

等速测试在评价运动员肌力中的应用

杨 涛¹, 李之俊^{2*}

摘要: 运用文献资料法和专家访谈法对等速测试评价运动员肌力测试方法、指标分析、具体应用和测试中存在的问题几方面进行综述。等速测试作为运动员肌力评价的手段有着较高的使用价值,是一种较先进的一般力量测评手段。但等速测试技术自身存在一些技术瓶颈,而且在测试方法选择上有待统一和完善。

关键词: 肌力; 峰力矩; 平均功率; 拮抗肌比率

中图分类号: G871 文献标识码: A

文章编号: 1006-1207(2006)03-0068-04

Application of Isokinetic Test in Evaluating Muscle Force

YANG Tao, LI Zhi-jun

(Shanghai Institute of P.E., Shanghai 200438, China)

Abstract: Using the methods of literature study and interview, the article elaborates on the method of using isokinetic test to evaluate muscle force, indices analysis and the existing problems in application and test. Isokinetic test is of high value in measuring athletes' muscle force. It is an advanced way of test. However, some technical problems still exist in isokinetic test and the method of test needs to be standardized and perfected.

Key words: isokinetic test; muscle force; peak torque; average power; antagonistic ratio

等速测试指通过等速力量测试仪对在整个关节活动范围内以恒定速度进行向心运动和离心运动时某一肌肉或肌群力量的测试^[1]。与非等速测量系统相比,等速测试可独立的测量一个或多个特定动作速度时的力量,具有安全、有效、可重复性高、结果直接反馈等优点。因此,等速测试已成为国际上研究人体肌肉力量必不可少的测量手段,广泛应用于运动员肌肉力量的评定、训练及运动系统疾病的防治和康复等方面。目前国际上比较普及的等速测试系统有CYBEX、BIODEX、MCAL、KIN/COM、LIDO ACTIVE、ARID等^[2],其中以CYBEX和BIODEX的应用最普遍。

上世纪80年代后期等速测试引入我国后,已开展了大量研究工作。其中利用等速测试系统对运动员的肌力研究的报道较为多见。现将可查阅的文献进行总结,为今后利用等速测试系统进行运动员肌力评价提供一些参考。

1 等速测试特点

等速测试方法起源于上世纪60年代美国,之后相继在德国、英国、瑞典、日本和俄罗斯得到推广。70年代“等速”概念初传入我国时,曾被译为“等动”,80年代我国开始引进等速测试系统,广泛应用于体育科研与临床康复领域中。等速测试是不同于以往传统的等张、等长的一种测试手段(见表1),它的特点是在整个运动范围内可以选取恒定的速度,并使工作的肌肉在运动的全过程中的任何一点都能产生最大力矩,克服

了等张运动的恒力特点和等长运动的姿势固定的缺点^[3]。

等速测试作为一种肌力评价手段,最关键的是对测试指标的准确选取和测试数据的合理分析。从文献中发现,在利用等速测试评价运动员肌力时,采用的分析指标也主要集中在峰力矩/相对峰力矩、平均功率和拮抗肌比率上。运动幅度也是一项十分有意义的指标,但研究中却经常被忽略^[4]。

峰力矩是指肌肉或肌群关节运动过程中相应肌肉或肌群环关节运动过程中相应肌肉或肌群收缩产生的最大力矩输出值,代表肌肉或肌群的最大肌力,被认为是等速测试中的黄金指标^[5]。因此,利用等速测试进行研究的报道中,峰力矩是最基本的一项指标。绝对峰力矩因受试者体重的差异而造成的个体差异较大,所以在体育科研中更多的采用相对峰力矩这一指标^[6]。大量研究发现,在等速运动中峰力矩的值随着速度的增加逐渐降低,这一结果符合等速运动的一般规律。Sudder^[7]等研究指出,肌纤维的兴奋及产生张力都需要时间,运动速度越快,肌肉的收缩时间越短,所募集到肌纤维数量就越少,产生的力也就越小。不过等速测试系统所测的结果单位并不是力,而是力矩,因此该值也只是可以代表肌肉或肌群的最大肌力,而并非肌力的实际值。

