

等速蹬踏运动中下肢肌力学特征的研究

陈楚键 何任红 范建中 王惠娟 杜东

【摘要】 目的 观察并分析不同速度时,下肢等速蹬踏运动时的峰力、做功和屈伸峰力比等的变化规律。**方法** 选取健康成年人 30 例,采用德国产 IsoMED 2000 型等速测试系统中的蹬踏模式(Legpress 模式)对其进行测试,分别选用慢速(5 cm/s)和快速(50 cm/s)两种不同的速度,观察在不同速度下受试者双下肢、左下肢和右下肢的蹬踏运动,记录运动过程中峰力、做功和屈伸峰力比等力学指标。**结果** 速度为 50 cm/s 时,受试者左、右下肢屈伸的峰力和做功均显著低于速度为 5 cm/s 时,差异均有统计学意义($P < 0.05$);速度为 5 cm/s 时,左下肢蹬伸的峰力和做功与右下肢比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。速度为 50 cm/s 时,受试者左、右下肢屈曲的峰力和做功均显著低于速度为 5 cm/s 时,差异均有统计学意义($P < 0.05$);速度为 5 cm/s 和 50 cm/s 时,左下肢蹬伸的峰力与右下肢同速度时比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。速度为 50 cm/s 时,受试者左、右和双侧屈伸峰力比值均显著高于 5 cm/s 时同侧,差异均有统计学意义($P < 0.05$);速度为 5 cm/s 和 50 cm/s 时,右下肢屈伸峰力比值分别为(0.24±0.07)和(0.28±0.08),均显著低于左下肢同速度时的(0.28±0.07)和(0.30±0.11),差异均有统计学意义($P < 0.05$)。**结论** 不同速度时,双下肢、左下肢和右下肢蹬踏运动时的力学存在差异,在临床运动训练或康复治疗中应根据不同的目的选择不同的速度和训练模式。

【关键词】 蹬踏; 峰力; 做功; 闭链运动

基金项目: 南方医科大学创新强校科研启动基金(PY2014N055)

Lower limb muscle mechanics during isokinetic pedaling Chen Chujian, He Renhong, Fan Jianzhong, Wang Huijuan, Du Dong. Department of Rehabilitation Medicine, Nanfang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China

Corresponding author: Fan Jianzhong, Email: nfyfjz@126.com

【Abstract】 Objective To document and analyze the peak force and work during isokinetic pedaling at different linear speeds and the flexion-extension peak force ratio. **Methods** Thirty healthy adults were tested using the Legpress system of the IsoMED 2000 apparatus. Peak force, work and the flexion-extension peak force ratio were recorded and analyzed during isokinetic pedaling at 5 and 50 cm/s. **Results** The peak force applied and work done by the lower limbs were both significantly lower when pedaling at 50 cm/s than at 5 cm/s. There was no significant difference in peak force or work between the left and right legs at 50 cm/s. The peak force ratio at 50 cm/s was significantly higher than at 5 cm/s. **Conclusion** The mechanical characteristics of the leg muscles during isokinetic pedaling vary greatly. It is advisable to choose different linear speeds or training modes accordingly.

【Key words】 Pedal; Peak force; Work; Closed kinetic chain exercises

Fund program: Innovation and School-Strengthening Scientific Research Foundation of Southern Medical University(PY2014N055)

蹬踏动作是步行过程中的重要组成部分,其失衡可影响人体的协调和步行能力^[1]。通过下肢重复性蹬踏运动,可刺激下肢的本体感觉,促进下肢运动感觉的恢复,增强髋、膝、踝各关节的稳定性和协调性,最终改善患者下肢的整体协调能力,提高患者下肢的运动功能^[2]。因此,了解正常人蹬踏运动力学的变化规律,对指导下肢训练具有重要意义。目前,针对人体蹬踏运动的研究大多只关注单关节的测试与分析,很少

涉及下肢多关节的整合运动。

有研究指出,等速测试系统可用于评估人体上、下肢和躯干运动的力学指标,而蹬踏运动也是其重要的测试内容之一,且在力学的测试方法中,等速测试系统因其对力学测试的客观性、准确性和有效性,已成为目前测试力学的重要手段^[3]。本研究旨在通过等速测试系统,探讨健康成年人下肢蹬踏运动过程中的生物力学变化,并根据收集到的数据,分析下肢等速蹬踏运动过程中的相关规律,以期初步了解等速蹬踏运动的生物力学规律,为下肢运动训练提供参考。

