

健美操运动员优势侧与非优势侧膝关节等速肌力测试分析

<https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-4344.2978>李玉¹, 黄鹏¹, 王宏², 王安利¹

2095-4344.2978

投稿日期: 2020-02-20

送审日期: 2020-02-28

采用日期: 2020-04-03

在线日期: 2020-07-31

中图分类号:

R459.9; R319; R312

文章编号:

2095-4344(2021)02-00232-05

文献标识码: A

文章快速阅读:

采用 IsoMed 2000 等速测试系统对 22 名健美操运动员(有氧组 8 名及竞技组 14 名)膝关节等速肌力测试。

文章特点—

△等速肌力测试作为肌力测试评估的金标准, 广泛应用于运动能力诊断、合理制定力量训练和损伤预防及康复等方面; △对膝关节进行等速肌力测试分析, 分析优势侧与非优势侧膝关节肌力特征及对称性, 可为预防运动损伤提供科学依据。

结论:

健美操运动员膝关节屈肌力较弱, 屈伸比过低, 双侧肌力不对称。

主要观察指标:

- (1) 峰力矩;
- (2) 相对峰力矩;
- (3) 屈伸肌力比(H/Q);
- (4) 异侧同名肌比值。

文题释义:

膝关节等速肌力: 膝关节作为跳跃动作中压力最大以及缓冲压力的中心关节, 膝关节肌力的强弱对运动员表现起着至关重要的作用。采用等速肌力测试对膝关节肌力进行研究, 具有测试安全有效、可重复性高及测试结果反馈直接等优点, 可快速直接的显示出膝关节屈伸肌群的最大肌力和快速肌力。

肌力特征: 是膝关节屈伸肌群的最大肌力和快速肌力的峰力矩、相对峰力矩、屈伸肌峰力矩比(H/Q)的主要特征。计算异侧同名肌比值的定量差异可评价运动员双侧膝关节肌力的对称性。

摘要

背景: 全面评估膝关节肌力、膝关节屈伸肌力比(H/Q)以及双侧膝关节肌力的对称性有利于预防膝关节损伤。

目的: 分析运动员优势侧与非优势侧膝关节肌力特点及双侧肌力的对称性。

方法: 用 IsoMed 2000 等速测试/训练系统, 选取 60, 180 (°)/s 的角速度, 对 22 名健美操运动员(有氧组 8 名及竞技组 14 名)膝关节进行等速肌力测试。

结果与结论: ①两组运动员双侧膝关节屈伸肌峰力矩、屈伸肌相对峰力矩随角速度增加而递减($P < 0.001$), H/Q 随角速度增加而增加($P < 0.001$); ②两组对象优势侧屈肌肌力极显著高于非优势侧($P < 0.05$), 伸肌肌力和 H/Q 在 60 (°)/s 角速度时显著高于非优势侧($P < 0.05$); ③ 180 (°)/s 时有氧组运动员非优势侧膝关节 H/Q 高于竞技组($P < 0.05$); ④ 60 (°)/s 和 180 (°)/s 时有氧组对象优势侧屈肌峰力矩均优于非优势侧($P < 0.05$), 伸肌指标无显著性差异; ⑤ 60 (°)/s 和 180 (°)/s 时竞技组对象优势侧屈肌峰力矩均极高于非优势侧($P < 0.05$); 伸肌峰力矩、相对峰力矩[60 (°)/s]及 H/Q[180 (°)/s]显著高于非优势侧($P < 0.05$); ⑥结果提示, 两组对象优势侧和非优势侧膝关节肌力不对称, 需加强非优势侧膝关节力量; H/Q 较低, 膝关节屈伸肌力不均衡, 需加强膝关节屈肌力量训练, 尤其是快速力量。

关键词: 膝; 关节; 优势侧; 对称性; 运动损伤; 预防; 力量训练

Dominant and non-dominant side knee isokinetic characteristics of Chinese calisthenics athletes

Li Yu¹, Huang Peng¹, Wang Hong², Wang Anli¹¹School of Sports Medicine and Rehabilitation, ²Art School, Beijing Sport University, Beijing 100084, China

Li Yu, MD candidate, School of Sports Medicine and Rehabilitation, Beijing Sport University, Beijing 100084, China

Corresponding author: Wang Anli, MD, Professor, Doctoral supervisor, School of Sports Medicine and Rehabilitation, Beijing Sport University, Beijing 100084, China

Abstract

BACKGROUND: A comprehensive evaluation of knee muscle strength, knee hamstrings-to-quadriceps (H/Q) force ratio, and symmetry of both knee joints is beneficial to preventing knee joint injuries.