平均功率是肌肉或肌群在单位时间内所做的功,反映肌肉或肌群的工作效率。等速测试中,在一定范围内肌肉的平均功率随着运动速度的增加而增加,但当肌肉运动速度达到一临界值时,平均功率反而随着运动速度的加快而下降^[8]。

表1 3种力量测试方法比较

	等速测试	等张测试	等长测试
速度	一定范围内任意选定,选定后运动速度恒定	变化,不可控制	固定不动
阻力	可变,为适应性阻力	固定为定值	可变,为适应性阻力
意义	可反映各种关节角度的力矩	仅反映关节运动	仅反映给定角度的力矩

收稿日期: 2007-03-17

作者简介: 杨涛(1978~),男,在读硕士,主要研究方向:人体科学

作者单位: 1、上海体育学院,上海 200438 2、上海体育科学研究所,上海 200030

*: 硕士



根据这一规律,可利用等速测试来寻找符合运动员肌肉或肌群的最佳运动速度。不少文献中利用平均功率这一指标来反映运动员的爆发力。这里存在一个生物力学和运动技术术语与物理学概念之间的区别。人体在完成各种运动时,是由肌肉收缩来提供能量产生动力的,在尽力快速运动时,神经肌肉系统会以尽快的速度发挥出尽可能大的力量。在生物力学和运动技术理论中,把力与速度的成绩称为爆发力,而在物理学中则称之为功率。因此肌肉收缩时的最大功率也就是该肌肉具有的最大爆发力^[9]。当测试速度接近专项要求时,可以作为快速力量的评价依据^[10]。但目前等速测试仪器提供的测试角速度与专项要求的速度相差甚远,因此,在平均功率这项指标的分析和应用上还有待商榷。

拮抗肌比值同样是等速测试系统中一项非常实用、可靠的指标,但在叫法上不太统一。文献中出现的名称有对抗肌比值、肌力比、屈伸肌比率等,其中屈伸肌比率的使用率较高,是因为现有的等速测试的研究多是以各关节屈伸运动展开的。拮抗肌比值反应了整体肌肉或肌群的运动能力和协调性,对预防损伤,保持关节稳定性有重要的意义。须特别指出的是,通过不同速度下的屈伸肌比例这一指标可以反肌肉的协调性,这里的协调并不是常说的协调性,而是指肌力分配的协调,以及运用专项技术动作过程中肌力分配的合理性^[11]。近年来,对不同项目、不同运动速度下关节的峰力矩比值一直是体育训练、运动医学和康复医学中研究的重点。国内研究普遍认为正常人的膝屈伸肌峰力矩的合理比值为60%左右^[9],但运动员作为特殊人群,其合理的比值可能随着运动项目和运动水平不同有较大不同。潘启强研究发现^[12],屈伸肌比随速度提高有增加趋势,但如果拮抗肌力量偏弱,则这一规律并不明显。

在文献中报道中出现的一些指标还有,加速能指运动前1/8s消耗的能量;肌收缩达峰力矩的时间可以反映肌肉的快速发力能力;肌肉工作疲劳程度指(肌肉前三次做的功-最后三次做的功)/前三次做的功 $\times 100\%$,可以反映肌肉的耐力;总功反映测试过程中肌肉做功的总和等等,这些指标在等速测试的肌力评价中不常见,可信度有待进一步探讨。

2 等速测试在评价运动员肌力中的应用

自采用等速测力系统对运动员肌力进行评价以来,国内外众多专家学者及科研人员做了大量的相关研究,所涉及的项目包括体操、自行车、跳高、乒乓球、短道速滑、游泳、短跑、摔跤、赛艇、排球、篮球、足球、拳击、散打、跆拳道、水球、羽毛球、沙滩排球等。积累了大量的等速肌力测试的数据和等速测力系统的使用经验。研究集中在等速向心收缩测试上,一是由于等速向心收缩在人体运动中占有极重要的地位;二是以往对等速离心收缩的研究结果一致性较差,存在许多分歧^[4]。