资料与方法

一、一般资料

纳入标准:①均为右利手,且无慢性下肢疾患;②无下肢受伤或者其他原因导致的双下肢畸形;③无关节弹响、关节不稳、关节交锁;④测试过程中无明显下肢不适;⑤无严重的高血压、心脏疾病、外周血管疾病、呼吸系统疾病等其他影响测试的疾病;⑥自愿参加本研究,并签署知情同意书。

2014 年 1 月至 2015 年 4 月,募集符合以上纳入标准的受试者 30 例,其中男 19 例,女 11 例;年龄 20 岁~30 岁;体重 50 kg~80 kg;体重指数(body mass index, BMI)18~24 分;身高 150 cm~180 cm。

二、研究方法

1. 研究设备及参数:采用德国 D&R 公司研制的 IsoMED 2000 型等速测试系统进行测试,选择蹬踏模式(Legpress 模式)中的向心运动模式,分别测试受试者慢速(5 cm/s)和快速(50 cm/s)两种速度下的蹬伸和屈曲的力学指标。

2. 测试方法:调节 Legpress 测试单元的高度,使其与等速测试椅的高度平行,安装膝关节防过伸适配器,调整测力台的倾斜位置为 0 位,调整靠背后仰 70°,坐垫与靠背距离 10 cm。先进行快速运动测试,间歇 24 h 后再测试慢速运动测试。每次的测试顺序为先双下肢,再右下肢,最后左下肢,每组重复做 5 次,每组间歇 60 s。

三、观察指标

1. 峰力(单位 N):记录左、右下肢蹬伸和屈曲时力输出曲线最高点的力值,即下肢多关节运动时,肌肉收缩产生的最大力输出,用以表示肌肉或肌群的最大肌力。

2. 做功(单位 J):测试左、右下肢蹬伸和屈曲时力与运动距离的乘积,即力曲线下的总面积,用以表示肌肉收缩时所做的功。

3. 屈伸峰力比(屈肌峰力值/伸肌峰力值):该比值用以表示多关节活动中多组主动肌和拮抗肌之间的肌力协调情况。

四、统计学方法

采用 SPSS 19.0 版统计学软件进行数据分析,所有数据用($\bar{x}\pm s$)表示。计量资料符合正态分布时,使用配对 t 检验进行分析;不符合正态分布时,使用秩和检验;以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、30 例受试者不同速度蹬伸峰力和做功比较
速度为 50 cm/s 时,受试者左、右下肢蹬伸的峰力

和做功均显著低于速度为 5 cm/s 时,差异均有统计学意义($P<0.05$);速度为 5 cm/s 时,左下肢蹬伸的峰力和做功与右下肢比较,差异均有统计学意义($P<0.05$),详见表 1。

表 1 30 例受试者不同速度蹬伸峰力和做功比较($\bar{x}\pm s$)

速度	左下肢蹬伸的峰力(N)	右下肢蹬伸的峰力(N)	左下肢蹬伸的做功(J)	右下肢蹬伸的做功(J)
5 cm/s	788.50±133.98	742.50±169.66 ^b	134.75±44.13	121.25±76.53 ^b
50 cm/s	559.75±87.56 ^a	589.00±122.45 ^a	71.00±20.69 ^a	77.25±30.69 ^a

注:与同一侧下肢慢速比较比,^a $P<0.05$;与同速度左下肢比较,^b $P<0.05$

二、30 例受试者不同速度屈曲峰力和做功比较

速度为 50 cm/s 时,受试者左、右下肢屈曲的峰力和做功均显著低于速度为 5 cm/s 时,差异均有统计学意义($P<0.05$);速度为 5 cm/s 和 50 cm/s 时,左下肢蹬伸的峰力与右下肢同速度时比较,差异均有统计学意义($P<0.05$),详见表 2。

表 2 30 例受试者不同速度屈曲峰力和做功比较($\bar{x}\pm s$)

