kg	74.58 ± 10.01 (60~102)
BM/(kg·m ⁻²)	26.68 ± 3.27 (19.6~34.5)
卒中类型/[例(%)]	
脑梗塞	8 (42)
脑出血	11 (58)
偏瘫侧/[例(%)]	
左侧	6 (32)
右侧	13 (68)
病程/月	4.84 ± 3.02 (1~12)
Fugl-Meyer得分	71.37 ± 14.87 (51~97)
简易精神状态检查量表得分	28.95 ± 1.43 (25~30)
日常生活能力评定量表得分	72.11 ± 21.75 (35~100)
Berg平衡量表	41.42 ± 7.74 (30~52)
高血压药物/[例(%)]	
β受体阻滞剂	0
血管紧张素转化酶抑制剂	7 (36)
钙通道阻滞剂	6(32)
无高血压药物	6(32)

1.2 心肺运动试验设备与方案

采用COSMED运动心肺功能测试系统以及代谢分析系统(型号: K4b2, 意大利COSMED公司)对所有患者进行心肺运动试验, 所有患者均随机进行2次试验, 采用功率自行车(PEC4850, 台湾正伦公司, 图1)和四肢联动(MINI7005, 北京天康医疗器械公司, 图2)两种不同的设备, 时间间隔48 h。每次试验之前, 根据仪器制造商的指示, 进行标准化的气体标定(空气和混合气体), 容量标定和流量标定。气体标定使用环境空气和经过检验的精确混合气体(16.10%O₂和5.04%的CO₂), 容量标定使用的是3-L的定标桶, 流量标定由工作人员戴好面罩进行流量定标。指导患者在试验前的24 h内避免剧烈活动, 试验前3 h内不要进食, 并在试验前12 h内不要吸烟或喝咖啡。此外, T2DM患者试验前要评估血糖水平, 假如血糖水平低于3.9 mmol/L或是高于16.7 mmol/L, 运动试验安排到另外1天, 测试场所备有氧气瓶、除颤仪、急救药物等。

1.2.1 心肺运动试验方案(功率自行车)

测试者安全地转移到功率自行车上, 调整好适宜的座位高度, 使患者在蹬车的时候膝关节有轻微的弯曲, 避免整个膝关节的伸展, 患者如果觉得偏瘫侧肢体保持在功率车脚蹬上有困难, 就用弹力绷带将脚固定在脚蹬上。连接好12导联心电图, 佩戴好自动监测血压的袖套以及进行呼吸气体分析的面罩, 根据患者的性别、年龄、身高、体重、功能状态、运动习惯等选择5~15 W/min的功率递增方案(斜坡式递增方案), 进行症状限制性最大递增心肺运动试验。测试过程: 1)静息期维持1 min, 同时记录患者静息状态的心率和血压; 2)热身期无功率负荷蹬自行车, 维持3 min; 3)负荷运动期根据预先选定的功率递增方案, 负荷逐渐加大, 直到达到最大运动负荷或出现需要终止测试的其他情况(如下所示), 维持8~12 min; 4)恢复期无负荷蹬车3 min, 静息3 min, 维持至少6 min, 观察血压、心率恢复情况。整个运动过程中患者蹬车速度始终保持在60 r/min, 假如低于55 r/min, 就给与口头鼓励, 并且有计数秒表做速度提醒。患者的呼出气体通过一根呼出气体采集线连接至气体分析仪(K4b2), 通过breath-by-breath方式测定摄氧量(VO₂)和二氧化碳排出量(VCO₂), 并实时监测心电图, 每隔2 min测定一次血压。



图1 功率自行车

Figure1 Power cycling

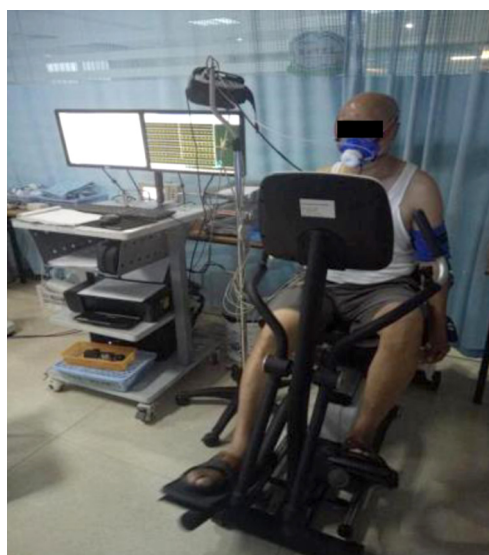


图2 四肢联动

Figure2 Limbs linkage

1.2.2 心肺运动试验方案(四肢联动)