OBJECTIVE: To analyze the dominant and non-dominant side isokinetic characteristics of the knee joints of Chinese calisthenics athletes and bilateral symmetry of muscle strength.

北京体育大学, ¹运动医学与康复学院, ²艺术学院, 北京市 100084

第一作者: 李玉, 男, 1988 年生, 江苏省沛县人, 汉族, 北京体育大学在读博士。

通讯作者: 王安利, 博士, 教授, 博士生导师, 北京体育大学运动医学与康复学院, 北京市 100084

<https://orcid.org/0000-0002-9285-223X> (李玉)

引用本文: 李玉, 黄鹏, 王宏, 王安利. 健美操运动员优势侧与非优势侧膝关节等速肌力测试分析 [J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(2):232-236.



METHODS: Knee joints of 22 Chinese calisthenics athletes (aerobics group, $n=8$; athletics group, $n=14$) from Chinese national aerobics team were measured using IsoMed2000 at 60 and 180 ($^{\circ}$)/s concentric angular speed.

RESULTS AND CONCLUSION: The peak torque (PT) and the relative peak torque (PT/BW) of the flexors and extensors of the knee joint in the two groups were significantly decreased with the increase of the angular speed ($P < 0.001$), and the H/Q ratio significantly increased with the increase of the angular speed ($P < 0.001$). The dominant leg flexors strength were significantly higher than that of the non-dominant leg ($P < 0.05$), and extensors strength and H/Q of the dominant leg were significantly higher than those of the non-dominant leg at the speed of 60 ($^{\circ}$)/s ($P < 0.05$). The H/Q of the non-dominant knee joint in the aerobic group was significantly higher than that in the athletics group at the speed of 180 ($^{\circ}$)/s ($P < 0.05$). In the aerobic group, the flexor peak torque of the dominant leg was significantly higher than that of the non-dominant leg at the speed of 60 ($^{\circ}$)/s and 180 ($^{\circ}$)/s ($P < 0.05$), but there was no significant difference in both side of extensors. In the athletics group, the flexor peak torque of the dominant leg was significantly higher than that of the non-dominant leg ($P < 0.05$), the extensors peak torque [60 ($^{\circ}$)/s], PT/BW [60 ($^{\circ}$)/s] and H/Q [180 ($^{\circ}$)/s] of the dominant leg were significantly higher than those of the non-dominant leg ($P < 0.05$). These findings indicate that the muscle force of the dominant and non-dominant knee joints were asymmetric, and the athletes ought to improve the muscle power of the non-dominant knee joint. A lower H/Q indicates imbalance between the flexor and extensor strength of the knee joint, and it is necessary to strengthen the knee flexor strength training, especially the training for fast strength.

Key words: knee; joint; dominant side; symmetry; sports injury; prevention; strength training

How to cite this article: LI Y, HUANG P, WANG H, WANG AL. Dominant and non-dominant side knee isokinetic characteristics of Chinese calisthenics athletes. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2021;25(2):232-236.

0 引言 Introduction

运动员下肢踝关节和膝关节损伤发生率较高^[1-2]。研究表明, 膝关节屈伸肌力比 (hamstrings-to-quadriceps, H/Q) 过小、两侧肌力不对称和股后肌群肌力薄弱等是膝前痛、前交叉韧带损伤、股二头肌损伤及踝关节损伤等下肢损伤的重要风险因子^[3-4]。因此, 采用科学准确的检测方法对膝关节屈伸肌进行测试评估, 可有效提升运动员的运动表现、降低损伤风险。等速肌力测试作为肌力测试评估的金标准^[5], 具有安全、有效、可重复性高及结果稳定准确的特点^[6], 可广泛应用于运动能力诊断、合理制定力量训练和损伤预防及康复等方面^[6-8]。

文章以 IsoMed 2000 等速测试 / 训练系统为手段, 选择国家健美操队运动员膝关节屈伸肌群进行测试为观察目标, 分析此类运动员优势侧与非优势侧膝关节肌力特点, 为运动损伤预防提供科学依据以及后续研究观察提供数据支持。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 对比观察运动医学试验。

1.2 时间及地点 于 2018 年 3 月在北京体育大学体育科学研究中心等速肌力测试实验室完成。

1.3 材料 测试仪器为德国产 IsoMed 2000 等速测试 / 训练系统。

1.4 对象 中国国家健美操队备战 2018 世界锦标赛集训队队员 22 名, 有氧组 8 名, 竞技组 14 名, 身高、年龄和体质量组间无显著差异, 见表 1。测试前 2 周所有队员均在体育大学训练且无急性伤病, 测试前 1 周内无大强度力量训练, 训练正常。

表 1 | 各组运动员基本情况

($\bar{x} \pm s$)

