

排球扣球起跳及专项力量特征的综合研究

华立君¹, 宋吉锐²

(1. 哈尔滨师范大学 体育科学学院, 黑龙江 哈尔滨 150025;
2. 沈阳体育学院 运动人体科学系, 辽宁 沈阳 110032)

摘 要: 以排球运动员 4 号位上步扣球的起跳动作为研究对象, 通过摄像、足底压力和肌电多机同步测试结合等速测试来准确获得排球运动员上步扣球起跳过程中的运动学、动力学和生物学参数, 结果表明, 排球运动员起跳过程下肢伸肌群完成的是“拉长-缩短周期”收缩, 因此训练中要加强下肢伸肌群超等长力量素质的训练; 排球运动员在上步扣球起跳过程中足底压力随时间变化呈双峰形曲线, 足底压力随时间变化的特点是影响起跳效果的重要因素, 因此训练中要重视运动员快速起跳能力的训练; 排球运动员臀大肌、股四头肌和小腿三头肌等伸肌群在起跳过程中发挥着重要的作用, 因此训练中要重视下肢伸肌群起跳能力的训练; 排球运动员下肢多关节等速深蹲起测试结果表明下肢肌肉工作特点与起跳动作的蹬伸阶段具有相似性, 提示可以利用先进的等速测试与训练系统进行排球运动员下肢专项力量的训练。

关 键 词: 运动生物力学; 上步扣球起跳动作; 专项力量; 排球

中图分类号: G842 文献标识码: A 文章编号: 1006-7116(2010)06-0083-06

Comprehensive study of the characteristics of jumping up for a volleyball smash and dedicated power

HUA Li-jun¹, SONG Ji-rui²

(1. School of Physical Education, Harbin Normal University, Harbin 150025, China;
2. Department of Human Sports Science, Shenyang Sport University, Shenyang 110032, China)

Abstract: Basing their study subject on the jumping move of a volleyball player to make a smash at the #4 position, by means of video shooting, synchronous sole pressure and myoelectricity testing coupled with constant speed testing, the authors accurately acquired the kinematical, dynamical and biological parameters shown in the process of a volleyball player jumping up for a smash, and revealed the following findings: in the process of a volleyball player jumping up, what was completed by the extensor groups of the lower limbs was a “cycle of extending and retracting” contraction, therefore the training for the capacity of super isometric power of the extensor groups of the lower limbs should be strengthened during the training; in the process of a volleyball player jumping up for a smash, the sole pressure showed a twin peak shape curve as the time changes, the characteristic of the sole pressure varying with the time is an important factor that affects the jumping result, therefore during the training attention should be paid to the training of the player’s quick jumping ability; the extensor groups of a volleyball player, such as the gluteus maximus, quadriceps femoris and triceps surae, play an important role in the process of jumping up, therefore during the training attention should be showered on the training for the jumping ability of the extensor groups of the lower limbs; the test results of constant speed squatting down and up of the lower limb joints of volleyball players indicated that the working characteristics of the lower limb muscles are similar to those at the lift off stage of the jumping move, which hints that we can carry out dedicated lower limb power training for volleyball players by util-

收稿日期: 2009-12-08

基金项目: 哈尔滨师范大学青年学术骨干资助计划项目(HSD09038)。

作者简介: 华立君(1972-), 男, 副教授, 博士, 研究方向: 运动生物力学。

izing the advanced constant speed test and training system.

Key words: sports biomechanics; jumping move for a smash; dedicated power; volleyball

当前,排球运动员身体训练已经成为排球研究中的重点,而弹跳力训练则是研究的重中之重。古巴女排 20 世纪 90 年代的成功就是一个依靠出色弹跳制胜的典型范例,可见,弹跳力的研究和训练已成为研究的前沿课题之一。研究者们采用不同研究方法分别从运动员形态、肌纤维类型、血型、年龄、纵跳动作方法和身体素质等诸因素出发,以探讨弹跳力与诸因素之间的相互关系,在此基础上,展开对弹跳力训练方法的深入研究,并获得了较好的效果^[1]。在我国,如何突破运动员弹跳力发展的极限,以期能在国际大赛中与素质超群的欧美运动员抗衡,是一个必须解决的关键问题。

