

重复次数对健康男性等速躯干轴向旋转力学特征的影响

陈景洲, 王惠娟, 陈梓鑫, 范建中

【摘要】 目的:本文通过观察躯干旋转肌群在不同角速度和收缩次数影响下的等速力学特征,得出较为合适的测试角速度及其对应的重复次数,用以指导日后的临床工作。方法:选取在我科实习的 20 名健康男性学生,接受两次重复次数不一致的等速躯干轴向旋转评估,具体测试参数为方案 A($90^\circ/\text{s} \times 5$ 次、 $30^\circ/\text{s} \times 5$ 次、 $180^\circ/\text{s} \times 10$ 次)和方案 B($90^\circ/\text{s} \times 10$ 次、 $30^\circ/\text{s} \times 10$ 次、 $180^\circ/\text{s} \times 15$ 次),两测试方案的先后顺序使用电脑随机统筹产生,提取峰力矩(PT)和总功(TW)进行分析比较,并用 Borg 劳累度评估量表(RPE)进行评估。结果:运动角速度为 $90^\circ/\text{s}$ 和 $30^\circ/\text{s}$ 时,运动次数的增加使躯干左旋/右旋 PT 出现轻微降低,但差异无统计学意义;角速度为 $180^\circ/\text{s}$ 时,运动次数的增加使 PT 和 TW 均显著降低(均 $P < 0.05$);两种测试方案下 RPE 评分比较差异无统计学意义。结论:在向心-向心测试模式下,重复收缩 5 次内等速肌力测试的峰力矩最大,收缩超过 10 次肌肉耐力出现显著下降;躯干旋转肌群的峰力矩与角速度呈非典型线性关系。

【关键词】 等速; 躯干肌; 旋转; 峰力矩; 做功

【中图分类号】 R49 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2022.01.007

等速运动,又称恒定角速度运动,为当今较为精准的力量测试或训练方式之一,其综合了等长收缩和等张收缩的优点,可使关节在既定的运动角速度下抵抗最大阻力收缩,训练效果良好,等速运动可应用于运动损伤和提高运动员的运动水平^[1-2]。过往研究证实,肌力与收缩速度、肌纤维类型(传导速度)等存在相关性^[3-4],运动角速度是影响肌力输出的最主要因素,然而,现尚无较多关于运动角速度和峰力矩相关性的报道,一般认为用于肌力测试或训练的角速度低于 $60^\circ/\text{s}$,用于耐力测试或训练角速度大于 $180^\circ/\text{s}$ ^[5],影响峰力矩的主要因素还有收缩次数、测试模式等^[6],最佳的测试参数迄今仍无统一标准。本文以此为背景,通过观察健康男性躯干旋转肌群在不同角速度和收缩次数下的等速力学特征,希望得出较为合适的测试角速度和重复次数,用以指导日后的临床工作。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2019 年 6 月~2020 年 2 月在我科实习的 20 名男性学生,平均年龄(23.80 ± 4.40)岁,平均身高和体重分别为(173.25 ± 4.76)cm 和(65.58 ± 7.80)kg。纳入标准:男性,年龄 20~35 岁;无腰背伤史、特异性腰痛、腰椎间盘突出症的患者;脊柱旋转活动度正常。排除标准:测试中出现腰部不适;

存在等速肌力测试的禁忌症(如关节不稳、呼吸系统疾病等);腹部和腰部有手术史者;存在影响神经传导疾病者(如神经根病、糖尿病等)。实验设计经我院伦理委员会批准(NFEC-2017-133),所有患者均需签署书面知情同意书。

1.2 方法 采用德国产 IsoMed 2000 等速肌力测试系统及躯干旋转附件(D&R FerstlGmbH, 德国),该系统的测试信度可达 0.96^[7]。每位受试者接受 2 次(方案 A 和方案 B)等速躯干轴向旋转测试,测试顺序由随机数表生成,其中方案 A 具体参数:模式为向心-向心,躯干左/右旋转,无重力补偿,测试角速度依次为 $90^\circ/\text{s}$ 、 $30^\circ/\text{s}$ 、 $180^\circ/\text{s}$,对应测试次数分别为 5、5、10,组间休息 1 min, $30^\circ/\text{s}$ 评估结束后进行 Borg 劳累度评估量表(rating of perceived exertion scale, RPE)评估。方案 B:模式为向心-向心,躯干左/右旋转,无重力补偿,测试角速度依次为 $90^\circ/\text{s}$ 、 $30^\circ/\text{s}$ 、 $180^\circ/\text{s}$,对应测试次数分别为 10、10、15,组间休息 1 min, $30^\circ/\text{s}$ 评估结束后同样进行 RPE 评估。2 次测试间隔 24 h 以上,预防延发性肌肉酸痛影响测试结果。测试体位为坐位:受试者端坐于无靠背座椅上,固定骨盆、下肢和双肩,双足固定于踏板上,双手置于手柄上,以 0° 为中立位,左旋 40° ,右旋 40° 。测试前均向每位受试者进行研究的介绍,并给予熟悉仪器的时间,正式开始时嘱受试者尽全力收缩,并给予口头鼓励。

