·临床研究·

上肢功率车在脊髓损伤截瘫患者心肺运动试验中的应用研究

范亚蓓[1,2] 王 盛[2] 王 翔[2] 李向哲[1] 殷晨慧[2] 张 勤[2] 王志祥[2] 王 彤[1,2,3]

摘要

目的:观察上肢功率车在脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)截瘫患者心肺运动试验中应用的可行性并分析SCI截瘫患者的心肺功能状态,探讨SCI截瘫患者有氧运动适合的评价指标。

方法:招募20例SCI截瘫患者(试验组)及20名健康人(对照组),所有受试者在K4b2气体分析仪的监测下,采用智能主被动上肢功率车进行心肺运动试验。受试者进入实验室,休息10min后开始上肢功率车运动,转速主动控制在50—60r/min。起始功率为0W,并以每2min增加10W的幅度递增,直至测试者出现限制性症状终止试验,监测整个运动过程的心肺指标、主观劳累程度、心率、血压等。

结果:测试过程中两组受试者心率、收缩压及舒张压在时间效应上存在显著差异(P<0.001);试验组与对照组比较发现,峰值摄氧量(19.38±2.56ml/min/kg,26.49±3.45ml/min/kg)、最大心率(143.35±20.01bmp,170.95±11.93bmp)、无氧阈时心率(102.35±12.16bmp,120.25±10.07bmp)、呼吸交换率的最大值(1.15±0.04,1.22±0.05)、运动时间 (12.55±0.61min,13.47±1.13min)差异有显著性意义(P<0.01);试验组无氧阈时所对应的主观劳累程度与对照组比较,差异无显著性意义(P>0.05)。试验组获得的最大心率约为预期值的67%,对照组获得的最大心率约为预期值得85%。

结论:对SCI截瘫患者采用上肢功率车运动进行心肺运动试验具有一定的可行性,SCI截瘫患者的心肺功能均有不同程度下降;主观劳累程度可作为此类患者有氧运动强度的适宜参数。

关键词 脊髓损伤;截瘫;心肺运动试验;上肢功率车

中图分类号:R681,R493 **文献标识码**:A **文章编号**:1001-1242(2017)-11-1231-05

Application and analysis of upper limb cycle ergometer for cardiopulmonary exercise in paraplegic spinal cord injury patient/FAN Yabei,WANG Sheng,WANG Xiang,et al.//Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2017, 32(11): 1231—1235

Abstract

Objective: To observe the application of the upper limb cycle ergometer for cardiopulmonary exercise in paraplegic spinal cord injury(SCI) patients. To analyze the cardiopulmonary function and explore the appropriate assessment indicators of aerobic exercise for the SCI patients.

Method: Twenty SCI patients and 20 healthy control were recruited in this study. All subjects performed active arm MOTOmed exercise under the monitoring of K4b2. The exercise protocol was as follow:10 minutes' rest in sitting followed by the upper limb cycle ergometer exercise(50-60 round per minute,the starting resistance was 0 power increased with 10 watt every 2 minutes) until the ending criterion was reached. The cardiopulmonary and cardiovascular data of each subjects were monitored as well as the Rating of Perceived Exertion data.

Result: All subjects showed significant change on the heart rate, systolic and diastolic blood pressure during the testing(P<0.001). The two groups showed statistical significant difference in the peak oxygen uptake(19.38±

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2017.11.005

1 南京医科大学,南京,210000; 2 江苏省人民医院; 3 通讯作者

作者简介:范亚蓓,女,主管技师; 收稿日期:2017-05-02

2.56, 26.49±3.45ml/min/kg),the peak heart rate(143.35±20.01, 170.95±11.93bmp), the heart rate at anaerobic threshold(102.35±12.16, 120.25±10.07bmp), the maximum respiratory exchange rate(1.15±0.04, 1.22±0.05) and the exercise test duration(12.55±0.61, 13.47±1.13min)(P<0.01); There is no statistical difference in the Rating of Perceived Exertion during the anaerobic threshold between groups(P>0.05). The peak heart rate of the SCI group was 67% of the predicted value while the peak heart rate of the control group was 85% of the predicted value.