从目前对排球扣球技术的生物力学研究来看,研究成果局限于对扣球各环节的运动学分析,还有一些从解剖学角度进行分析,而对下肢各环节的动力学研究及各关节肌肉群在起跳动作中作用的研究很少,究其原因主要在于起跳动作的复杂性和研究手段方法的

不完善^[2]。现阶段国内有关等速测试的研究主要集中在不同项目运动员的肌力特征、不同运动速度对肌力的影响、不同关节的肌力表现特征、不同肌肉收缩形式对肌力的影响等方面,在运动领域对运动效果与等速测试相结合的研究成果较少,对不同水平运动员的肌力表现特征差异的研究也较少,学者们只是从某一方面进行研究,而且只限于局部的、个别的肌肉和肌群^[3]的研究。本研究是对排球运动员下肢主要肌群进行的综合性研究,有其理论意义与实际应用价值。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

本课题选择排球运动员 4 号位上步扣球的起跳动作作为研究对象,受试者为辽宁省青年男子排球队队员 10 名,经体格检查,确定其无下肢疾病及足部损伤,身体状况以及运动能力良好。具体信息参见表 1。

表 1 受试队员基本情况

序号	姓名	年龄/岁	身高/cm	体重/kg	从事专业运动年限	运动等级	助跑摸高/m	负重深蹲/kg
1	高××	18	195	90.4	3	1	3.40	120
2	黄××	17	192	77.3	4	1	3.33	110
3	林××	18	189	82.3	3	1	3.30	110
4	王××	18	195	80.4	3	1	3.31	110
5	尚××	19	200	90.2	5	1	3.40	120
6	王××	18	194	88.4	3	1	3.35	120
7	鞠××	17	187	77.7	4	1	3.23	130
8	李××	19	198	89.5	6	1	3.35	120
9	唐××	20	187	85.5	4	1	3.20	110
10	杨××	20	190	86.7	6	1	3.34	130

1.2 研究方法

1) 测试方案。

(1)运动学三维测试:在沈阳体育学院排球馆,选用 2 台日产索尼 DXC-637 型(A 机)、1 台松下 M9000 型(B 机)摄像机对运动员进行定点拍摄。测试前在运动区内放置 DLT 框架,调整框架的 XY 平面为水平面,Z 轴为垂直轴,X 轴指向运动的方向。摄像机从测试者的右侧、背侧对上步起跳扣球动作进行三维立体拍摄,每人测试 3 次,对起跳效果最好的一跳进行分析。摄像机高度 1.40 m,拍摄距离 12.0 m,A 机和 B 机之间夹角为 90°,拍摄频率 50 帧/s。运用美国 Ariel 公

司的 APAS 运动录象解析系统对动作进行数字化处理,模型采用系统自带 16 个人体标志点的 Demster 人体模型。

(2)足底压力测试:正式测试前进行足底压力分布测试系统的连接和调试,采集频率设置为 500 Hz;要求受试者穿实验室提供统一型号的排球鞋。选择符合各受试者鞋内底尺码的测试鞋垫,确保测试鞋垫边缘无折痕,鞋垫大小与鞋底边缘吻合。配戴测试设备后,受试者进行 3 min 左右适应性练习;在正式测试运动学和生物学数据采集的同时,采集每名受试者起跳动作的足底压力数据。

(3)肌电测试:在正式测试开始前,调节好肌电仪的参数设置和仪器连接,为运动员粘贴肌电片要严格依照肌电测试的要求进行,起跳动作和下肢多关节等速测量选取肌肉为右腿股直肌、臀大肌、股二头肌、半腱肌、腓肠肌内侧头、腓肠肌外侧头。信号采集与发射盒等则固定在专用背包上由运动员背在身后,基本不影响运动员动作的完成。

(4)等速测试:在沈阳体育学院生物力学实验室运用 ACES 下肢固定支撑式专用力量诊断与训练系统(Leg System),结合肌电测试系统对受试者进行下肢深蹲起动作的等速测试。ACES 向上运动角速度分别设定为 15、25、35($^{\circ}$)/s(向下速度均设定为 200($^{\circ}$)/s),完成深蹲起动作 5 次,要求下蹲时大小腿尽量贴近,向上运动到身体完全伸直,运动员要听从实验人员指导,尽自己全力完成动作。

2 研究结果与分析

2.1 排球运动员扣球起跳动作人体环节的运动特征

由于本研究所测试的对象均为采用右手扣球的运动员,右手扣球运动员在起跳过程中身体右侧的运动起主导作用^[4],因此,本研究以排球运动员右侧下肢各环节作为分析的重点。