测试者安全地转移到四肢联动上, 调整好座椅的前后距离以及手柄的长度, 使患者在使用四肢联动时不感到困难。该四肢联动设备一共有16档阻力, 配有阻力显示屏, 每一小格代表一档阻力, 可以手动加减阻力。测试前准备工作同功率自行车, 根据患者的性别、年龄、身高、体重、功能状态、运动习惯等选择1~2档/2 min的阻力递增方案(阶梯

式递增方案), 进行症状限制性最大递增心肺运动试验。测试过程: 1) 静息期维持1 min, 同时记录患者静息状态的心率和血压; 2) 热身期: 无阻力负荷推拉踩踏四肢联动, 维持3 min; 3) 负荷运动期根据预先选定的阻力递增方案, 阻力逐渐加大, 直到达到最大运动负荷或出现需要终止测试的其他情况(如下所示), 维持8~12 min; 4) 恢复期无阻力推拉踩踏四肢联动3 min, 静息3 min, 至少维持6 min, 观察血压、心率恢复情况。整个运动过程中每档阻力维持2 min, 患者蹬车速度始终保持在80踏/min^[7], 如果速度低于75踏/min, 就给予口头鼓励, 并且有计数秒表做速度提醒。气体分析、心电、血压监测同功率自行车。

1.2.3 判断患者达到最大运动负荷主要依据

达到以下依据中至少1项: 1) VO_2 不再增加达到平台期; 2) 心率>年龄预测最大心率的90%^[6], 对于服用 β 受体阻滞剂的患者该指标调整为85%^[8]; 3) $RER > 1.0$ ^[9]; 4) Borg评分自感劳累分级表(6~20)中大于17级^[10]。

1.2.4 心肺运动测试终止标准

出现以下标准中的任何一项, 立即终止试验: 1) 达到最大运动负荷依据; 2) 患者意志疲劳要求终止测试; 3) 患者不能保持规定的速度^[11]; 4) 观察到不良的心血管事件或是对运动测试有不良反应^[12]; 5) 血压异常, 血压过高(收缩压>210 mmHg或者舒张压>115 mmHg, 1 mmHg=0.133 kPa), 或者随着负荷的增加, 患者血压不升高, 反而下降超过10 mmHg^[13]。

1.2.5 观察指标

19位患者分别先后进行2次心肺运动试验(功率自行车和四肢联动), 测量2次运动试验中的峰值摄氧量(VO_{2peak})、无氧阈(AT)、峰值代谢当量(MET_{peak})、峰值呼吸交换率(RER_{peak})、峰值心率(HR_{peak})、峰值心率和年龄最大预计心率(APMHR)的比值($HR_{peak} \% APMHR$)、静息心

率(HR_{rest})、静息收缩压(SBP_{rest})、静息舒张压(DBP_{rest})、峰值收缩压(SBP_{peak})、峰值舒张压(DBP_{peak})、峰值负荷(负荷_{peak})以及达到峰值摄氧量的时间($Time_{peak}$)。具有丰富经验的临床医师采用V-slope法评估AT, 并测量

达到AT时的摄氧量(VO_2 at AT)以及与峰值摄氧量的比值(VO_2 at AT % VO_{2peak}), 用Borgscale自感劳累分级表(15级: 6~20)来评估最大运动负荷时呼吸困难和腿部疲劳的自感劳累程度, 并记录测试终止的原因。

1.3 统计学处理

使用SPSS 13.0统计软件包对数据进行统计学分析处理, 计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 计数资料以百分比(%)表示, 组间比较采用配对t检验, 采用Pearson相关系数检验两次测试重要结果(VO_{2peak} 和 HR_{peak})的相关性, $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。

