

脊髓损伤患者在低强度运动中最大脂肪氧化速率研究

侯靖钊¹ 包洪卫¹ 吴 剑^{1,2}

摘要

目的:探究脊髓损伤患者在不同强度运动下的脂肪氧化速率。

方法:选取30例无运动习惯的脊髓损伤(SCI)患者,所有受试者接受两次使用上肢功率车的递增运动负荷试验:基准测试(baseline test)和脂肪氧化强度测试(Fat_{max} test),两次测试中均进行呼吸气体分析。baseline test中起始功率5W,每3min递增10W,转速60rpm,直至患者力竭,测定此过程摄氧量(VO_2)和呼吸商(RQ)的变化。Fat_{max} test包括五级递增负荷,每级持续6min,起始负荷为5W,第五级负荷为baseline test中呼吸商为1时对应的负荷,其他三级按照两者之差的平均值进行计算,测算脂肪代谢速率的变化。

结果:随着运动强度的增加,SCI患者脂肪氧化速率呈先升高后下降的趋势。在 $34.9\% \pm 2.3\%$ VO_2 peak运动强度下达到脂肪氧化率峰值(5.46 ± 0.75) $\mu\text{mol/kg/min}$,之后随着运动强度的增加脂肪氧化率出现明显下降,在 41.83 ± 2.18 、 52.29 ± 1.73 、 $61.32 \pm 1.98\%$ VO_2 peak运动强度下脂肪氧化率依次为(3.92 ± 0.69) $\mu\text{mol/kg/min}$ 、(2.85 ± 0.61) $\mu\text{mol/kg/min}$ 、(0.58 ± 0.19) $\mu\text{mol/kg/min}$ ($P < 0.05$)。

结论:在脊髓损伤患者的康复过程中,应当注重低强度运动的干预,使脂肪氧化速率最大化,降低肥胖在SCI患者中的发生率。

关键词 最大脂肪代谢强度;脊髓损伤;低强度运动

中图分类号:R744, R493 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2017)-10-1139-04

The maximal lipid oxidation rates in spinal cord injury patients with different exercise intensities/HOU Jingzhao, BAO Hongwei, WU Jian//Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2017, 32(10): 1139—1142
Abstract

Objective: To observe the lipid oxidation rates in spinal cord injury (SCI) patients with different exercise intensities.

Method: Thirty sedentary patients with SCI were selected to perform incremental exercise load tests (baseline test and Fat_{max} test) with upper limb power vehicle. Meanwhile, both tests included respiratory gas analysis. In baseline tests, the workload was started at 5W and increased by 10W every 3 min, with 60 rpm until patients exhausted. The Fat_{max} test included 5 stages of workload and every stage kept 6 min. The initial workload was 5W, the fifth workload was corresponded to the load when respiratory quotient was 1 in the baseline test, the other workload was set according to the average of the initial and fifth workload. All lipid oxidation rates were measured by oxygen uptake (VO_2) and respiratory quotient (RQ) in the tests.

Result: With the increase of exercise intensity, lipid oxidation rates in SCI patients increased at first and then decreased. The peak of lipid oxidation rates (5.46 ± 0.75 $\mu\text{mol/kg/min}$) arrived at the intensities of $34.9\% \pm 2.3\%$ VO_2 peak. After that the lipid oxidation rates decreased significantly as 3.92 ± 0.69 , 2.85 ± 0.61 , 0.58 ± 0.19 $\mu\text{mol/kg/min}$ at 41.83 ± 2.18 , 52.29 ± 1.73 and $61.32 \pm 1.98\%$ VO_2 peak accordingly ($P < 0.05$).

Conclusion: During the rehabilitation of SCI patients, we should pay attention to the intervention from low intensity exercise to maximize lipid oxidation rates, reducing the incidence of obesity in SCI patients.

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2017.10.010

1 江苏省靖江市人民医院,靖江,214500; 2 通讯作者

作者简介:侯靖钊,男,副主任医师; 收稿日期:2016-05-30

Author's address Department of Orthopaedics, Jinjiang People's Hospital Jinjiang, Jiangsu, 214500

Key word the maximal lipid oxidation; spinal cord injury; low intensity exercise

脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)急性期过后由于部分代谢功能的瘦体重减少,静息能量消耗减少,加上患者受伤后运动减少^[1],患者总能量消耗显著减少,从而加速了脂肪堆积^[2]。研究显示,脊髓损伤患者肥胖和代谢障碍是导致心血管事件的重要因素^[3-4]。所以控制脊髓损伤患者的肥胖和脂质代谢有重要意义。一般认为,低强度长时间运动是加速脂肪氧化的最佳方式,但是单位时间内的能量消耗也较低。在单位时间内脂肪代谢峰值对应的强度为最大脂肪代谢强度(Fat_{max}),此峰值为最大脂肪代谢率(Fat_{max} Rate), Fat_{max} 的提出对于旨在加速脂肪氧化的运动处方的强度的制定非常重要^[5]。在脊髓损伤患者的运动训练中,上肢转轮功率计是常见方式,但是关于在不同运动强度上肢转轮功率计如何影响脊髓损伤患者脂肪代谢速率的研究尚少见。本研究旨在通过观察不同运动强度下SCI患者脂肪代谢速率的变化,探索SCI患者脂质代谢合适的运动强度,为SCI患者运动处方的制定提供依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象