1)各关节缓冲阶段。

各关节缓冲阶段,相应关节角度逐渐减小,直到最小值,此阶段运动员所表现出的运动学指标及其变化趋势见表 2。

表 2 起跳缓冲阶段各关节参数($\bar{x} \pm s$)

部位	n/人	缓冲幅度/ $^{\circ}$	最大缓冲角/ $^{\circ}$	角速度/ $(^{\circ}) \cdot s^{-1}$
髌	10	12.69 \pm 4.15	90.25 \pm 9.93	-138.01 \pm 26.50
膝	10	46.54 \pm 6.51	96.41 \pm 7.45	-637.30 \pm 20.65
踝	10	16.23 \pm 4.25	81.86 \pm 8.74	-380.55 \pm 40.20

表 2 中“最大缓冲角”是指下肢各关节处于最大缓冲位置时的关节角度,“缓冲幅度”是指右脚着地时刻到重心最低点时刻下肢各关节的角度变化值。

从表 2 可以看出,在缓冲幅度方面,髌关节缓冲幅度相对较小,主要原因是在双脚着地时,髌关节角度已经处于较小的位置,只进行了轻微的缓冲便进入了加速蹬伸状态。在最大缓冲角度方面,由于在排球比赛时,很多动作都是在下蹲不很充分时来完成的,所以缓冲幅度过大,对动作完成的效果会有一定的影响^[5]。膝关节缓冲时间长对弹跳力起到一定的抑制作用,由于肌肉是一个黏弹性体,其弹性形变能力具有

明显的时间效应,随着起跳形变时间的延长,肌肉中通过形变贮存的能量将有一部分以热能的形式散发出去,从而会影响其收缩效果。肌肉在超等长收缩过程中,在一定范围内,肌梭对牵拉的速度较长度更为敏感,因此膝关节的缓冲幅度较接近,在较短时间内完成同样的工作距离,说明膝关节伸肌的离心收缩能力较强^[6]。

2)各关节蹬伸阶段。

表 3 中“蹬伸角”是指起跳过程中运动员双脚离地时刻下肢各关节角度,“蹬伸幅度”是指重心最低点时刻到双脚离地时刻下肢各关节的角度变化值。

蹬伸阶段是获得腾起初速度的重要阶段,蹬伸质量的好坏直接影响着重心腾起高度。由表 3 可以看出,运动员在上步起跳时,是以髌关节首先加速蹬伸,此时膝、踝关节角度仍在继续减小;随后膝关节角度减小到最小值,然后开始蹬伸,此时踝关节角度仍在继续减小,最后踝关节角度开始增大。从表 3 中可以看出,运动员起跳时蹬伸角是以髌、膝、踝关节递减的趋势,运动员的髌关节蹬伸角度最大,其次是膝和踝关节。说明在起跳时运动员更重视大关节肌群首先发力和末端环节加速蹬伸,以大关节带动小关节,使髌、膝、踝 3 关节依次加速蹬伸,以达到理想的起跳效果,而不是靠较大的膝关节蹬伸来完成加速用力,因此下肢关节合理地加速用力顺序,尤其是踝关节的加速蹬伸能力是影响蹬伸效果的主要因素之一。

表 3 起跳蹬伸阶段各关节参数($\bar{x} \pm s$)

部位	n/人	蹬伸幅度/ $^{\circ}$	蹬伸角/ $^{\circ}$	角速度/ $(^{\circ}) \cdot s^{-1}$
髌	10	73.47 \pm 13.04	167.73 \pm 6.99	763.13 \pm 56.32
膝	10	62.04 \pm 14.41	164.66 \pm 7.94	877.25 \pm 48.55
踝	10	50.84 \pm 9.49	134.36 \pm 4.91	881.27 \pm 67.43

通过分析排球运动员上步扣球起跳阶段右腿下肢 3 关节角度的变化可知,在起跳动作中,运动员的膝关节、踝关节的角度变化均呈现出“先减小,再逐步增大”的趋势。这说明,它们的伸肌群完成的是“拉长-缩短周期”收缩。上步扣球起跳是为了获得尽可能大的垂直速度,如果肌肉采用“拉长-缩短周期”收缩,会提高肌肉力量的发挥,从而有利于助跑水平速度的转换,让运动员获得更大的垂直速度。可见,排球运动员下肢关节伸肌群的力量特点需要强大的“拉长-缩短周期”收缩能力,这是在选择专项力量测量方法和训练手段时,必须加以考虑的因素。