Table 1 | Basic information of athletes in two groups

组别	人数 (n)	年龄 (岁)	身高 (cm)	体质量 (kg)
有氧组	8	23.00 \pm 1.07	172.13 \pm 9.00	66.06 \pm 11.95
竞技组	14	21.93 \pm 1.64	170.00 \pm 6.06	65.86 \pm 8.59
整体	22	22.32 \pm 1.52	170.77 \pm 7.13	65.93 \pm 9.66

1.5 方法

1.5.1 测试方法 选取运动员膝关节屈伸肌群最大肌力及快速肌力进行研究。测试过程严格按照仪器操作使用说明进行

操作^[9], 测试过程见图 1。选取 60 ($^{\circ}$)/s 为慢速的最大力量测试速度, 180 ($^{\circ}$)/s 为快速力量测试速度, 测试模式向心 - 向心模式。每侧膝关节测试前进行 15 min 的热身活动, 包括 10 min 的慢跑和 5 min 的动态牵拉; 随后运动员在等速测试仪器上进行 1 min 的适应性练习。适应性练习结束后休息 1 min 开始正式测试, 每个速度测试 1 组, 每组连续屈伸 5 次, 取最佳测试结果进行计算分析。不同侧肢体测试间休息 3 min, 测试顺序为: 优势腿 (dominant leg, DL) \rightarrow 非优势腿 (non-dominant leg, NDL), 优势侧为正常状态下踢球侧, 运动员优势侧与非优势侧均在基本情况调查时进行统计。测试时间安排至周六日下午 14:00-17:00, 测试全程均由同一试验人员完成, 确保测试的准确性。



图 1 | 膝关节等速肌力测试过程

Figure 1 | Isokinetic strength testing of the knee joint

1.5.2 测试指标 峰力矩 (PT, N·m)、相对峰力矩 (PT/BW, N·m/kg)、屈伸肌力比值 (H/Q)、异侧同名肌比值的定量差异 (quantitative difference, QD)^[10]。

1.6 主要观察指标 对象 22 名优势侧与非优势侧膝关节屈伸肌峰力矩、屈伸肌相对峰力矩及屈伸肌力比值 (H/Q), 并计算屈伸肌异侧同名肌比值的等量差异观察膝关节肌力对称性。屈伸肌比值为膝关节屈肌和伸肌测试结果之比, 异侧同名肌比值为非优势侧与优势侧肌力比值。

1.7 统计学分析 对收集和整理的相关数据进行统计分析, 采用 SPSS 19.0 软件包进行统计学分析, 所有数据均以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 均进行方差齐性检验, 数据处理组间采用独立样本 t 检验, 组内比较采用配对样本 t 检验, $P \leq 0.05$ 为显著性水平; 计算异侧同名肌比值的定量差异 (QD), 评价双侧膝关节肌力对称性。QD 的计算方法: 每个人异侧同名肌测试结果取比值 (非优势侧 / 优势侧) 后再进行组内平均, 然后以 0.618 为底数求比值均值对数的绝对值, 显著性阈值为 (0.268, 0.472), $QD \geq 0.268$ 表示显著性差异, $QD \geq 0.472$ 表示非常显著性差异^[10]。

2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 纳入在运动员 22 名, 试验前期对 22 名运动员进行年龄、性别、身高、体质量和损伤史等基本情况进行调查。22 名运动员均符合试验要求并按等速肌力测试要求完成测试, 测试数据均符合研究要求, 见图 2。

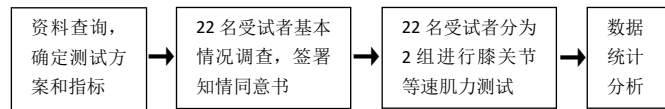


图 2 | 试验测试流程图

Figure 2 | Trial flow chart

2.2 运动员膝关节屈伸峰力矩测试结果 运动员膝关节屈肌最大峰力矩为 149 N·m, 伸肌最大峰力矩为 261 N·m。60 (°)/s 时运动员膝关节屈肌和伸肌峰力矩均极显著高于 180 (°)/s ($P=0.000$)。60 (°)/s 时优势腿伸肌峰力矩时显著高于非优势腿 ($P=0.036$), 屈肌峰力矩极显著高于非优势腿 ($P=0.000$), 180 (°)/s 时优势腿侧屈肌峰力矩极显著高于非优势腿 ($P=0.000$), 伸肌峰力矩无显著性差异 ($P=0.205$), 见表 2。

表 2 | 运动员膝关节屈伸峰力矩变化 ($\bar{x}\pm s, n=22, N\cdot m$)