2 结果

19位患者都能顺利完成测试, 没有因为任何技术问题终止测试, 患者能够理解整个测试过程, 并且有意识地保持测试所需要的速度, 所有患者都是因为达到终止标准而停止测试, 没有发生任何不良事件。由表2可以看出除 HR_{rest} , SBP_{rest} , DBP_{rest} , DBP_{peak} , RER_{peak} 差异没有统计学意义之外($P > 0.05$), 其余指标均有统计学意义($P < 0.05$)。其中四肢联动 VO_{2peak} 值高于功率自行车[(14.51±3.13) vs (12.60±3.52) mL·kg⁻¹·min⁻¹], 四肢联动 HR_{peak} 值也高于功率自行车值[(116.26±10.98) vs (104.53±11.79) min⁻¹], 且四肢联动 VO_{2peak} 值与功率自行车值之间存在高度相关($r=0.95$, 图3), HR_{peak} 之间也存在高度相关($r=0.96$, 图4)。

表2 功率自行车和四肢联动间两次心肺运动试验主要结果比较

Table 2 Comparison of the results of the two cardiopulmonary exercise tests between power cycling and limbs linkage

观察指标	功率自行车值	四肢联动值	t	P
绝对 VO_{2peak} /(mL·min ⁻¹)	918.42 ± 243.13	1 076.42 ± 242.94	-6.941	<0.001
相对 VO_{2peak} /(mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	12.60 ± 3.52	14.51 ± 3.13	-7.267	<0.001
MET _{peak}	3.63 ± 1.02	4.29 ± 0.92	-9.980	<0.001
HR_{rest} /(beats·min ⁻¹)	79.05 ± 8.66	78.68 ± 8.35	1.326	0.202
HR_{peak} /(beats·min ⁻¹)	104.53 ± 11.79	116.26 ± 10.98	-15.677	<0.001

续表2

观察指标	功率自行车值	四肢联动值	t	P
HRpeak % APMHR	66.11 ± 10.82	73.47 ± 9.51	-13.465	<0.001
SBPrest/mmHg	123.37 ± 11.59	124 ± 11.53	-1.884	0.076
DBPrest/mmHg	76.68 ± 8.39	76.47 ± 8.93	0.676	0.508
SBPpeak/mmHg	123.37 ± 11.59	172.63 ± 15.84	-17.007	0.000
DBPpeak/mmHg	85.84 ± 12.76	86.53 ± 12.22	-0.976	0.342
RERpeak	1.01 ± 0.09	1.01 ± 0.09	-1.394	0.18
负荷peak(W/档)	54.84 ± 11.74	5.32 ± 1.16	—	—
Borg(呼吸困难)	14.79 ± 1.23	9.95 ± 0.85	14.816	<0.001
Borg(腿部疲劳)	15.95 ± 0.85	13.53 ± 0.70	10.373	<0.001
Timepeak/min	10.61 ± 1.55	12.23 ± 0.96	-3.784	0.001
绝对VO ₂ at AT/(mL·min ⁻¹)	808.63 ± 193.75	913.13 ± 204.69	-8.416	<0.001
相对VO ₂ at AT/(mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	10.91 ± 2.20	12.55 ± 2.63	-8.524	<0.001
相对VO ₂ at AT %相对VO ₂ peak	78.48 ± 1.20	83.31 ± 2.52	-6.929	<0.001