2.2 起跳动作的足底压力-时间曲线特征

力是影响运动效果的重要因素,测定运动中的力

及其变化情况是运动生物力学研究中必不可少的内容。人体在静止或运动时,在自身重力的作用下,足底在垂直方向上受到一个地面的作用力,这个力就是足底压力。对足底压力的研究,可以揭示人体运动过程中足底动力学特征^[7]。在扣球起跳过程中,运动员的技术动作和足底对地面的压力分布有着密切的关系,通过对运动员足底压力随时间变化的分析,可以得出运动员技术动作是否合理,进而从更深层次对动作结构合理性进行评价,指导专项训练。

足底压力-时间曲线可以反映运动员起跳过程中的足底受力特点。图 1 和图 2 是排球运动员上步扣球起跳过程中(从右脚着地到双脚离地)2 类典型的足底压力-时间曲线图。

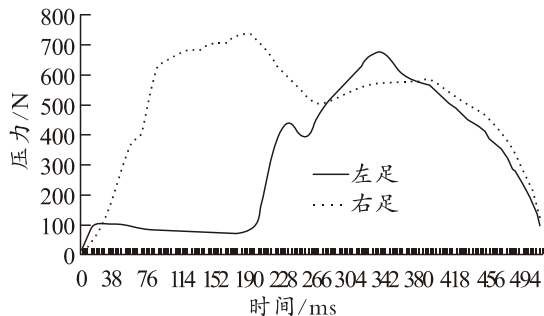


图 1 高 XX 的足底压力-时间曲线

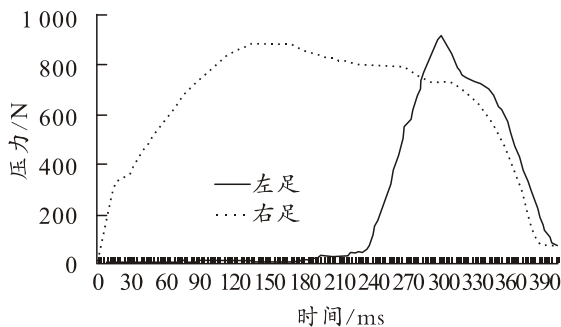


图 2 王 XX 的足底压力-时间曲线

图 1~2 中的曲线分别代表运动员起跳过程中左、右足足底压力随时间的变化情况。通过对图 1 曲线形状的观察,可以看出该名排球队员在起跳过程中,右足曲线呈双峰形变化:首先右足从着地开始,压力上升,出现一个小的波峰,然后压力下降,呈现一个波谷,接着压力上升,呈现第 2 个波峰后转入下降,整个过程大体形成一个双峰曲线,从图 2 可以看出左足在起跳过程中足底压力-时间曲线形状同右足相似也呈双峰形变化,表明运动员左腿与右腿发力的相似性,以这种方式起跳的队员在测试过程中占 60%;图 1 显示该名运动员的足底压力时间-曲线呈明显的单峰形,这表明该名运动员左足在着地和离地过程中没有

缓冲动作阶段,运动员左足着地就开始了蹬伸动作,以这种方式起跳的队员在测试过程中占 40%,通过对两类运动员重心腾起高度对比分析表明,左右足足底压力时间-曲线形状均呈双峰型变化运动员在重心腾起高度明显好于左足单峰型的运动员,由此可见排球运动员起跳过程中足底压力随时间变化特点是影响运动员重心腾起高度的重要因素之一。

足底压力对保持身体重心高度和竖直方向速度的获得起重要作用,从足底压力-时间曲线上看,运动员在起跳过程中右足足底压力波形是由两个波峰和一个波谷组成。第 1 波峰冲击力反映地面施与人体最大冲击力的大小,随着起跳脚的着地支撑,起跳腿伸肌肌群进行退让性收缩,以抗衡由于快速助跑起跳所造成的强大冲击力,当伸肌肌群所产生的肌力与外力相等时形成波谷。波谷值从一定程度上反映起跳腿的缓冲能力,该点对应着人体在起跳过程中向上加速度的最小值,第 2 波峰出现在膝关节开始蹬伸之前,该力值的获得主要是由于人体重心的前移、摆动腿以及双臂的积极上摆造成的,根据 $F=ma$ 可知,该点所对应的向上加速度最大,此时起跳腿承受的压力在整个起跳过程中最大,所以该值反映了起跳腿的支撑力变化。