Conclusion: Upper limb cycle ergometer was applicable in cardiopulmonary exercise test for paraplegia SCI patients. The cardiopulmonary function was declined in paraplagic SCI patients. The ratings of Perceived Exertion could be a suitable parameter used for the guide of the aerobic exercise for those patients.

Author's address Nanjing Medical University, 210000

Key word spinal cord injury; paraplegia; cardiopulmonary exercise; upper limb cycle ergometer

随着医疗技术和康复治疗的发展，脊髓损伤（spinal cord injury, SCI）患者的死亡率逐步下降，重返社区生活的比率在大幅提升[1]。而通过回访及相关研究发现，SCI患者比正常人更容易发生肥胖、糖脂代谢异常、甚至代谢综合征[2—3]，因此，如何有效改善他们的代谢状态，成为康复治疗中必须考虑的问题之一。众所周知，有氧运动在调控血脂、血糖代谢和体重方面有积极的作用，但在SCI截瘫患者丧失下肢主动运动能力的同时，采取何种方式及强度完成有氧运动，已成为改善SCI截瘫患者代谢状态的重要议题。本文旨在探讨上肢功率车在SCI截瘫患者心肺运动试验中应用的可行性，观察训练时SCI截瘫患者心肺功能的变化规律，并探究SCI截瘫患者有氧运动适合的评价指标。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2015年2月—2017年4月在江苏省人民医院康复医学中心收治的SCI截瘫患者20例。

纳入标准：①符合创伤性脊髓损伤诊断标准，有明显外伤史，影像学检查证实有椎体骨折/移位；②病程在3个月—1年；③神经损伤平面在T6—T12，ASIA A或B级；④生命体征稳定，无自主神经过反射状况；⑤坐位平衡Ⅱ级或以上，双上肢功能正常，可耐受心肺运动试验。

排除标准：①血压、心功能不稳定者；②严重心律失常者；③服用β受体阻滞剂等明显影响心率药物者；④合并颅脑外伤者；⑤有发烧、感染等并发症的患者；⑥严重认知障碍、抑郁不能配合上肢功率车运动的试验者。健康对照组：选择与试验组患者年龄、性别、身高、体重等相匹配的正常人20名。两组患者的性别、年龄、体质指数（body mass index, BMI指数）差异无显著性意义，见表1。

表1 受试者一般资料比较 （$\bar{x}\pm s$）

指标	试验组(n=20)	对照组(n=20)	P
性别(男:女)	16:4	16:4	
年龄	32.35±10.06	32.55±9.02	0.95
BMI	22.02±2.75	22.14±2.18	0.26
ASIA A	15		
ASIA B	5		

1.2 测试方法

试验组与对照组均按下述方法进行心肺运动试验：受试者进入测试场所，取坐位，连接心电监测设备，休息10min，测得安静时的心率和血压；之后佩戴呼吸面罩进行气体分析（心肺运动检测系统，K4b2型，意大利COSME公司），并采用智能主被动上肢功率车（MOTOmed, viva2型，德国Reck公司），将其置于患者前方，调至合适的高度，患者握持上肢功率车把手开始转动。配备节拍器，帮助测试者将转速主动控制在50—60r/min。起始为无负荷运动（0W），每2min增加10W的功率，并记录1次测试者的心率和血压。将主观劳累程度分级表在每次增加阻力前展示给测试者，进行测试、记录。参照运动试验的有关标准终止运动试验[4]，测试全程密切观察测试者的心电图及心肺指标，并在实验室配备氧气、除颤仪、急救药品等，以确保安全。