1.3 评定标准 选取峰力矩(peak torque, PT)和总功(total work, TW)进行分析:PT 为活动范围内的力量最大值(单位为扭矩, N·m);TW 为肌肉在具体运动范围内所累积的物理量(单位为焦耳,J),代表肌肉在特定范围内的收缩强度。提取方案 A: $90^\circ/\text{s}$ 、 $30^\circ/\text{s}$

基金项目:南方医科大学临床研究启动计划重点项目(LC2016ZD020);南方医科大学南方医院临床研究专项(2020CR024)

收稿日期:2021-03-19

作者单位:南方医科大学南方医院康复科,广州 510515

作者简介:陈景洲(1988-),男,主管技师,主要从事肌肉骨骼功能康复的研究。

通讯作者:范建中,fjz@smu.edu.cn

的第2~4次PT均值(用PT 90° -1和PT 30° -1表示), $180^\circ/s$ 第2~9次PT(PT 180° -1)和TW均值(TW 180° -1)行统计分析,提取方案B: $90^\circ/s$ 、 $30^\circ/s$ 第2~4次PT均值(PT 90° -2和PT 30° -2表示)和第7~9次PT均值(PT 90° -3和PT 30° -3), $180^\circ/s$ 第7~14次PT(PT 180° -2)和TW均值(TW 180° -2)行统计分析。RPE是由瑞典心理学家Gunnar Borg设计,测试者通过运动时的自身感觉进行评估,用以评估运动强度,分值为6~20分,分值越高代表运动强度越高。有研究显示,RPE数值乘以10时,与其运动时的心率存在正相关性,因此可以使用RPE预测心率^[8]。

1.4 统计学方法 使用SPSS 24.0软件进行数据分析,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,Shapiro-Wilk用于检验连续数据的正态分布性,Friedman测试或单因素方差分析(配对样本t检验)用于检验PT的差异性,Bonferroni用于事后比较,Wilcoxon Signed Ranks测试用于检验非正态分布数据的组间差异,显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 躯干旋转肌群在不同角速度下的PT和TW值比较 20例受试者在 $90^\circ/s$ 和 $30^\circ/s$ 角速度下,随着运动次数的增加,躯干左旋/右旋PT虽出现轻微降低,但差异均无统计学意义,见表1,2。在 $180^\circ/s$ 角速度下,随着运动次数的增加,PT和TW均显著降低(均 $P<0.05$),见表3,4。

2.2 RPE评分比较 方案A为(12.85 ± 2.41)分,方案B为(13.30 ± 2.39)分,两者比较差异无统计学意义($Z=-0.847, P=0.397$)。

表1 20例受试者躯干旋转肌群在 $90^\circ/s$ 时的PT值比较

$N \cdot m, \bar{x} \pm s$

项目	左旋	右旋
PT 90° -1	81.60 ± 22.49	83.26 ± 28.95
PT 90° -2	77.76 ± 27.03	78.01 ± 28.19
PT 90° -3	74.68 ± 28.80	76.85 ± 30.57
χ^2/F	3.103	1.372
P	0.212	0.263

表2 20例受试者躯干旋转肌群在 $30^\circ/s$ 时的PT值比较

$N \cdot m, \bar{x} \pm s$

项目	左旋	右旋
PT 30° -1	68.38 ± 20.80	67.21 ± 19.41
PT 30° -2	61.40 ± 20.45	64.26 ± 22.88
PT 30° -3	57.48 ± 17.10	59.73 ± 20.20
χ^2	3.600	1.462
P	0.165	0.482