Table 2 | The athlete's knee flexors and extensors peak torque

测试角速度	非优势腿		优势腿	
	屈肌	伸肌	屈肌	伸肌
60 (°)/s	81.22±22.01 ^a	156.70±40.58 ^a	91.07±25.05 ^{ac}	165.36±48.21 ^{ab}
180 (°)/s	70.39±19.07	121.64±313.59	76.57±20.60 ^c	124.81±34.99

表注: 与 180 (°)/s 测试时同侧同名肌比较, ^a $P < 0.01$; 与同一测试速比较, ^b $P < 0.05$, ^c $P < 0.01$

2.3 运动员膝关节屈伸相对峰力矩测试结果 运动员膝关节屈肌最大相对峰力矩为 1.91 N·m/kg, 伸肌最大相对峰力矩为 3.35 N·m/kg。60 (°)/s 时运动员膝关节屈肌和伸肌相对峰力矩均极显著高于 180 (°)/s ($P=0.000$), 60 (°)/s 时优势腿伸肌相对峰力矩显著高于非优势腿 ($P=0.05$), 屈肌相对峰力矩极显著高于非优势腿 ($P=0.000$), 180 (°)/s 时优势腿屈肌相对峰力矩极显著高于非优势腿 ($P=0.000$), 见表 3。

表 3 | 运动员膝关节屈伸相对峰力矩差异 ($\bar{x}\pm s, n=22, N\cdot m/kg$)

Table 3 | The athlete's knee flexors and extensors relative peak torque

测试角速度	非优势腿		优势腿	
	屈肌	伸肌	屈肌	伸肌
60 (°)/s	1.23±0.28 ^a	2.37±0.51 ^a	1.37±0.30 ^{ac}	2.49±0.56 ^{ab}
180 (°)/s	1.06±0.22	1.83±0.36	1.15±0.24 ^c	1.88±0.36

表注: 与 180 (°)/s 测试时同侧同名肌比较, ^a $P < 0.01$; 与同一测试速下异侧同名肌比较, ^b $P < 0.05$, ^c $P < 0.01$

2.4 运动员膝关节 H/Q 比值 在 60 (°)/s 时, 优势腿的 H/Q 值显著高于非优势腿 ($P=0.032$); 180 (°)/s 时, 优势腿的 H/Q 极显著高于非优势腿 ($P=0.012$), 优势腿与非优势腿的 H/Q 比值均极显著高于相对应的 60 (°)/s 测试结果 ($P=0.000$), 见表 4。

2.5 不同单项运动对象等速肌力测试结果 在 0 (°)/s 和 180 (°)/s 时, 竞技组与有氧组运动对象优势腿和非优势腿膝关节屈肌峰力矩、伸肌峰力矩均无组间显著性差异。60 (°)/s 时, 有氧组运动对象优势腿屈肌峰力矩显著高于非优

表 4 | 运动员 H/Q 比值差异 ($\bar{x}\pm s, n=22, \%$)

Table 4 | The athlete's hamstrings-to-quadriceps force ratio

测试角速度	非优势腿	优势腿
60 (°)/s	52.42±6.22	55.85±6.00 ^b
180 (°)/s	58.27±6.27 ^a	61.92±6.80 ^{ab}

表注: 与同侧 60 (°)/s 比较, ^a $P < 0.01$; 与异侧 60 (°)/s 比较, ^b $P < 0.05$

势腿 ($P=0.015$), 伸肌峰力矩无显著性差异; 180 (°)/s 时, 优势腿屈肌峰力矩显著高于非优势腿 ($P=0.037$), 伸肌峰力矩无显著性差异。60 (°)/s 时, 竞技组运动对象优势腿伸肌峰力矩显著高于非优势腿 ($P=0.025$), 优势腿屈肌峰力矩极显著高于非优势腿 ($P=0.009$); 180 (°)/s 测试时, 竞技组运动对象优势腿屈肌峰力矩极显著高于非优势腿 ($P=0.001$), 伸肌峰力矩无显著性差异, 见表 5。

表 5 | 各组运动员峰力矩变化差异 ($\bar{x}\pm s, N\cdot m$)

Table 5 | The knee flexors and extensors peak torque of different groups

组别	n	测试角速度	非优势腿		优势腿	
			屈肌	伸肌	屈肌	伸肌
有氧组	8	60 (°)/s	79.50±33.12	156.11±60.28	92.60±37.13 ^a	164.39±75.48
		180 (°)/s	70.80±26.92	116.07±43.57	78.89±31.07 ^a	122.97±50.02
竞技组	14	60 (°)/s	82.20±13.75	157.03±26.53	90.20±16.40 ^b	165.92±26.18 ^a
		180 (°)/s	70.16±14.04	124.82±23.67	76.69±16.32 ^b	125.85±25.04