运动终止的指标：主要包括急性心肌梗死，严重心律失常或心绞痛发作；随功率递增血压下降低于运动前标准，或血压过高（收缩压>220mmHg，舒张

压>115mmHg);ECG显示ST段水平压低或下斜压低>2mm,或ST段抬高>2mm;严重疲乏,气促等[4]。

1.3 观察指标

①主观劳累程度分级(rating of perceived exertion,RPE):是利用主观感觉推测运动负荷强度的一种有效方法,可以此控制运动强度;②峰值摄氧量(peak oxygen uptake,VO_{2peak}):达到最大运动负荷时的摄氧量;③呼吸交换率的最大值(respiratory exchange rate, RER):CO_2排出量与耗氧量的最大比值;④无氧阈(anaerobic threshold, AT):是指在递增负荷的运动中,骨骼肌尚未出现乳酸堆积的情况下,人体最大限度地利用最大摄氧量的百分比,是机体由有氧代谢向无氧代谢过渡,反映骨骼肌的运动耐力[3,5];⑤无氧阈(anaerobic threshold,AT)时对应的心率;⑥无氧阈时对应的RPE;⑦运动试验最大心率(peak heart rate,HR_{peak}):整个运动试验中出现的最大心率;⑧运动试验持续时间(exercise test duration):指的是进行上肢功率车运动达到相应终止指标时心肺运动试验持续的时间;⑨两项乘积:指心率和收缩压的乘积,它代表心肌的耗氧水平。

1.4 统计学分析

使用SPSS 20.0进行统计分析,计量资料使用均值±标准差表示。心率及血压建立一般线性模型重复度量方差分析,组间比较计量资料使用t检验,计数资料采用χ^2检验。设定P<0.05为差异具有显著性意义。

2 结果

2.1 两组测试者心肺试验结果分析

试验组与对照组均完成了心肺运动试验,无任何不良事件发生。试验组峰值摄氧量、最大心率、无氧阈时所对应的心率、峰值呼吸交换率、试验时间均显著低于对照组(P<0.01),试验组无氧阈时所对应的主观劳累程度与对照组无显著性差异(P>0.05)。见表2。试验组获得的最大心率约为预期值的67%,对照组获得的最大心率约为预期值的85%。

2.2 两组测试者运动试验中心率及血压变化

两组测试者均能坚持运动到12min,且达到无氧阈的标准。12min以后,部分试验组及对照组患者未能坚持运动(其中试验组12例,对照组3例),剩余参与者于第14—16min停止运动试验。因此本研究仅对前12min两组患者的心率、血压数据进行统计分析。

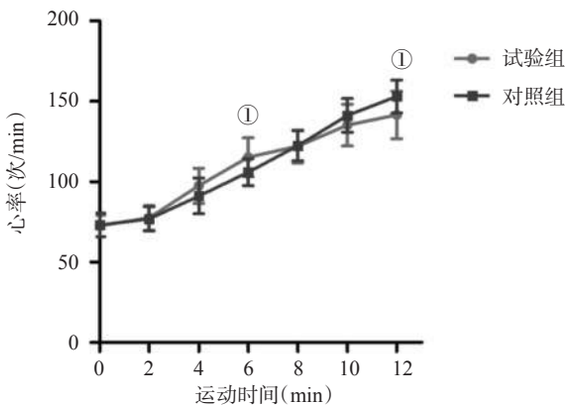
表2 两组测试者心肺运动试验结果 ($\bar{x}\pm s$)

指标	试验组(n=20)	对照组(n=20)	P
VO_{2peak}(ml/min/kg)	19.38±2.56	26.49±3.45	<0.01
HR_{peak}(bpm)	143.35±20.01	170.95±11.93	<0.01
AT时心率(bpm)	102.35±12.16	120.25±10.07	<0.01
AT对应RPE	12.75±0.64	12.55±0.69	0.29
RER	1.15±0.04	1.22±0.05	<0.01
两项乘积	199.55±29.99	249.91±23.31	<0.01
试验时间(min)	12.55±0.61	13.47±1.13	<0.01

2.2.1 运动后两组患者心率变化情况:使用重复度量方差分析显示,两组受试者心率在时间效应上存在显著差异(F=590.897,P<0.001);在分组效应上,两组心率无显著差异(F=0.018,P=0.893)。同一时间点两两分析显示,除第6min试验组心率高于对照组(t=2.831,P=0.007),12min时对照组心率高于试验组外(t=2.855,P=0.007),余时间点两组间差异无统计意义(P>0.05)。提示,在上肢功率车运动心肺运动测试中两组患者心率均呈现上升趋势,两组间总体趋势无显著性差异。但运动初期试验组心率上升快于对照组,运动后期试验组心率提升慢于对照组,如图1。

2.2.2 运动后两组患者血压变化情况:重复度量方差分析显示,两组舒张压在时间效应上存在显著差异(F=57.054,P<0.001),分组效应差异无显著性意义(F=3.615,P=0.065);收缩压在时间效应上存在显