表3 20例受试者躯干旋转肌群在 $180^\circ/s$ 时的PT值比较

$N \cdot m, \bar{x} \pm s$

项目	左旋	右旋
PT 180° -1	45.42 ± 12.26	48.85 ± 17.45
PT 180° -2	40.47 ± 12.11	42.26 ± 14.92
t/z	2.289	-2.744
P	0.034	0.006

表4 20例受试者躯干旋转肌群在 $180^\circ/s$ 时的TW值比较

$J, \bar{x} \pm s$

项目	左旋	右旋
TW 180° -1	27.79 ± 13.30	29.73 ± 15.89
TW 180° -2	20.78 ± 8.90	22.44 ± 11.71
z	-2.838	-2.949
P	0.005	0.003

3 讨论

躯干轴向旋转主要依靠双侧腹内斜肌、腹外斜肌、背阔肌、竖脊肌等肌肉协同收缩,如向右侧旋转时,主要依靠右侧背阔肌、腹内斜肌、竖脊肌,和左侧腹外斜肌^[9~10]。等速躯干轴向旋转的设计特殊性,使躯干在水平面上旋转时受重力的影响较少。肌力的大小与收缩速度和前后负荷相关,临幊上常用等速肌力测试对肌力进行量化评估,然而,虽等速测试存在信度高,可测试关节多样等特点,但测试时所选择的最佳测试参数,如测试模式、角速度、重复次数等尚无统一标准^[11~12]。本文通过结合不同运动角速度和重复次数,观察在两者相互影响下,躯干旋转峰力矩的变化特征,从而得出较佳的等速测试参数。

本研究发现角速度低于 $90^\circ/s$,峰力矩最大值均出现于5次重复收缩组,收缩次数的增加虽致峰力矩出现轻微下降,但差异无统计学意义,同时受试者的RPE亦无显著变化,意味着轴向旋转次数在一定范围内的增加,尚不会增加受试者的心肺负荷,该发现可用于日后制定科学的训练次数。本文结果显示最大旋转峰力矩出现于角速度为 $90^\circ/s$ 时,而非 $30^\circ/s$,一般而言,我们常使用低于角速度 $60^\circ/s$ 进行肌力测试,该现象部分异于过往研究结果,在一定角速度范围内,随着角速度增加,峰力矩将减少^[13~14]。这是因为肌肉收缩存在速度-张力曲线,快速收缩时,肌力下降是因为横桥附着与再附着速度受到限制,导致附着横桥的数量比肌肉缓慢收缩时少^[15]。慢速运动时,肌群可同时募集I型和II型肌纤维,使得肌肉收缩力量较大,随着运动速度的加快,则是募集II型肌纤维为主,加之在相同运动角速度下,同等单位的I型肌纤维收缩产生力量较II型肌纤维大^[16]。如此看来,每个关节可能都有其特定的速度-张力关系,都有其最佳的收缩速度,故测试角速度的选择需根据待测肌肉的力学特征而定。

当角速度为 $180^{\circ}/s$ 时,峰力矩出现较大幅度下降,随着运动次数的增加,峰力矩和做功呈进一步显著性下降。 $180^{\circ}/s$ 属高速运动,为IsoMed 2000等速躯干旋转的最高速度,脊柱左/右旋转的稳定性依赖众多韧带、关节囊等非主动收缩结构,配合主动肌、拮抗肌和协同肌协同收缩得以实现。脊柱包括颈椎、胸椎、腰椎和骶椎,各椎体间通过椎间盘和各种类型的小关节进行连接^[17],辅以核心肌群进行稳定强化^[18-19]。快速运动使关节的稳定性受到更多挑战,运动速度越快,拮抗肌活动需增加以保持关节的稳定性,但过快的测试速度受试者难以接受或无法企及,甚至可引起不适^[20]。本研究发现15次快速轴向向心-向心旋转后,PT和TW均出现显著下降,意味着15次快速收缩后肌肉出现疲劳,故耐力测试或训练的重复次数应设置于10次内。

综上所述,在无重力补偿向心-向心模式下,重复收缩5次内等速肌力测试的峰力矩最大,收缩超过10次肌肉耐力显著下降。随着运动角速度的增加,躯干旋转肌群的峰力矩与角速度呈非典型线性关系,角速度对峰力矩的影响仍需要进一步研究。本文存在不足之处:样本量偏小,选用的测试角速度有限,仅选取部分常用的慢速、中速、快速角速度,后续研究应加大样本量,增加等速测试频谱,更加全面的了解重复次数、峰力矩和角速度间的关系。