表注: 与同组异侧同名肌比较, ^a $P < 0.05$, ^b $P < 0.01$

在 60 (°)/s 和 180 (°)/s 时, 竞技组与有氧组运动对象优势腿和非优势腿膝关节屈肌相对峰力矩伸肌相对峰力矩组间均无显著性差异。60 (°)/s 时, 有氧组运动对象优势腿屈肌相对峰力矩显著高于非优势腿, 伸肌相对峰力矩无显著性差异; 180 (°)/s 时, 优势腿和非优势腿膝关节屈伸肌相对峰力矩均无显著性差异。60 (°)/s 时, 竞技组运动对象优势腿膝关节屈肌相对峰力矩和伸肌相对峰力矩均显著高于非优势腿 ($P=0.012, P=0.019$); 180 (°)/s 时, 优势腿膝关节屈肌相对峰力矩极显著高于非优势腿 ($P=0.001$), 伸肌相对峰力矩无显著性差异 ($P=0.565$), 见表 6。

表 6 | 不同单项运动对象膝关节相对峰力矩差异 ($\bar{x}\pm s, N\cdot m/kg$)

Table 6 | The knee flexors and extensors relative peak torque of different individual sport events

组别	n	测试角速度	非优势腿		优势腿	
			屈肌	伸肌	屈肌	伸肌
有氧组	8	60 (°)/s	1.19±0.40	2.34±0.77	1.38±0.44 ^a	2.41±0.85
		180 (°)/s	1.05±0.30	1.73±0.50	1.14±0.32	1.81±0.53
竞技组	14	60 (°)/s	1.25±0.191	2.39±0.33	1.37±0.20 ^a	2.53±0.33 ^a
		180 (°)/s	1.07±0.17	1.89±0.26	1.17±0.20 ^b	1.91±0.29

表注: 与同组异侧同名肌比较, ^a $P < 0.05$, ^b $P < 0.01$

在 60 (°)/s 时, H/Q 有氧组和竞技组优势腿无显著性差异, 非优势腿无显著性差异; 180 (°)/s 时, H/Q 有氧组与竞技组优势腿无显著性差异, 非优势腿有氧组显著高于竞技组 ($P=0.043$)。60 (°)/s 时, H/Q 有氧组优势腿显著高于非优势腿 ($P=0.050$), 180 (°)/s 时, 优势腿和非优势腿无显著性差异。60 (°)/s 时, H/Q 竞技组优势腿和非优势腿无显著性差异, 180 (°)/s 时, 优势腿显著高于非优势腿 ($P=0.043$), 优势腿极显著高于 60 (°)/s ($P=0.000$), 非优势腿显著高于 60 (°)/s ($P=0.024$), 见表 7。

表 7 | 不同单项运动对象 H/Q 比值差异 (x̄±s, %)

组别	n	测试角速度	非优势腿	优势腿
有氧组	8	60 (°)/s	52.13±7.77	58.53±7.61 ^d
		180 (°)/s	61.80±7.72 ^{ac}	64.96±6.75 ^a
竞技组	14	60 (°)/s	52.58±5.48	54.32±4.47
		180 (°)/s	56.26±4.41 ^a	61.01±5.52 ^{bd}

表注: 与同组同侧比较, ^aP < 0.05, ^bP < 0.01; 与异组同侧比较, ^cP < 0.05; 与同组异侧比较, ^dP < 0.05

2.6 运动对象膝关节异侧同名肌比值的定量差异 同一测试速度下, 有氧组和竞技组运动对象膝关节的异侧同名肌比值均无显著性差异。60 (°)/s 有氧组和整体运动员膝关节伸肌比值显著高于屈肌比值 (P=0.043, P=0.028), 竞技组运动对象无显著性差异; 180 (°)/s, 竞技组和整体运动员伸肌比值均显著高于屈肌比值 (P=0.015, P=0.011), 有氧组运动对象无显著性差异。定量差异分析显示, 有氧组竞技健美操运动员 60 (°)/s 时膝关节屈肌肌力存在显著不对称, 非优势腿屈肌最大肌力显著低于优势腿, 伸肌无显著性不对称, 竞技组运动对象膝关节屈伸肌肌力均无明显不对称, 整体也无明显不对称, 见表 8。

表 8 | 运动员异侧同名肌比值的定量差异 (QD) [x̄±s (QD)]

Table 8 | The quantitative difference of flexor/extensor muscle ratio of the contralateral homonymous muscle