对现有利用等速测试对运动员肌力评价的文献研究发现,所有研究大致可以分为以下两类。

2.1 同一项目各关节肌力特征的评价

对同一项目运动员,参与工作的肌群是相对固定的,通过对其主要肌肉的测试,可以得到反映该项目运动员肌力的特征数据。研究多选取优秀运动员进行测试,测试结果就可以作为该项目的肌力参照值,这样就可以用此参照值对某一个运动员的肌力进行评价。同时也可为该项目力量训练

方面提供针对性参考。

屈建华^[13]通过等速测试对优秀水球运动员膝关节肌群肌力特征进行研究,发现我国优秀水球运动员膝关节慢速肌力与快速肌力呈显著正相关,认为测定快速力量指数可大致确定肌肉动用慢速力量的能力,从而为进一步挖掘肌肉的专项力量潜力提供依据;左右膝关节肌力相当平衡,快速屈伸肌比率大于慢速,屈肌的慢速力量较弱。

陈壮荔^[14]等采用BIODEX II AP对福建省14名自行车队员的髋关节进行测试,发现自行车髋关节屈伸肌比率明显低于一般成人及本省的羽毛球、田径运动员。认为这与自行车项目以髋为轴,大腿发力向下后方奋力蹬踏得到运动形式有关,这一形式的运动对伸髋肌力量要求更高。

余竹生^[15]对男子优秀摔跤运动员的踝关节肌力特征进行研究,健将组背屈的峰力矩显著大于一级组($P < 0.05$),说明踝关节背屈肌最大力量是优秀摔跤选手应注重发展的力量素质。

李家旺^[16]采用CYBEX-6000对江苏女子自行车队15名运动员下肢单侧膝关节进行测试。测试结果没有出现随运动速度提高而增加的情况,在 $180^\circ/s$ 和 $240^\circ/s$ 两种速度下平均功率明显偏低,两者之间同样差异不明显。认为这是由于运动员在快速运动中可动员的快肌纤维比例较低,导致快速运动时肌肉输出功率的降低。建议提高快速肌力水平。

张春华^[17]等采用CYBEX II+测力系统对武汉体育学院竞技体校女子公开级赛艇运动员18人进行力量测试。研究结果从力矩参数、位置(角度)参数、时间参数3方面进行阐述。第一,肩、肘、膝、踝各关节的伸肌力矩大于屈肌力矩,但伸屈肌的均值不等。可能是伸肌发展较快,屈肌发展较慢的结果。左侧肢体的屈伸肌差值小于右侧的屈伸肌差值。第二,测出低速产生最大力矩时肢体所处的角度,认为提桨入水后开始蹬腿时下肢关节各角度接近最大力矩时的关节角度,则蹬腿用力最好。第三,记录了5种时间参数,分别是启动到产生最大力矩所用的时间(这一时间的出现与专项力量所需时间同步最好)、从峰力矩产生到峰力矩结束的时间(时间长,表明保持最大力矩时间长,波峰圆滑)、相互延搁时间(指肢体由伸变为屈或由屈变为伸时用于转换方向所需的时间)、肢体由启动到产生力矩的时间(这一值越短,有效用力时间越长)。从这3方面建立赛艇运动员四肢关节力量的理想模型,给运动员力量训练提供了参考依据。

从以上研究可以看出,通过等速测试结果的分析,不仅可以了解运动员参与运动关节的肌力水平,为以后的力量训练提出针对性建议;还可以根据某一项目优秀运动员的测试数据初步反映这一项目要求的肌力特征,这对研究该项目的力量规律是非常有帮助的。运动员肌力测试多集中在髋膝踝三关节上,尤其以膝关节为主。这主要是由于膝关节在运动中的重要地位;另一方面因为膝关节在等动测试时比较容易固定,而且活动范围没太大差异,所以测量的准确性较其它关节高^[18]。

2.2 不同项目同一关节肌力特征的对比

随着等速测试的广泛开展,测量项目的逐渐增多,不同项目运动员各关节肌力测试的数据已积累了很多。就某一关节、某一肌群,把不同项目运动员的肌力测试数据进行比较分析,就可以得到不同项目运动员同一肌群的不同工作