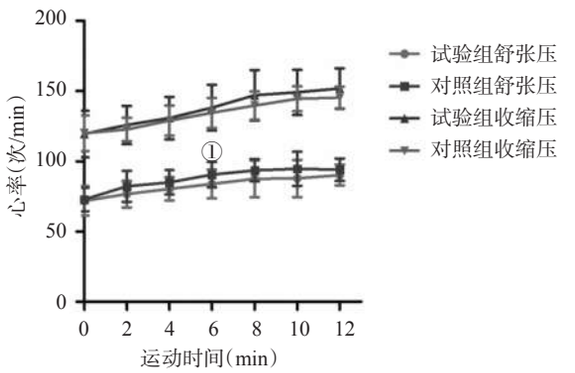
图1 运动后两组患者心率变化情况



注:①与对照组心率相比P<0.01

著差异（F=104.479，P<0.001），分组效应无显著差异（F=1.097，P=0.302）。后续同一时间点两两比较显示，对照组舒张压在6min时明显高于试验组（t=2.184，P=0.035），余时间点舒张压与收缩压差异均无显著性意义（P>0.05，图2）。说明运动训练在时间效应上对两组患者的血压均有影响，均呈现上升趋势，分组效应对两组收缩压与舒张压没有明显影响，两组血压整体变化趋势基本一致，见图2。

图2　运动后两组患者血压变化情况



注：与对照组舒张压相比，①P<0.05

3　讨论

SCI后的康复是一个长期的过程，大量外伤性SCI患者是青壮年，他们有着长期良好生活质量的需求[6]。研究显示，SCI后由于瘫痪导致运动量减少，体能与耐力下降，心肺疾病高发已成为SCI患者不容忽视的重要问题[7]。有氧运动是指全身大肌群中等强度、有节律性、持续一定时间的耐力性运动，是干预心肺疾病公认有效的康复训练手段[8]。但目前针对有氧运动评估、监测及处方制定的研究主要集中在心肺疾病患者，对SCI截瘫患者有氧运动的研究相对较少，因此，如何在SCI截瘫患者中进行有氧运动训练，并确定适宜、有效的运动强度，是目前值得关注和探讨的问题。

考虑到本观察中的SCI截瘫患者只有部分躯干及双上肢肌肉功能保留完好，所以选择较为可行的上肢功率车运动进行心肺运动试验。参考Jung W等[9]的试验方法及Wasserman K[10]等提出的运动试验原则，采取50—60r/min的转速；同时根据我们预实验中逐级递增不同功率的测试，最终将递增的幅度确定为每2min增加10W。

心肺运动试验的检测指标可分别对机体的运动耐力、心脏功能、肺通气、气体交换功能等方面进行评价[11]。最大摄氧量是指人体在极量运动时的最大摄氧能力，是心肺健康的金标准[12]。而临床中早期出现的无法耐受的症状限制了最大运动，所以在临床中，尽管峰值摄氧量和最大摄氧量的生理意义并不一样，但两者经常互换使用[12]。本研究的试验组均选择了截瘫的SCI患者，采用了操作安全且简便易行的手动转轮方式进行心肺运动测试和气体代谢分析，获取了心肺功能的相关指标。但由于SCI截瘫患者运动能力下降，上肢功率车运动中参与的肌肉群较小，多数患者并未能达到极量运动即因疲劳而无法坚持试验，因此，只获得了峰值摄氧量，却无法达到摄氧的平台期以获得最大摄氧量。考虑到上述情况，本试验同时使用了另一个指标——呼吸交换率。呼吸交换率是指CO_2排出量与耗氧量的比值。当其达1.0—1.15，峰值呼吸交换率超过1.10，即达到次级量运动强度[13]。本研究中所有测试者试验终止时均同时满足了呼吸交换率超过1.10，运动时间达到8—12min两项要求[14]，说明测试者已达到次级量运动强度。在本测试中无氧阈的采集常规使用的是V-slope法，对于判断困难时兼顾心肺运动试验9图中，氧当量与CO_2当量变化的关系，以及呼气末氧分压与CO_2分压之间变化的关系来最终确定的[4]。