指标	有氧组 (n=8)	竞技组 (n=14)	整体 (n=22)
60 (°)/s 屈肌比值	0.869±0.096(0.291 ^a)	0.918±0.096(0.178)	0.900±0.099(0.219)
60 (°)/s 伸肌比值	0.982±0.144 ^a (0.038)	0.948±0.083(0.111)	0.960±0.110 ^b (0.084)
180 (°)/s 屈肌比值	0.958±0.121(0.087)	0.918±0.062(0.177)	0.932±0.906(0.146)
180 (°)/s 伸肌比值	0.962±0.102(0.080)	0.994±0.060 ^b (0.011)	0.983±0.079 ^b (0.036)

表注: a: QD ≥ 0.268, 显著性差异; 与同一测试速度下屈肌比值相比, ^bP < 0.05

3 讨论 Discussion

3.1 运动员优势腿和非优势腿膝关节等速肌力特征 力量是运动中不可缺少的一部分, 是运动员最重要的基本素质^[11-17]。有些项目长时间反复进行高强度的下肢跳跃练习可能会引起下肢力量的不对称, 影响运动员的运动表现增加损伤风险^[18]。试验首次对竞技健美操运动员优势侧与非优势侧膝关节进行等速肌力测试, 全面分析优势腿和非优势腿膝关节等速肌力屈肌、伸肌以及 H/Q 的特征, 为精准化训练及损伤预防提供科学依据。关于下肢优势侧与非优势侧的研究发现, 下肢优势侧与非优势侧的神经肌肉控制、力量等不对称是下肢非接触性损伤尤其是前交叉韧带损伤的重要风险因子^[19-20]。试验结果表明, 健美操运动员膝关节峰力矩、峰力矩均随测试速度增加而降低, 这与以往研究一致^[6, 9, 21-23]。

试验结果显示, 健美操运动员双侧膝关节肌力存在不平衡, 优势腿膝关节屈伸肌力整体强于非优势腿, 尤其是屈肌方面差异更为明显, 这可能会增加运动员膝关节和踝关节在训练比赛中的损伤风险^[2]。该研究结果与岳建军^[24]的研究结果不同, 其主要原因是岳建军^[24]在对竞技健美操运动员进行下肢等速肌力测试时, 仅选择运动员优势腿或主动腿进行测试, 而未对其非优势侧腿进行测试导致的。考虑到竞技健美操训练比赛中有大量重复的单腿起跳等动作, 因此试验

将下肢分为优势侧与非优势侧进行测试分析, 结果显示, 竞技健美操运动员双侧膝关节肌力存在差异, 这可能与竞技健美操专项特点、运动员运动水平及训练年限等有关。如进行 C 类难度动作练习中, 研究显示双侧膝关节股直肌等肌肉肌电贡献率存在差异^[12]; 屈体分腿跳下落阶段要求运动员必须能够双手双脚同步落地, 运动员技术动作不熟练则会出现下落阶段双脚落地不同步的情况, 导致双侧下肢缓冲负荷不同, 容易引起运动员下肢肌力的差异并增加损伤风险^[17]; 运动员专业训练背景和训练年限, 在对不同运动水平的竞技健美操运动员的下肢等速肌力研究发现, 高水平运动员能够跳得更高但落地缓冲能力并没有更强, 认为这与长期训练的适应性有关^[11, 16, 25]。此外运动员技术动作特点如张晓莹等^[11]在对 2 名优秀竞技健美操运动员的运动学分析发现, 2 名运动员的技术动作要点存在较大差异, 这些原因均可引起竞技健美操运动员优势腿与非优势腿膝关节肌力不对称。试验结果表明, 健美操运动员优势腿与非优势腿膝关节肌力不对称, 提示广大教练员在实际训练中要充分考虑运动员专项技术水平及训练背景等, 应针对性的制定训练计划, 如适当增加运动员非优势侧膝关节力量练习, 以降低运动员下肢损伤风险, 提高运动员的运动表现。

H/Q 代表腓绳肌与股四头肌的力量比值, 是评价膝关节屈伸肌力平衡和对称性的重要指标, 对膝关节的稳定性、预防膝关节损伤有重要意义^[23]。国外研究给出的等速向心收缩时 H/Q 的参考值, 分别为 60 (°)/s 时为 0.60-0.69, 180 (°)/s 时为 0.70-0.79, 240 (°)/s 时为 0.80-0.89, 如果低于相应范围, 则弱侧肌群和韧带容易引起损伤^[4, 26-29]。试验结果显示, 60 (°)/s 时非优势腿的 H/Q 比值为 0.52(0.423-0.651), 优势腿的 H/Q 比值为 0.56(0.465-0.677), 优势腿的 H/Q 显著高于非优势腿, 两侧膝关节 H/Q 存在显著性差异; 180 (°)/s 时非优势腿的 H/Q 比值为 0.58(0.487-0.718), 优势腿的 H/Q 比值为 0.62(0.531-0.765)。中国健美操运动员膝关节 H/Q 均小于国外相应的参考值, 说明试验对象膝关节屈伸肌群肌力发展不均衡, 屈肌肌群肌力较差。这可能跟运动项目特点以及运动员发达的股四头肌有关^[24, 30-31], 如运动员在进行屈体分腿跳过程中, 股直肌及股外侧肌等膝关节伸肌为主要发力肌肉, 股二头肌贡献率较低^[12]。试验结果表明, 中国健美操运动员膝关节 H/Q 比值均比较低, 尤其是非优势腿, 膝关节稳定性较差, 损伤风险较高, 在实际训练中应加强膝关节屈肌肌力训练, 尤其是快速力量训练以增加屈肌力量, 提高 H/Q 比值降低损伤风险, 同时提升运动员的运动表现。