特点,了解其肌肉发力及做功、能量代谢特征,这样就可以为运动员的选拔及辅助训练手段的使用提供科学论证。

虞重干^[19]等通过CYBEX-6000等速测力系统对上海体育学院男篮院队、男排院队以及上海大学男排校队共20名队员下肢三关节进行测试。研究发现,篮球运动员左侧髋关节伸肌的峰力矩在4个测试速度上皆低于排球运动员,而右侧稍高于排球运动员,但都不具有显著性差异。在一定程度上可以认为两项目运动员左右两侧髋关节伸肌在4个速度上的最大力量基本处于同一水平。而篮球运动员两侧髋屈肌的峰力矩在4个速度上均稍大于排球运动员,尤其是左髋在快速运动时($300^{\circ}/s$ 和 $360^{\circ}/s$)有显著性差异。认为这可能与篮球运动员经常采用非优势腿进行单腿起跳,而排球运动中大多采用双脚起跳造成的。

姜传银^[20]对散打、拳击、跆拳道3个项目的32名运动员的等速测试进行比较,发现,散打运动员左肘伸肌绝对力量和速度力量明显大于拳击和跆拳道项目的运动员,而左肘屈肌绝对力量和速度力量又明显大于散打项目运动员;左膝屈肌速度力量跆拳道项目明显优于散打项目运动员,右膝屈伸肌绝对和速度力量3个项目不存在显著差异。

总的来讲,等速测试可以根据不同项目灵活制定测试方案,根据测试结果基本可以客观准确的反映运动员肌肉系统的机能状态。通过测试不仅可以在训练中帮助运动员发展局部肌肉力量和拮抗肌群肌肉力量平衡,确定运动员的最佳运动负荷和速度,评定运动员周期训练的效果,还可以为某一项目选材提供参考。是目前较为理想的一种肌力评价手段。

3 等速测试在肌力评价中存在的问题

3.1 等速测试的技术瓶颈

随着对等速技术的深入研究,出现了不少的研究利用等速测试的手段来研究运动员的专项力量。比如,赵焕彬^[21]等为科学评价运动员专项力量的发展水平,寻找适应短跑运动要求的合理的各关节肌肉力矩比率,科学地制定统一量化的专项力量评价指标采用等速肌力测试系统对男子儿童、少年、少体校运动员和青年运动员的髋、膝、肩关节肌力进行了测试研究。这种评定方法目前已经受到了置疑。

首先,在肌肉收缩方式上人体运动(体育运动)中肌肉(群)的等速收缩方式几乎不存在,采用肌肉等速收缩方式来评定其它收缩方式的机能是否准确,存在争议。其次,目前等速测试系统测定环节角速度的范围为 $15\sim 500^{\circ}/s$,这一测试最大速度只能达到各方面最大生理反应速度的20%~30%^[22],与实际运动过程中关节的运动速度相差甚远。第三,等速测试系统只能用于单关节肌群测定,肌肉在单关节运动中发挥的作用与其在多关节复合运动中的机能不全相同^[23]。而实际的运动过程中各关节的肌群一般都是协同做功的,多关节复合运动时的肌力使用现有的配件尚无法测到。以上的问题说明,等速测试只是一种一般肌力评价手段,要想仅通过其有效的可调节的运动速度来评价专项力量是不科学的。

国外做了很多关于如何提高等速测试数据的稳定性和可靠性方面的研究。Chen^[24]等发现,在膝关节的等速测试中,设定较高速度时测试结果误差较大。Wyse^[25]等通过对比研究发现,在每天的8:00~9:30所测的数据最为稳定。这些因素制约了等速测试在运动员肌力评定方面的应用,在使用等速测试系统评价运动员肌力时,应综合的考虑,尽可能的

排除一些干扰。

3.2 等速测试方法的选择

等速测试时测试方法的选择比较灵活,根据项目和所测试关节不同所作的选择也是不同的。操作人员可以自设定测试的方案,也可以选择系统提供的方案。大部分文献对测试方法的叙述不完整,除测试角速度外,其它测试参数均有被遗漏的现象。对测试结果影响最大的就是关节起始角度和运动幅度的设置^[26]。