2.3 起跳动作的肌电学特征

针对下肢主要肌群的收缩特点,在肌电学研究部分主要对下肢具有代表性的 6 块肌肉进行相关研究,结合前面运动学时相划分及 3 大关节的运动学特征,对起跳动作的不同运动阶段进行了肌电学特征的研究,由于关节角度处于最大缓冲位置只是短短的一瞬,随即相应关节角度开始增大,肌肉由等长收缩转为克制性向心收缩,所以对等长制动阶段只进行了描述性分析,重点分析缓冲和蹬伸阶段的肌电学特征。

起跳过程中肌电测试结果表明,在完成缓冲动作时,股直肌、半腱肌作功百分比分别达到了 29% 和 27%,均明显高于臀大肌和腓肠肌。在蹬伸阶段股直肌和半腱肌的作功百分比同缓冲阶段相比有所下降,而腓肠肌从 25% 提高到 44%。这说明在起跳过程中,半腱肌发挥着重要的作用,这也正是我们在训练实践中没有引起教练员足够重视的方面,因此在训练中除了要加强对股四头肌等伸肌群的专项力量训练,还要重视股后肌群的训练,达到协调用力的目的。从表 4 和表 5 缓冲阶段和蹬伸阶段运动员积分肌电平均值及作功百分比说明了所测 6 块肌肉对起跳动作的贡献率:缓冲阶段依次为半腱肌、股直肌、臀大肌、股二头肌、腓肠肌外侧头、腓肠肌内侧头;蹬伸阶段依次为股直肌、腓肠肌外侧头、腓肠肌内侧头、半腱肌、臀大肌、股二头肌。

表4 缓冲阶段各测量部位积分肌电值比较

部位	n/人	均值/ μV	标准差/ μV	百分比/%	最小值/ μV	最大值/ μV
股直肌	10	59.70	39.88	22	16	131
臀大肌	10	48.30	16.45	20	27	72
股二头肌	10	40.10	23.64	15	17	65
半腱肌	10	85.60	71.57	24	11	239
腓肠肌外侧	10	31.90	25.46	11	9	94
腓肠肌内侧	10	18.40	15.58	8	6	46

表5 蹬伸阶段时测量部位积分肌电值比较

部位	n/人	均值/ μV	标准差/ μV	百分比/%	最小值/ μV	最大值/ μV
股直肌	10	139.50	100.99	19	43	361
臀大肌	10	95.40	73.17	13	18	232
股二头肌	10	88.50	43.12	11	45	182
半腱肌	10	106.90	53.87	17	38	183
腓肠肌外侧	10	111.70	33.00	20	68	155
腓肠肌内侧	10	114.80	51.50	20	50	198

2.4 多关节等速测试结果与起跳动作测试结果的相关性

身体素质和动作技术是影响运动效果的主要因素,而身体素质和动作技术两者又是相互影响、相互作用的。良好的身体素质是运动技术的物质基础,掌握合理的动作技术才能充分发挥身体素质的作用^[8]。有研究表明,有些项目运动技术完成不好,主要是局部肌肉力量差,或某组主对抗肌肌群力量不平衡所致^[9]。为了进一步分析排球起跳动作的专项力量特征,本研究除对与扣球起跳有关的生物力学指标进行测试外,还采用了较先进的等速肌力测试系统结合肌电测试系统对参与收缩的下肢有关肌群进行了相关测试。

ACES 下肢固定支撑式专用力量诊断与训练系统定义峰值(Peak value)是在一个典型的重复中测量的最

大值(力或速度),平均值(Average Value)是在一个典型的重复中测量的平均值(力或者速度)。由表6可知,下肢多关节屈伸肌群的峰力、平均峰力、最大功率、和平均功率等测试指标与排球运动员重心腾起高度呈显著的正相关,这说明运动员下肢肌群力量较强对起跳重心腾起高度非常有利。进一步证明了下肢关节肌肉力量协调发展对于提高上步扣球起跳效果的重要性^[10],因此,专项力量训练时注重下肢伸肌群能力提高的同时,下肢屈肌群的力量训练同样不容忽视。下肢肌群的最大功率、平均功率也与成绩呈显著的正相关,这说明下肢屈伸肌群的力量在运动员起跳动作时起到协调的作用,这与实际动作的蹬伸阶段是相吻合的。