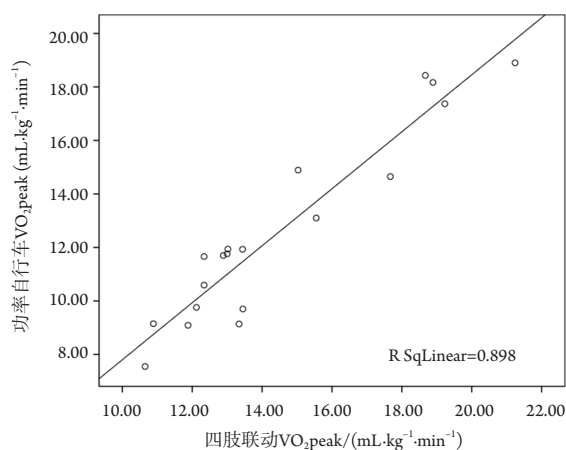
图3 四肢联动和功率自行车的VO₂peak Pearson 相关性

Figure 3 Pearson correlation map of VO₂peak from power cycling and limbs linkage

在使用四肢联动的患者中有89%(17/19)达到最大运动负荷,其中男女达标比例分别为82%(9/11) vs 100%(8/8),在使用自行车的患者中是58%(11/19),其中男女达标比例分别为82%(8/11) vs 38%(3/8)。在测试终止阶段使用四肢联动的患者呼吸困难和腿部疲劳的Borg评分分别为9.95±0.85和13.53±0.70,分别位于“很轻~轻”以及“稍微累~累”之间。使用自行车的患者Borg评分分别是14.79±1.23和15.95±0.85,在“稍微累~累”以及“累~很累”之间。使用四

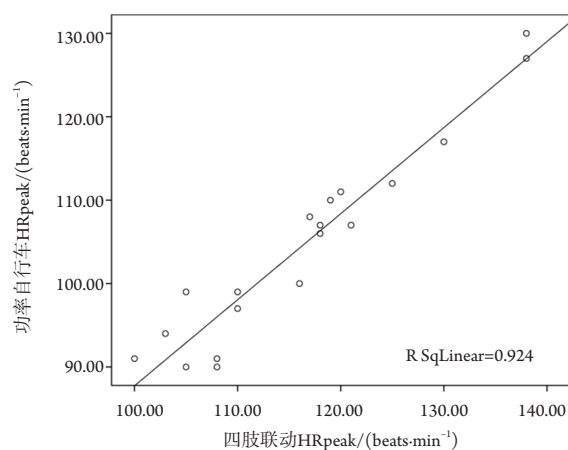


图4 四肢联动和功率自行车的HRpeak Pearson相关性

Figure 4 Pearson correlation map of HRpeak from power cycling and limbs linkage

肢联动的患者中有84%(16/19)可以确定AT,达到AT时相对摄氧量是12.55±2.63 mL/(kg·min),占VO₂peak的83.31%±2.52%,使用功率自行车的患者中42%(8/19)可以确定AT,达到AT时相对摄氧量是10.91±2.20 mL/(kg·min),占VO₂peak的78.48%±1.20%。测试终止的原因(四肢联动人数/功率自行车人数):1)健侧腿部疲劳(0/10);2)双侧腿部疲劳(7/4);3)全身疲劳(10/0);4)胸闷,呼吸困难(2/5)。

3 讨论

Yates等^[6]报道纳入研究的患者中有21%不能完成蹬自行车的动作, 而只能排除在测试之外, 也有研究^[14]证实这些功能障碍会影响患者测试时的运动表现, 也将阻碍患者达到最大努力状态。本研究使用的四肢联动具有宽座椅、靠背、带有束缚带的宽脚踏板以及四肢联合运动的方式, 可以帮助患者在测试时克服这些困难, 所有纳入研究的患者都能顺利完成测试, 并且没有发生任何意外事件。本研究发现使用四肢联动测试的患者中达到最大运动负荷的人数比例明显高于功率自行车(89% vs 58%), 由此看来, 四肢联动可以帮助卒中患者易化心肺运动测试过程。此外, 在达到最大运动负荷的男女比例中有一个有趣的发现, 使用四肢联动设备的患者中女性达标人数明显高于男性(100% vs 82%), 这与Marzolin等^[15]的研究结果相反, 他们发现达到CPET最大负荷标准的女性人数明显低于男性人数(40% vs 81%), 这给我们一个提示, 合适的测试设备可能使女性患者更容易达到最大努力, 更能表现出真实的心肺反应, 但需要进一步扩大样本量来证实这个结论的可靠性。