在可查阅文献中只有区建华^[13]利用BIODEXIII对优秀水球运动员膝关节肌群等速向心收缩力量特征研究中提到,膝关节活动范围设为 $80\sim 180^{\circ}/s$ 。成鹏、毕霞等^[27]发现,在等速测试中被测试肢体的位置(即角度)以及运动时间均会对测试结果产生不同的影响。在膝关节的等速运动中,角度和时间对力矩的影响是显著的,尤其以角度即关节的位置更为重要。因此,测定时尤其应该注意包括起始角度和关节的活动范围等因素,以最终得出客观的结果。柳方祥^[28]等研究发现,全幅或定幅等速肌力测试结果中某一点的数据不能很好地反映运动实践中与该时点相对应的关节解剖位相的肌肉功能状态。实际上,运动中的关节肌肉活动既不是等速,也不都是全幅或定幅的,其活动范围随运动项目的不同和运动员的不同而异。因此,对运动幅度的选择要尽可能与运动实际相符。

因此,在完成一次等速测试时,应阐明测试时运动关节起始角度和运动幅度的设置情况,这样才能保证测试稳定、可重复。但现有的等速测试设备无法精确的给出测试的起始角度,人工测量误差较大。

4 等速测试应用的进展

等速测试已有40多年的发展历史。随着研究的深入,人们逐渐认识到等速测试作为运动员肌力评价的一种手段有着难以克服的缺陷,对等速测试有了更理性的认识。近年来,许多先进的等速装置和配件相继出现,如:腰背肌测试和训练部件、等速持续被动运动、激光运动轴心定位及附加肌电系统等。这为拓展等速运动的应用范围创造了物质条件。同时在测量模式上,对等速离心收缩的研究更加趋于广泛,对等速运动规律的认识趋于完善^[29]。德国产ISOMED2000等速测试系统是目前最为先进的等速测试系统。它与以往等速测试系统最大的区别在于,可以对测试时受试者的空间位置全面考虑,保证关节的正确定位和关节运动的生理轨迹,这大大增加了试验的可重复性。在测量动力方面有所增强,最大角速度提高到了 $560^{\circ}/s$ 。在动力及稳定性方面也有所改善,同时增加了许多测量与训练的选择的模式。这为等速测试提供了更加广阔的应用前景。国内目前还没有见到使用ISOMED2000进行研究的报道,相关的研究有待开展。

目前,等速技术更多的被应用于肌肉力量训练和临床康复医学领域。许多研究结果表明等速运动优于其他肌肉训练方式,特别是离心收缩训练可能因其低耗能、高力量的特点而有益于运动受限的患者。等速训练增强肌力的机制可能是神经和生化调节的结果。目前,国外普遍采用等速结合等张的力量训练模式,这种先进的训练模式将是今后力量训练的研究热点。在康复医学领域,随着等速装置的不断改进,应用等速腰背肌部件对腰背肌力量、下腰痛、职业损伤的评价;对多发性硬化症患者的评价;痉挛评价等已在



临床广泛开展。

5 小结

等速测试系统作为一种较为先进的肌力测评手段, 具有其测试过程安全、测试数据相对稳定和准确的优点。在我国, 使用等速测试对运动员肌力进行评价的研究工作开展相当广泛, 积累了大量的宝贵资料和数据。但由于等速测试系统自身技术的局限和使用方法的不规范影响了测试结果的客观性, 这使等速测试系统在运动员肌力测量评价的应用上受到了制约。

综上所述, 作为一种肌肉力量评价和训练的方法, 由于等速技术较难与运动实际紧密结合, 因此, 等速技术今后将会更多的应用于力量训练和康复医学的诊断和治疗。尽管如此, 等速肌力测试系统仍是迄今为止定量研究在体肌肉功能为数不多的手段之一, 可用于运动员一般力量的测试和评价。

参考文献:

- [1] Abe T, Kawakami Y, Ikegawa S, et al. Isometric and isokinetic knee joint performance in Japanese alpine ski racers. *Journal of Sports Medicine*, 1992, 31: 353~357
- [2] 张海平. 浅谈肌肉力量的测试及应用[J]. 沈阳体育学院学报, 2002 (4): 56
- [3] 卢德明. 青年人六大关节肌力研究[M]. 北京: 北京体育大学出版社, 2004 (2)
- [4] Eveloib TK. Gender comparisons of the electromyographic responses to maximal concentric and eccentric muscle actions [J] *Medicine and science in sport and exercise* 1998 30 (12): 1697~1702
- [5] 吴毅. 等速肌肉功能测试和训练技术的基本原理的方法[J]. 中国康复医学杂志, 1999, 14 (1): 44~47
- [6] 王海群等. 对不同项目运动员躯体肌力等速测试研究[J]. 体育科学, 1997, 17 (4): 29~30
- [7] Succder GN. Torque curves produced at the knee during isometric and isokinetic exercise[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 1980, 61: 68
- [8] 杨静宜等. 优秀运动员股四头肌、腘绳肌等速测试正常值的研究[J]. 北京体育学院学报, 1999 (3): 13~20
- [9] 郭权. 排球运动员与篮球运动员单脚起跳的运动生物力学研究[C]. 上海体育学院硕士论文集, 1999.
- [10] 马力华, 姚颂平. 等速测试在肌肉力量评定的应用[J]. 体育科学, 1993 (1) 59~63
- [11] Abernethy PJ, Howard A, Quigley BM. Isokinetic torque and instantaneous power data do not necessarily mirror one another. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1996, 10: 220~223
- [12] 潘启强. CYBEX II⁺ 测试中膝关节腘绳肌与股四头肌峰值比率问题初探[J]. 体育科学, 1992 (1): 61~62
- [13] 屈建华. 优秀水球运动员膝关节肌群等速向心收缩力量特征研究[J]. 武汉体育学院学报, 2005, 36 (10): 10
- [14] 陈壮荔等. 对福建省部分项目运动员屈、伸髋、膝、踝关节肌肉力量若干问题的探讨[J]. 1998, 17 (6): 12
- [15] 余竹生等. 男子优秀摔跤运动员的踝关节肌力特征[J]. 上海体育学院学报, 1998, 22 (1): 12
- [16] 李家旺. 江苏女子自行车运动员下肢肌力特征研究[J]. 南京体育学院学报(自然科学版) 2002, 1 (4): 12
- [17] 张春华等. 女子公开级赛艇队队员四肢关节力量特征的研究[J]. 武汉体育学报, 1998 (124), 1
- [18] 金宗强, 李宗浩等. 等速测力系统对膝关节研究的进展. 天津体育学报[J]., 2001 (1): 47~50
- [19] 虞重干, 郭权. 篮、排球运动员下肢3 关节肌等速测试的对比研究[J]. 体育科学, 1992, 12 (1): 61~62
- [20] 姜传银. 拳击、散打、跆拳道等速肌力测试的比较研究[J]. 北京体育大学学报, 2005, 28 (5): 5
- [21] 赵焕彬等. 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)
- [22] Davies G.J.A compendium of isokinetics in clinical usage and rehabilitation techniques[J]. S and S Publishers, La Crosse, WJ, 1987, (5): 1~4
- [23] 刘世敏, 张跃等. 广东省优秀短跑、跨栏、三级跳运动员髋关节肌肉力量的等速测试研究[J]. 成都体育学院学报, 2001 (1)
- [24] Haxton HA. Absolute muscle force in ankle flexors of man[J]. *Physical*, 1994, 10(3): 267~273
- [25] Ober B. et al. Isokinetic torque level for knee extensions and knee flexors in soccer play[J]. *Int sports Med*, 1986, (7)
- [26] 邱建宏. 人体膝、肘关节屈伸肌群工作生物力学指标的内在规律[J]. 成都体育学院学报, 1999 (4): 51~55
- [27] 成鹏 毕霞等. 膝关节等速测试中角度和时间因素的研究[J]. 中国运动医学杂志, 2001, 20 (1)
- [28] 柳方祥等. 变幅等速肌力矩测试的前置效应及其机制[J]. 徐州师范大学学报(自然科学版) 第24 卷2 期, 2006, 6
- [29] 徐军. 等速运动新进展[J]. 国外医疗技术, 1999, 2 (2)

(责任编辑: 何 聪)