定量差异的提出可以解决统计方法的局限性, 定量差异可以通过精准的定级将统计方法中的定性差异分析比较, 在提高试验的可重复性和试验数据的可复制性的同时更容易揭示问题的本质, 加强试验结论与试验结果之间的逻辑关系, 对体育科研的量化具有非常重要的学术价值和意义^[32]。已有文献显示膝关节两侧同名肌比值 0.9-1.1 对于损伤预防及运动的协调发展是十分有利的, 低于 0.9 或者高于 1.1 不仅会影响运动员技术动作, 还容易引起弱侧损伤^[21, 33]。试验结果显示, 有氧组运动员 60 (°)/s 屈肌最大肌力存在显著不对称, 其余指标均无显著性差异。此外, 在同一等速肌力测试速度下,

膝关节两侧屈肌比值要相对小于伸肌的比值,这提示健美操运动员双膝伸肌肌力较为均衡和对称,但屈肌肌力存在较大的差异,表明非优势腿膝关节屈肌肌力与优势腿屈肌肌力差异较大,提示中国健美操运动员双侧膝关节屈肌肌力存在不对称,非优势腿膝关节损伤风险较大,因此在制定力量训练计划时,膝关节屈肌肌群是训练的重点,尤其是非优势腿,以提高屈肌肌力,降低运动员双膝关节肌力不平衡、不对称的风险。

3.2 不同单项运动膝关节等速肌力特点 试验的组间比较显示,60(°)/s测试时,两组运动员双膝关节屈伸肌峰力矩、相对峰力矩、H/Q无显著性差异;180(°)/s测试时,两组运动员双膝关节屈伸肌峰力矩、相对峰力矩无显著性差异,非优势腿膝关节H/Q有氧组显著高于竞技组,优势腿膝关节H/Q无显著性差异。两组运动员H/Q在60(°)/s时无显著性差异而在180(°)/s速度下非优势腿膝关节H/Q存在差异的原因可能主要与肌肉收缩速度的有关。低速测试时,肌肉收缩速度低,肌肉工作时间长,肌肉中的快肌纤维和慢肌纤维均能够达到较高的激活状态,产生峰值力矩较大,而肌肉收缩速度快时,神经可能仅激活快肌纤维,肌肉产生的峰值力矩也相对较低^[34]。此外,竞技组和有氧组健美操运动员在180(°)/s角度下,伸肌的差值大于屈肌(9.25% vs. 1.90%),有氧组健美操“踏板”器械的特殊性及难度动作的限制^[35-36],也可能是两组试验对象非优势腿膝关节H/Q产生差异的原因,需进一步深入研究。

3.3 小结 ①健美操运动员优势侧和非优势侧膝关节肌力不对称和不平衡,需加强非优势侧膝关节力量,促进双侧膝关节力量平衡发展,降低损伤风险;②健美操运动员膝关节H/Q较低,尤其是非优势侧H/Q更低,提示膝关节屈伸肌力不均衡,需加强膝关节屈肌力量训练,尤其是快速力量,以降低膝关节损伤风险;③不同单项健美操运动员双侧膝关节差异不同,训练中应有针对性进行。

作者贡献: 试验设计为第一作者和通讯作者。试验实施和资料收集为第一、三作者。试验评估为第二作者和通讯作者。

经费支持: 该文章没有接受任何经费支持。

利益冲突: 文章的全部作者声明,在课题研究和文章撰写过程,没有因其岗位角色影响文章观点和对数据结果的报道,不存在利益冲突。

机构伦理问题: 试验方案经北京体育大学伦理委员会批准,批准号:2020028H。

知情同意问题: 所有参与试验的受试者均为自愿参加,对试验过程完全知情同意,并于试验前签署知情同意书。

写作指南: 该研究遵守国际医学期刊编辑委员会《学术研究试验与报告和医学期刊编辑与发表的推荐规范》。

文章查重: 文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。

文章外审: 文章经小同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

[1] 郭庆秋. 竞技健美操训练中运动损伤的原因分析[J]. 中国临床康复, 2004,8(6):1115.
[2] 洪涛. 对中国大学生竞技健美操运动员运动损伤的调查与分析[J]. 北京体育大学学报, 2005,22(4):496-498.