表6 不同角速度下肢多关节等速测试指标与重心腾起高度的相关参数

角速度/ $(^{\circ} \cdot \text{s}^{-1})$	峰力/N	平均峰力/N	最大功率/W	平均功率/W
15	0.967	0.828	0.957	0.925
25	0.933	0.890	0.746	0.895
35	0.895	0.886	0.911	0.951

使膝关节屈的肌群主要有缝匠肌、股薄肌、腓绳肌(主要由半膜肌、半腱肌、股二头肌组成)、腓肠肌;使膝关节伸的肌群主要有:股四头肌。运动员在训练中加强膝关节伸肌群(股四头肌)力量的同时,更应加强膝关节屈肌群(主要是腓绳肌)的力量,使屈伸肌比例合理,这样也有利于主动肌和对抗肌协调发力。人

体下肢的运动较多地用到前部的大肌群,一般的力量训练也是人体前部肌群得到训练的机会较多,因此后部肌群和小肌群就成了力量薄弱的部分,所以加强后部肌群和小肌群的力量训练不容忽视。这不仅关系到肌肉的协调用力,更好地发挥肌肉工作的效率,圆满地完成技术动作,更是预防运动损伤的重要方法之一。

伸肌群力量的加强有利于蹬伸效率的提高,屈肌群力量的加强有利于缓冲时间的缩短,因此,这些都有利于起跳速度的提高。

3 结论

(1)排球运动员起跳过程中髌、膝、踝关节的变化特点说明下肢伸肌群完成的是“拉长-缩短周期”收缩,因此训练中要加强下肢伸肌群超等长力量素质的训练。

(2)排球运动员在上步扣球起跳过程中足底压力随时间变化大体呈双峰形曲线,足底压力随时间变化的特点是影响起跳效果的重要因素,因此训练中要重视运动员快速起跳能力的训练。

(3)排球运动员臀大肌、股四头肌和小腿三头肌等伸肌群在起跳过程中发挥着重要的作用,因此训练中要重视运动员下肢伸肌群起跳能力的训练;缓冲阶段股后肌群的作用应该引起足够的重视,训练中要针对性地提高运动员股后肌群的力量训练水平。

(4)排球运动员下肢多关节等速深蹲起测试结果表明下肢肌肉工作特点与起跳动作的蹬伸阶段具有相似性,提示我们可以利用先进的等速测试与训练系统进行排球运动员下肢专项力量的训练。

参考文献:

[1] 刘宝仁. 排球运动员的弹跳力训练[J]. 中国体育

科技, 1996, 32(4): 58-59.

[2] 彭蕾. 现代排球扣球技术成果分析[J]. 四川体育科学, 1997, 19(2): 34-38.

[3] 张涛. 排球运动员下肢起跳肌群等速测试的研究[J]. 体育科研, 2004, 5(2): 29-32.

[4] 李世明. 沙滩排球上步踏跳阶段的时相特征[J]. 北京体育大学学报, 2004, 27(9): 1264-1265.

[5] 张清华, 华立君, 陈钢. 男子排球上步扣球起跳技术的生物力学分析[J]. 体育科学研究, 2008, 12(2): 65-67.

[6] 郭权. 影响男排运动员单脚起跳效果的主要因素[J]. 上海体育学院学报, 2003, 27(5): 29-32.

[7] 李建设, 王立平. 足底压力测量技术在生物力学研究中的应用与进展[J]. 北京体育大学学报, 2005, 28(2): 191-193.

[8] 李国平, 陈晓鸣, 张维娜. 用等速测力法评定优秀运动员股四头肌和绳肌力量和耐力[J]. 中国运动医学杂志, 1998, 7(3): 143-148.

[9] 虞重千, 郭权. 篮排球运动员下肢3关节肌等速测试的对比研究[J]. 体育科学研究, 2000, 4(1): 732-751.

[10] 华立君, 宋吉锐. 排球运动员下肢等速肌力与肌电特征的相关研究[J]. 沈阳体育学院学报, 2007, 26(4): 68-71.