VO₂max是一个人在递增负荷运动中摄入和使用氧气的最大能力, 是决定一个人运动能力和心肺适能的金标准^[16]。在卒中这个特殊人群中因为一系列的功能障碍, 要获得VO₂max是有困难的, 所以临床上通常用VO₂peak来描述最大有氧运动能力。本研究得到的四肢联动和功率自行车VO₂peak结果分别是(14.51±3.13) mL/(kg·min)和(12.60±3.52) mL/(kg·min), 与Baert等^[17]的研究结果一致, 脑卒中患者的VO₂peak波动于11.4~17.3 mL/(kg·min)。此次研究发现使用四肢联动获得的VO₂peak比使用自行车获得的VO₂peak约高2 mL/(kg·min), 结果差异有统计学意义, 且存在高度相关($r=0.95$), 这个结果与Hill等^[18]使用结合上下肢的运动设备评估卒中患者的心肺功能的结论一致。探究其原因, 可能是因为结合上下肢的测试设备在运动过程中需要调动更多的肌肉群, 除双下肢类似蹬车的动作以外还结合双上肢交互推拉运动, 并带动部分躯干活动, 这将增加患者的运动强度, 从而引起更高的摄氧量, 还有更高的心率反应, 并且两次测试HRpeak之间也存在着高度相关($r=0.96$)。运动处方的开具是基于CPET的测试结果, 如果患者真实的心肺功能被低估, 那么运动处方的制定也存在一定的误差, 患者的心肺适能将不能得到有效的锻炼, 势必会影响患者的康复效果, 所以采用合适的设备准确评估患者的心肺功能十分重要。

本研究还发现使用四肢联动的患者在测试过程中自觉呼吸困难以及腿部疲劳的程度都要比功率自行车要轻(Borg: 9.95±0.85 vs 14.79±1.23以及13.53±0.70 vs 15.95±0.85), 这可能是因为四肢联动整合了上下肢的运动, 当患者腿部乏力时, 可以借助上肢的力量协助下肢运动, 这样可能会分担腿部的运动负荷, 防止患者因为肢体局部疲劳过早终止测试。在测试终止的原因调查中可以印证以上的解释, 在使用功率自行车的患者中因腿部疲劳停止测试的人数最多, 有14位, 其中因健侧腿部疲劳而终止测试的就有10位, 而四肢联动测试中没有患者因为健侧腿部疲劳终止测试, 绝大多数人是因为全身疲劳而终止测试。这可能是由于卒中患者偏瘫侧下肢无力, 在蹬自行车时就会有意识使用健侧下肢代偿, 使其健侧下肢过早进入疲乏状态, 这样就会导致在达到最大运动负荷之前就要求终止测试, 所以使用功率自行车的患者中达到最大运动负荷的人数远较四肢联动少(58% vs 89%)。此外, 使用四肢联动做测试的患者中达到无氧阈的人数明显多于功率自行车(84% vs 42%), 而无氧阈的识别可以帮助确定患者有氧运动处方中的运动强度, 这可能也是因为卒中患者在使用功率自行车时容易引起下肢局部疲乏, 从而不能发挥运动耐力, 在达到无氧阈之前就终止了测试。两次测试中达到AT时相对摄氧量占VO₂peak的百分比分别为83%以及78%, 与文献^[19]中的范围是一致的(73.4%~89.7%)。

综上所述, 四肢联动在评估卒中患者心肺适能方面是安全、有效、可行的, 并且不容易引起患者疲劳, 因其整合了四肢运动, 其测试结果更贴近患者真实的心肺功能。基于心肺运动试验结果开具的运动处方也更精准, 这将进一步提高患者有氧训练的效果。本研究尚存在一些不足之处: 首先是样本量小, 限制了研究结论在整个卒中人群中的推广, 研究结果可能会高估整个卒中人群的平均心肺适能水平, 因为此次研究并没有包括严重运动障碍患者, 此类患者是否也适应四肢联动测试将在下一步研究中证实和补充; 其次, 由于四肢联动会带动部分躯干活动, 这会影响实时心电监测结果判读, 可以配备固定胸部躯干的装置, 以减少干扰, 这也将在今后的研究中进一步探索。

参考文献

1. Mozaffarian D, Benjamin EJ, Go AS, et al. Heart disease and stroke statistics—2015 update: a report from the American Heart