速度	左下肢屈曲的峰力(N)	右下肢屈曲的峰力(N)	左下肢屈曲的做功(J)	右下肢屈曲的做功(J)
5 cm/s	188.50±79.81	179.50±89.22 ^b	27.25±12.09	25.50±14.52
50 cm/s	172.75±56.26 ^a	147.25±60.94 ^{ab}	15.00±6.21 ^a	13.00±4.76 ^a

注:与同侧肢体 5 cm/s 比较,^a $P<0.05$;与同速度左下肢比较,^b $P<0.05$

三、30 例受试者不同速度屈伸峰力比比较

速度为 50 cm/s 时,受试者左、右和双侧屈伸峰力比值均显著高于 5 cm/s 时同侧,差异均有统计学意义($P<0.05$);速度为 5 cm/s 和 50 cm/s 时,右下肢屈伸峰力比值均显著低于左下肢同速度时,差异均有统计学意义($P<0.05$),详见表 3。

表 3 30 例受试者不同速度屈伸峰力比比较($\bar{x}\pm s$)

速度	左下肢	右下肢	双下肢
5 cm/s	0.28±0.07	0.24±0.07 ^b	0.25±0.09
50 cm/s	0.30±0.11 ^a	0.28±0.08 ^{ab}	0.28±0.06 ^a

注:与 5 cm/s 同侧比较,^a $P<0.05$;与左下肢同速度比较,^b $P<0.05$

讨 论

蹬踏运动是下肢的多关节运动,强调感觉、认知和骨骼肌肉等系统功能的整合^[4],而下肢肌力与肌张力的均衡、下肢各关节运动的协调以及本体感觉的传入是影响整个下肢多关节整体运动功能的主要因素,下肢蹬踏训练可加强下肢肌群的力量,改善下肢肌张力,为患者运动功能和步行能力的提高打下基础^[5]。

等速测试系统是检测人体运动功能最准确和最有效的方法之一,目前大多数研究都是针对单关节完成的,而肌肉在单关节运动与多关节复合运动中的表现

是存在差异的,因此不能简单地以单关节运动的规律来解释多关节复合运动的规律。本研究选择等速系统蹬踏模式下的向心模式,旨在通过观察双下肢蹬踏测试过程中峰力、做功及屈伸峰力比等力学指标,探讨下肢在蹬踏运动中的生物力学规律。

本研究结果发现,速度为 50 cm/s 时,受试者左、右下肢蹬伸的峰力和做功均显著低于速度为 5 cm/s 时,差异均有统计学意义($P < 0.05$),该结果提示,在下肢多关节运动时,峰力值随着速度的加快而减小,这与刘耀荣等^[6]和赵焕彬等^[7]的研究结果相似。本课题组认为,由于快肌纤维的收缩速度比慢肌纤维快,产生的力量小,而在下肢快速蹬踏时以募集快运动单位为主,在慢速蹬踏时以募集慢运动单位为主,因此慢速下所产生的力量较大。

运动过程中除了关注肌力的变化,还应重视肌肉收缩的协调性,保证动作完成的安全性。师玉涛等^[8]的研究提出,左、右腿单块肌群肌力协调是预防损伤的关键。有研究证实,正常人的双侧下肢相同肌群肌力差值较为稳定,在 10% 以内,且在不同速度下的变化不大^[9]。本研究结果发现,在快速蹬伸过程中,左下肢和右下肢的峰力比值的差异在 10% 以内的,同时在快速蹬伸过程中,下肢的峰力差异无统计学意义($P > 0.05$),该结果提示,在下肢多关节复合运动中,快速蹬伸可更好地协调双下肢肌群的收缩,保护相对较弱一侧及其相应的关节,防止弱侧肌群和关节的损伤,达到更优的安全性。