2015年3月—9月,在江苏省靖江市人民医院骨科及康复科就诊的SCI患者30例,基本信息如下:年龄:(42±5)岁;体重:(99.1±10.1)kg;T4—T10平面损伤;病程:(3.0±1.2)年。

纳入标准:①闭合钝性挫伤所致,MRI或CT确诊脊柱脊髓损伤;②无合并心肺疾病;③符合美国脊髓损伤协会ASIA2000标准诊断;④所有患者脊柱稳定性良好,双下肢肌肌张力≤1级(改良Ashworth标准),双下肢各关节被动关节活动度(range of motion, ROM)正常;⑤无规律运动习惯。

排除标准:①压疮、膀胱感染、肾结石、心血管疾病、糖尿病;②有反复发作植物神经异常反射病史;③症状性低血压;④使用 α 受体阻滞剂;⑤合并颅脑损伤或认知功能障碍者。

1.2 方法

所有受试者接受两次递增负荷运动试验,上肢功率计选用电磁转轮功率计记录功率变化,并且使

用K4B2无线遥测动态采集呼吸气体代谢参数,包括摄氧量(VO_2),呼吸商(respiratory quotient, RQ)等数据,并使用间接测热法推算运动过程中脂肪氧化率。

两次试验均在饭后2小时进行,患者先在实验室静坐30min,了解测试的注意事项,熟悉试验流程。测试时受试者戴遥测心率表胸带和呼吸面罩,在意大利COSMED气体心肺功能测试系统(型号K4B2)上进行运动负荷试验。两次运动负荷试验间隔2d,分别为基准试验(baseline test)和最大脂肪氧化速率试验(Fat_{max} test)。

1.2.1 基准试验:受试者先在0W的转轮功率计上热身3min,之后每3min递增10W,试验过程中转轮转速均保持在60rpm,直至力竭。由于上肢功率计中动员肌群较下肢功率计变少,这种局部疲劳一般无法使最大负荷达到ACSM指南中的试验停止标准,在实际测试中多以受试者虽经鼓励但摇车速度仍低于要求转速5rpm以上时为终止试验标准。试验过程中检测每个阶段的 VO_2 、RQ,试验终止时的 VO_2 即为峰值摄氧量。采用MATLAB 7.10.0对不同运动负荷下的RQ进行三项式拟合,确定运动负荷与RQ曲线、RQ为1时的运动负荷。

1.2.2 脂肪氧化强度试验:受试者在baseline test之后48h后接受第二次运动试验, Fat_{max} test分为五个递增阶段,每个阶段内强度不变,每级持续4min,起始负荷为5W,第五级负荷为baseline test中呼吸商为1时对应的负荷,其他三级按照两者之差的平均值进行计算,受试者同样在0W的转轮功率计上热身3min后进行运动试验,记录 VO_2 和RQ的变化,并利用RQ值通过间接测热法计算脂肪的代谢速率变化。采用MATLAB 7.10.0对不同强度下的脂肪氧化率进行三项式拟合,确定运动强度与脂肪氧化率曲线、脂肪氧化峰值和 Fat_{max} 。

1.3 统计学分析

计量资料采用均数±标准差表示,采用SPSS 19.0统计软件进行统计分析,运动中不同运动负荷的各组数据采用重复测量设计的方差分析。采用MATLAB 7.10.0对不同强度下的脂肪氧化量进行

三项式拟合,确定运动强度与脂肪氧化量曲线、脂肪代谢峰值和Fat_{max}。

2 结果

随着运动强度的增加,SCI患者脂肪氧化速率呈先升高后下降的趋势。在34.9%±2.3% VO_{2peak}运

动强度下达到脂肪氧化率峰值(5.46±0.75)μmol/kg/min,之后随着运动强度的增加脂肪氧化率出现明显下降,在41.83±2.18、52.29±1.73、61.32±1.98% VO_{2peak}运动强度下脂肪氧化率依次为(3.92±0.69)μmol/kg/min、(2.85±0.61)μmol/kg/min、(0.58±0.19)μmol/kg/min(*P* < 0.05)。见表1。