【参考文献】

- [1] 李宽,王春方,孙长城,等.限弧等速肌力训练对于髌股关节炎髌骨轨迹的影响[J].中国康复,2020,35(8):413-417.
- [2] Krolkowska A, Reichert P, Czamara A, et al. Peak torque angle of anterior cruciate ligament-reconstructed knee flexor muscles in patients with semitendinosus and gracilis autograft is shifted towards extension regardless of the postoperative duration of supervised physiotherapy [J]. PLoS One, 2019, 14(2): e211825.
- [3] Methenitis S, Karandreas N, Spengos K, et al. Muscle Fiber Conduction Velocity, Muscle Fiber Composition, and Power Performance [J]. Med Sci Sports Exerc, 2016, 48(9): 1761-1771.
- [4] Wilson JM, Loenneke JP, Jo E, et al. The effects of endurance, strength, and power training on muscle fiber type shifting [J]. J Strength Cond Res, 2012, 26(6): 1724-1729.
- [5] 黄志平,尹彦,刘敏,等.等速肌力测试与训练技术的研究进展[J].体育科技,2011,32(4):52-58.
- [6] Perrine JJ, Edgerton VR. Muscle force-velocity and power-velocity relationships under isokinetic loading [J]. Med Sci Sports, 1978, 10(3): 159-166.
- [7] Roth R, Donath L, Kurz E, et al. Absolute and relative reliability of isokinetic and isometric trunk strength testing using the IsoMed-2000 dynamometer [J]. Phys Ther Sport, 2017, 24(2): 26-31.
- [8] Roos L, Taube W, Tuch C, et al. Factors That Influence the Rating of Perceived Exertion After Endurance Training [J]. Int J Sports Physiol Perform, 2018, 13(8): 1042-1049.
- [9] 刘夏,王惠娟,吴红瑛,等.腰背核心肌群在等速旋转运动中力矩和表面肌电的特征[J].中国康复医学杂志,2013,28(4):315-318.
- [10] 关晨霞,郭钢花,郭小伟,等.脑卒中偏瘫患者在坐位躯干旋转时躯干肌群表面肌电信号特征研究[J].中国康复,2017,32(3):192-195.
- [11] Santos AM, Mascarin NC, Benedito-Silva AA, et al. Assessment of isokinetic peak torque reliability of the hip flexor, extensor, adductors and abductors muscles in female soccer players from 14 to 25 years old [J]. J Sports Med Phys Fitness, 2016, 56(7): 843-848.
- [12] Ermis E, Yilmaz AK, Kabadayi M, et al. Bilateral and ipsilateral peak torque of quadriceps and hamstring muscles in elite judokas [J]. J Musculoskelet Neuronal Interact, 2019, 19(3): 286-293.
- [13] Abdel-Aziem AA, Soliman ES, Abdelraouf OR. Isokinetic peak torque and flexibility changes of the hamstring muscles after eccentric training: Trained versus untrained subjects [J]. Acta Orthop Traumatol Turc, 2018, 52(4): 308-314.
- [14] 成鹏,毕霞,郎海涛,等.速度因素对躯干等速肌力测试影响的研究[J].中国康复医学杂志,2004,19(8):18-20.
- [15] Fitts RH, McDonald KS, Schluter JM. The determinants of skeletal muscle force and power: their adaptability with changes in activity pattern [J]. J Biomech, 1991, 24: 111-122.
- [16] Fitts RH, Widrick JJ. Muscle mechanics: adaptations with exercise-training [J]. Exerc Sport Sci Rev, 1996, 24(24): 427-473.
- [17] Perolat R, Kastler A, Nicot B, et al. Facet joint syndrome: from diagnosis to interventional management [J]. Insights Imaging, 2018, 9(5): 773-789.
- [18] Oliva-Lozano JM, Muyor JM. Core Muscle Activity During Physical Fitness Exercises: A Systematic Review [J]. Int J Environ Res Public Health, 2020, 17(12): 4306-4306.
- [19] Shinkle J, Nesser TW, Demchak TJ, et al. Effect of core strength on the measure of power in the extremities [J]. J Strength Cond Res, 2012, 26(2): 373-380.
- [20] Cook EE, Gray VL, Savinar-Nogue E, et al. Shoulder Antagonistic Strength Ratios: A Comparison between College-Level Baseball Pitchers and Nonpitchers [J]. J Orthop Sports Phys Ther, 1987, 8(9): 451-461.