另外,屈伸峰力比是衡量下肢肌群协调性的重要指标。屈伸比反映的是主动肌和拮抗肌之间肌力协调情况,是评定肌力协调及生物力学稳定性的重要指标^[10]。Daniel 等^[11]研究发现,踝关节屈伸肌群峰力矩比随测试速度加快而增加,即踝关节运动在峰力矩较大时更稳定。姜丽等^[12]的研究也提出,屈伸肌肉收缩水平的异常可导致患者协调功能的下降。上述研究表明,单关节运动中,屈伸肌群的肌力失调是导致关节不稳的主要因素,而等速蹬踏运动涉及下肢多个关节,屈伸肌群的协调就显得更为重要。本研究结果发现,快速(50 cm/s)蹬踏运动中的屈伸峰力比高于慢速(5 cm/s)的屈伸峰力,该结果提示,快速蹬踏时,下肢整体的屈伸肌群的比例趋于更为稳定的水平。下肢在快速运动时,拮抗肌除了协调放松外,还在动作结束瞬间适当收缩,防止主动肌的收缩过度^[10],因此可以保证相对较快的运动速度,适度激活拮抗肌,使关节更加稳定。所以,在下肢蹬踏运动中,快速运动具有更好的保护性。

综上所述,在下肢多关节的整合运动中,运动速度的差异会造成下肢运动动力学的改变,在早期训练时,应以快速运动为主,后期再进行以强化力量为主的慢速运动。本课题组认为,蹬踏训练虽然可以改善人体的下肢力量和下肢动态协调能力^[13],但仍应个体化,根据不同的目的选择不同的速度及训练模式。

参 考 文 献

- [1] 李周,刘望萍,罗艳,等.强化下肢运动控制训练对改善脑卒中患者下肢功能的疗效观察[J].中国康复,2013,28(5):345-347. DOI:10.3870/zgkf.2013.05.008.
- [2] 王尊,范宏娟,陆晓,等.无步行能力脑卒中偏瘫患者踏车有氧训练有效性的初步研究.中华物理医学与康复杂志,2011,33(12):924-927. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2011.012.013
- [3] 范建中,薛磊,彭楠.正常男性青年膝关节等速屈伸力量测试研究[J].中华物理医学与康复杂志,1999,21(1):33-35.
- [4] 李忠,杨朝辉,张宝珍.运动控制训练对卒中Brunnstrom III患者上肢运动功能的影响[J].中华临床医师杂志,2011,5(14):4258-4260. DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-0785.2011.14.053.
- [5] 曹明辉,燕军,燕铁斌,等.MOTomed不同模式运动训练对青年志愿者体感诱发电位的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2010,32(4):270-272. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2010.04.008.
- [6] 刘耀荣,周里,时倩.跳跃运动员膝关节屈伸肌群等速向心收缩时肌力与sEMG变化特征[J].上海体育学院学报,2008,32(1):52-55. DOI:10.3969/j.issn.1000-5498.2008.01.011.
- [7] 赵焕彬,王海涛,刘建国,等.男子短跑运动员上下肢关节力矩的研究[J].中国体育科技,2006,42(1):23-26. DOI:10.3969/j.issn.1002-9826.2006.01.007.
- [8] 师玉涛,刘颖,马馨,等.我国优秀10 m跳台男子运动员下肢肌肉力量特征研究.中国体育科技,2010,46(3):54-56. DOI:10.3969/j.issn.1002-9826.2010.03.010.
- [9] 夏骄阳.我国速度滑冰优秀男子运动员膝、踝关节肌力特征的比较研究[J].体育科学,2005,25(8):53-56. DOI:10.3969/j.issn.1000-677X.2005.08.011.
- [10] 王翠霞,周凯.躯干等速向心屈伸运动时屈伸肌肌力的变化:脊柱最易受损伤的角度范围[J].中国组织工程研究与临床复,2010,14(7):1191-1195. DOI:10.3969/j.issn.1673-8225.2010.07.012.
- [11] Daniel H, Matthias O, Jan R, et al. Knee and ankle joint torque-angle relationship of multi-joint leg extension[J]. J Biomech, 2011, 44(11):2059-2065. DOI:10.1016/j.jbiomech.2011.05.011.
- [12] 姜丽,窦祖林,温红梅,等.脑卒中恢复期患者小腿肌肉功能的速度编码相位对比磁共振观察[J].中华医学杂志,2011,91(3):160-165. DOI:10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2011.03.005.
- [13] Holviala J. Effects of prolonged and maintenance strength training on force production, walking, and balance in aging women and men. Scand J Med Sci Sports, 2014, 24(1):224-233. DOI:10.1111/j.1600-0838.2012.01470.x.

(修回日期:2016-10-11)

(本文编辑:阮仕衡)