表1 SCI患者在不同等级运动负荷下运动强度、呼吸商和脂肪氧化率的变化

负荷等级	第一级	第二级	第三级	第四级	第五级	Fat _{max}
运动强度(%VO _{2peak})	19.78±1.67	28.42±1.39	41.83±2.18	52.29±1.73	61.32±1.98	34.91±2.34
呼吸商	0.88±0.13	0.79±0.15	0.81±0.17	0.89±0.19	1	0.72±0.04
脂肪氧化率(μmol/kg/min)	3.14±0.23	4.19±0.47	3.92±0.69	2.85±0.61 ^①	0.58±0.19 ^②	5.46±0.75

与第三级相比:①*P* < 0.05;与第四级相比:②*P* < 0.01

3 讨论

脊髓损伤影响患者的代谢,改变其生活方式,可能出现肥胖问题。肥胖会使SCI患者出现体重、心血管疾病风险及胰岛素抵抗增加,并会逐渐产生许多并发症,脂肪代谢相关并发症严重影响患者的生存质量^[6],预防和控制SCI患者的肥胖有重要的临床意义^[7]。但目前普遍缺乏对SCI患者的脂肪干预意识。临床上控制SCI患者肥胖的主要方法包括饮食控制、运动训练、电刺激和抗痉挛药物等,而在运动处方的制定中,关于运动强度的控制较为模糊,临床研究较少。本研究旨在通过观察不同运动强度下SCI患者脂肪代谢速率的变化,探索SCI患者脂肪代谢合适的运动强度,为SCI患者运动处方的制定提供依据。

运动强度的改变是引起脂肪氧化速率变化的主要原因,正常人的最大脂肪氧化速率出现在一个比较大的范围内(33%—65% VO_{2peak})^[8-9]。Achten等^[10]证实持续性的递增负荷运动是准确测量Fat_{max}的有效方法,本研究采取了类似的方案。本试验结果显示,随着运动强度的增加,SCI患者脂肪氧化速率呈先升高后下降的趋势,这种变化趋势与一些对不同人群Fat_{max}所做的研究基本一致^[11-13]。患者在运动强度达到34.9%±2.3% VO_{2peak}时脂肪氧化速率达到峰值Fat_{max} Rate,在此低强度运动中,SCI患者脂肪代谢最高,但随着运动强度的逐渐增加,脂肪氧化速率出现了一个下降的趋势,本试验第五等级运动负荷下运动强度达到60% VO_{2peak}左右时,SCI患者呼

吸商接近1,此时脂肪氧化速率降低接近零,而能量代谢主要以糖供能为主。体内能源物质参与代谢的情况与运动强度和持续时间密切相关,为SCI患者制定有氧运动处方,我们希望能够尽量大地动员和利用脂肪组织,所以SCI患者运动处方制定中,强度应当设定为低强度长时间的运动来加速脂质代谢。

本研究显示SCI患者Fat_{max}低于正常人群,这可能与脊髓损伤以来长期缺乏运动有关,张勇等^[14]研究显示无训练者Fat_{max}低于有训练者。另外,也可能与其胸段脊髓损伤而影响了交感神经功能有关。Fat_{max}是一个较新的概念,该指标对于脊髓损伤患者有氧运动强度的制定有重要意义。目前Fat_{max}处于探索阶段,实际应用较少,临床应用时应该关注患者的一些个体因素。

Fat_{max}受诸多因素影响,首先,Fat_{max}与患者本身心肺功能有关,不同心肺功能的患者Fat_{max}会有明显差别^[15],临床应用到SCI患者治疗中需要测试患者的Fat_{max}水平,SCI患者有氧运动处方中运动强度需要根据患者身体状况的不同而调整;第二,研究表明女性的Fat_{max}水平普遍高于男性,并且女性在同强度的有氧运动中脂肪占供能比例明显高于男性^[16];第三,运动中或运动前补充糖分会降低脂肪酸的氧化,降低脂肪氧化速率^[17],但是膳食营养的补充对于Fat_{max}的具体影响还需要进一步研究,就目前看来不建议SCI减脂运动中补充糖类;第四,选择不同的运动方式对患者Fat_{max}也有影响^[18]。

不同运动强度下人体脂肪氧化率变化的调节机

制主要在于神经内分泌、代谢产物及循环水平。运动强度与运动过程中机体能量消耗和供能物质的比例有着密切关系,主要表现为糖与脂肪氧化的比例发生的改变。在低强度($<30\%VO_{2max}$)长时间运动过程中,来自脂肪组织的游离脂肪酸是肌肉燃料的主要来源,脂肪酸释放入血的速率和氧化率同时增加,此时脂肪氧化供能比例较高。这可能与运动强度较低,机体能量需求较小,氧供应充足、慢肌纤维募集,脂肪氧化供能能力增强等因素有关^[19]。随着运动强度的增大,脂肪与糖对运动机体的供能比例不断发生变化,当运动负荷在机体 $50\%VO_{2max}$ 水平进行时,脂肪与糖的供能比例相同^[20]。当运动负荷接近最大摄氧量水平时,骨骼肌主要以肌糖原无氧酵解的方式获得能量,脂肪的氧化速率逐渐降低^[21]。从理论分析和实践研究来看,随着运动强度的增加,总能量供应增加脂肪参与供能比例减少,在这个运动过程中存在一个相对的最大脂肪氧化率。SCI患者在 Fat_{max} 强度下运动可以更高效地消耗脂肪,预防肥胖。