本研究结果显示，试验组的最大心率比对照组低12%，峰值摄氧量比对照组低27%，无氧阈时的心率值比对照组低15%，呼吸交换率的最大值比对照组低6%，试验时间比对照组低11%，运动峰值时的两项乘积比对照组低20%。两组测试者的主观劳累程度与心率成正相关，无氧阈时主观劳累程度级别与对照组无显著差异。以上结果说明：T6—T12平面的SCI截瘫患者的心肺功能较正常人群是明显下降的，这与相关学者的研究相一致[2,15]。在无条件进行心肺运动试验时，可将主观劳累程度作为SCI截瘫患者有氧运动强度的参考指标。而将试验组和对照组测得的最大心率与正常最大心率预计值（220-年龄）对比得知，两组分别较预计值降低了33%和15%；这主要是由于上肢功率车运动中参与的肌群有限，易诱发疲劳所致，同时也说明SCI截瘫患者的

心肺功能是下降的。参考上述比例,在使用上肢功率车给SCI截瘫患者进行心肺试验时,测得的数值可能比其真实能力低15%左右。

综上所述,采用上肢功率车对T6—T12平面的SCI截瘫患者进行心肺运动试验是可行的,参加试验的SCI截瘫患者心肺功能均有不同程度的下降,主观劳累程度可作为这些患者有氧运动强度的参考指标。但本研究样本量有限,对于运动测试过程中每级运动递增的幅度和时间的把控尚待进一步研究。

参考文献

[1] Schwab ME. Repairing the injured spinal cord[J]. Science, 2002, 295(5557): 1029—1031.

[2] Lai YJ, Lin CL, Chang YJ, et al. Spinal cord injury increases the risk of type 2 diabetes: a population- based cohort study[J]. Spine J, 2014, 14(9): 1957—1064.

[3] Van Tol BA, Huijsmans RJ, Kroon DW, et al. Effects of exercise training on cardiac performance, exercise capacity and quality of life in patients with heart failure: a meta-analysis[J]. Eur J Heart Fail, 2006, 8(8): 841—850.

[4] 黄思贤, 谭新洪. 心肺运动试验的临床应用[M].第1版.北京:人民卫生出版社,2007. 128—129,38—40.

[5] 姜文君, 鲍军, 王磊,等. 不同强度有氧训练对轻中度慢性阻塞性肺疾病的作用[J]. 中国康复医学杂志, 2012, 27(2): 120—124.

[6] 唐智生,毛容秋. 脊髓损伤的流行病学研究[J]. 广西医科大学学报,2011,28(5):811—814.

[7] Lee MY, Myers J, Hayes A, et al. C-reactive protein, metabolic syndrome, and insulin resistance in individuals with spinal cord injury[J]. J Spinal Cord Med, 2005, 28(1): 20—25.

[8] 中华医学会心血管病学分会,中国康复医学会心血管病专业委员会,中国老年学学会心脑血管病专业委员会. 冠心病康复与二级预防中国专家共识[J]. 中华心血管病杂志,2013,4l(4):267—275.

[9] Jung W, Yamasaki M. Effect of pre-exercise carbohydrate ingestion on substrate consumption in persons with spinal cord injury[J]. Spinal Cord, 2009, 47(6): 464—9.

[10] Wasserman K, Hansen JE, Stringer W, et al. Principles of Exercise Testing and Interpretation[M]. Philadelphia PA: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, 2011: 985—987.

[11] 宁亮, 孙兴国. 心肺运动试验在医学领域的临床应用[J]. 中国全科医学, 2013, 16(33): 3898—3902.

[12] 车琳, 王乐民. 心肺运动试验的临床应用[C]. 中国康复医学会第七次全国老年医学与康复学术大会论文集, 2012: 81—87.

[13] Balady GJ, Arena R, Sietsema K, et al. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults a scientific statement from the American Heart Association[J]. Circulation, 2010, 122(2): 191—225.

[14] 徐泉, 潘钰, 张啸飞,等. 脑卒中偏瘫患者心肺运动功能评估临床研究[J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(12): 1334—1338.

[15] 汲阳, 恽晓平. 不同损伤平面脊髓损伤患者运动试验中心肺功能的变化[J]. 中国康复理论与实践, 2007, 13(10): 915—916.