- Association[J]. *Circulation*, 2015, 131(4): e29-e322.
2. Billinger SA, Coughenour E, Mackay-Lyons MJ, et al. Reduced cardiorespiratory fitness after stroke: biological consequences and exercise-induced adaptations[J]. *Stroke Res Treat*, 2012, 2012: 959120.
 3. Prout EC, Brooks D, Mansfield A, et al. Patient characteristics that influence enrollment and attendance in aerobic exercise early after stroke[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2015, 96(5): 823-830.
 4. Billinger SA, Arena R, Bernhardt J, et al. Physical activity and exercise recommendations for stroke survivors: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association[J]. *Stroke*, 2014, 45(8): 2532-2553.
 5. Chu KS, Eng JJ, Dawson AS, et al. Water-based exercise for cardiovascular fitness in people with chronic stroke: a randomized controlled trial[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2004, 85(6): 870-874.
 6. Yates JS, Studenski S, Gollub S, et al. Bicycle ergometry in subacute-stroke survivors: feasibility, safety, and exercise performance[J]. *J Aging Phys Act*, 2004, 12(1): 64-74.
 7. Billinger SA, Tseng BY, Kluding PM. Modified total-body recumbent stepper exercise test for assessing peak oxygen consumption in people with chronic stroke[J]. *Phys Ther*, 2008, 88(10): 1188-1195.
 8. Mattlage AE, Ashenden AL, Lentz AA, et al. Submaximal and peak cardiorespiratory response after moderate-high intensity exercise training in subacute stroke[J]. *Cardiopulm Phys Ther J*, 2013, 24(3): 14-20.
 9. Edvardsen E, Hem E, Anderssen SA. End criteria for reaching maximal oxygen uptake must be strict and adjusted to sex and age: a cross-sectional study[J]. *PLoS One*, 2014, 9(1): e85276.
 10. Billinger SA, VAN Swearingen E, McClain M, et al. Recumbent stepper submaximal exercise test to predict peak oxygen uptake[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2012, 44(8): 1539-1544.
 11. van de Port IG, Kwakkel G, Wittink H. Systematic review of cardiopulmonary exercise testing post stroke: Are we adhering to practice recommendations?[J]. *J Rehabil Med*, 2015, 47(10): 881-900.
 12. Milani RV, Lavie CJ, Mehra MR, et al. Understanding the basics of cardiopulmonary exercise testing[J]. *Mayo Clin Proc*, 2006, 81(12): 1603-1611.
 13. Tang A, Sibley KM, Thomas SG, et al. Maximal exercise test results in subacute stroke[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2006, 87(8): 1100-1105.
 14. Eng JJ, Dawson AS, Chu KS. Submaximal exercise in persons with stroke: test-retest reliability and concurrent validity with maximal oxygen consumption[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2004, 85(1): 113-118.
 15. Marzolini S, Oh P, McIlroy W, et al. The feasibility of cardiopulmonary exercise testing for prescribing exercise to people after stroke[J]. *Stroke*, 2012, 43(4): 1075-1081.
 16. Smith AC, Saunders DH, Mead G. Cardiorespiratory fitness after stroke: a systematic review[J]. *Int J Stroke*, 2012, 7(6): 499-510.
 17. Baert I, Daly D, Dejaeger E, et al. Evolution of cardiorespiratory fitness after stroke: a 1-year follow-up study. Influence of prestroke patients' characteristics and stroke-related factors[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2012, 93(4): 669-676.
 18. Hill DC, Ethans KD, MacLeod DA, et al. Exercise stress testing in subacute stroke patients using a combined upper- and lower-limb ergometer[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2005, 86(9): 1860-1866.
 19. Chen JK, Chen TW, Chen CH, et al. Preliminary study of exercise capacity in post-acute stroke survivors[J]. *Kaohsiung J Med Sci*, 2010, 26(4): 175-181.

本文引用: 钱贞, 李瑾, 高民, 张秋阳, 陈伟. 四肢联动在脑卒中患者心肺适能评估中运用的可行性[J]. *临床与病理杂志*, 2017, 37(11): 2444-2451. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2017.11.026

Cite this article as: QIAN Zhen, LI Jin, GAO Min, ZHANG Qiuyang, CHEN Wei. Feasibility analysis of application of limbs linkage equipment in cardiorespiratory fitness assessment of stroke patients[J]. *Journal of Clinical and Pathological Research*, 2017, 37(11): 2444-2451. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2017.11.026