本研究样本量较低、观察时间较短,对于 Fat_{max} 具体运用到SCI患者运动处方的制定中仅提供参考,对于SCI患者的 Fat_{max} 、运动时间与运动强度三者之间的关系需在后续研究中继续探索, Fat_{max} 在SCI患者运动训练中的广泛推行仍需要进一步的研究和临床试验。

参考文献

- [1] Monroe MB, Tataranni PA, Pratley R, et al. Lower daily energy expenditure as measured by a respiratory chamber in subjects with spinal cord injury compared with control subjects[J]. *Am J Clin Nutr*, 1998, 68(6):1223—1227.
- [2] Kocina P. Body composition of spinal cord injured adults[J]. *Sports Med*, 1997, 23(1):48—60.
- [3] Dionyssiotis Y, Stathopoulos K, Trovas G, et al. Impact on bone and muscle area after spinal cord injury[J]. *Bonekey Rep*, 2015, (4):633
- [4] Čichoň R, Maszczyk A, Stastny P, et al. Effects of Krav Maga Training on Performance and Body Composition in Wheelchair Users[J]. *J Hum Kinet*, 2015, (48):71—78.
- [5] Burke LM, Hawley JA. Effects of short-term fat adaptation on metabolism and performance of prolonged exercise[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2002, 34(9):1492—1498.
- [6] de Groot S, Post MW, Snoek GJ, et al. Longitudinal association between lifestyle and coronary heart disease risk factors among individuals with spinal cord injury[J]. *Spinal Cord*, 2013, 51(4):314—318.
- [7] Inskip J, Plunet W, Ramer L, et al. Cardiometabolic risk factors in experimental spinal cord injury[J]. *J Neurotrauma*, 2010, 27(1):275—285.
- [8] Sidossis LS, Gastaldelli A, Klein S, et al. Regulation of plasma fatty acid oxidation during low- and high-intensity exercise[J]. *Am J Physiol*, 1997, 272(6 Pt 1):E1065—1070.
- [9] Kimber NE, Cameron-Smith D, McGee SL, et al. Skeletal muscle fat metabolism after exercise in humans: influence of fat availability[J]. *J Appl Physiol* (1985), 2013, 114(11):1577—1585.
- [10] Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE. Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2002, 34(1):92—97.
- [11] 宋伟,胡柏平.最大脂肪代谢强度在运动实践中应用的研究进展述评[J].*体育学刊*,2010,102(5):104—109.
- [12] van Loon LJ, Greenhaff PL, Constantin-Teodosiu D, et al. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans[J]. *J Physiol*, 2001, 536(Pt 1):295—304.
- [13] McDaniel J, Durstine JL, Hand GA, et al. Determinants of metabolic cost during submaximal cycling[J]. *J Appl Physiol* (1985), 2002, 93(3):823—828.
- [14] 张勇,李之俊.训练者和无训练者脂肪氧化动力学与最大脂肪氧化强度研究[J].*体育科学*,2013,33(2):61—68.
- [15] Nordby P, Saltin B, Helge JW. Whole-body fat oxidation determined by graded exercise and indirect calorimetry: a role for muscle oxidative capacity?[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2006, 16(3):209—214.
- [16] Grams L, Kuck M, Haufe S, et al. Peak fat oxidation during self-paced activities of daily life - influence of sex and body composition[J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 2016, [Epub ahead of print].
- [17] Tokmakidis SP, Karamanolis IA. Effects of carbohydrate ingestion 15 min before exercise on endurance running capacity[J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2008, 33(3):441—449.
- [18] Capostagno B, Bosch A. Higher fat oxidation in running than cycling at the same exercise intensities[J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 2010, 20(1):44—55.
- [19] Spriet LL. New insights into the interaction of carbohydrate and fat metabolism during exercise[J]. *Sports Med*, 2014, 44(Suppl 1):S87—96.
- [20] Shadman Z, Khoshniat M, Poorsoltan N, et al. Association of high carbohydrate versus high fat diet with glycated hemoglobin in high calorie consuming type 2 diabetics[J]. *J Diabetes Metab Disord*, 2013, (12):27.
- [21] 张勇,王恬.不同强度骑车和跑步的能量消耗与底物代谢特征研究[J].*中国体育科技*,2009,(1):111—114.