[3] BAHN R, WHITELEY R, TOL JL, et al. Hamstring and quadriceps isokinetic strength deficits are weak risk factors for hamstring strain injuries: a 4-year cohort study. *Am J Sports Med.* 2016;44(7):1789-1795.
[4] KABACINSKI J, MURAWA M, MACKALA K, et al. Knee strength ratios in competitive female athletes. *PLoS One.* 2018;(1):e0191077.
[5] 杨涛,李之俊.等速测试在评价运动员肌力中的应用[J]. 体育科研, 2007,28(3):68-71.
[6] 黄达武,刘露,朱星,等. 女性短距离速滑运动员下肢关节等速肌力特征[J]. 中国组织工程研究,2018, 22(36):5803-5810.
[7] 张静云,王莹莹,王春方,等. 基于等速技术的健康成人膝关节屈伸肌肌力的年龄和性别特征的研究[J]. 中国康复医学杂志,2020, 35(1):54-59.
[8] 唐桥,张海忠. 综合性项目运动员动态平衡能力与双侧膝关节肌力、下肢爆发力的相关性研究[J]. 中国体育科技,2019,55(5):65-71, 80.
[9] 汪洋,王雁,衣龙燕,等. 中国优秀男子花剑运动员下肢等速肌力测试分析[J]. 中国体育科技,2013,49(6):66-69.
[10] 刘承宜,朱玲,李方晖,等. 自相似常数 and 定量差异及其在体育科学中的应用[J]. 体育学刊,2017,24(6):72-78.
[11] 张晓莹,刘莉,赵轩立. 竞技健美操难度动作 C289 不同技术特征的运动学分析[J]. 北京体育大学学报,2017,40(10):99-105.
[12] 刘敏,赵丽锦,罗艳萍. 竞技健美操 C 组难度动作表面肌电特征研究[J]. 西安体育学院学报,2019,36(6):735-742.
[13] 赵轩立,张晓莹,刘曦. 竞技健美操提臀类与分切类难度动作的运动学对比研究[J]. 山东体育学院学报,2020,36(1):82-88.
[14] 李旭龙,余锋,张卓,等. 竞技健美操中“托马斯”全旋动作的运动生物力学分析[J]. 成都体育学院学报,2010,36(10):49-52.
[15] 杨宏,郑松波. 竞技健美操支撑与水平类动作 B146 的运动学分析[J]. 山东体育学院学报,2011,27(2):75-77.
[16] 张美琪,马鸿韬. 竞技健美操难度动作的运动生物力学研究进展[J]. 中国学校体育(高等教育),2016,3(12):80-84, 88.
[17] 李世明,高金栋. 竞技健美操屈体分腿跳成俯撑动作的运动学分析[J]. 天津体育学院学报,2011,26(1):37-41.
[18] 王颖. 中国高水平竞技健美操运动员运动损伤的研究[D]. 北京:北京体育大学,2014.
[19] BROPHY R, SILVERS H J, GONZALES T, et al. Gender influences: the role of leg dominance in ACL injury among soccer players. *Br J Sports Med.* 2010;44(10):694-697.
[20] OLSEN OE. Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *Am J Sports Med.* 2004; 32(4):1002-1012.
[21] 张丽艳,李光欣. 中国优秀男子自由式摔跤运动员膝、踝关节肌力矩峰值的特征[J]. 体育学刊,2013,20(4):129-133.
[22] 辜伟,程亮. 优秀女子武术运动员膝关节等速力量测试研究[J]. 成都体育学院学报,2013,39(4):77-80.
[23] 苏转平,于芳,曹电康,等. 不同速度下优秀男子举重运动员膝关节屈伸肌群等速肌力特征研究[J]. 沈阳体育学院学报,2018,37(6):1-5.
[24] 岳建军. 不同级别竞技健美操运动员髋、膝和踝关节等速肌力特征研究[J]. 中国体育科技,2014,50(6):59-66.
[25] KONG PW, BURNS SF. Bilateral difference in hamstrings to quadriceps ratio in healthy males and females. *Phys Ther Sport.* 2010;11(1):12-17.
[26] 罗安民,李珺晖,洪平. 中国女子篮球运动员膝关节等速肌力测试分析[J]. 中国运动医学杂志,2012,31(6):517-522.
[27] CHEUNG RTH, SMITH AW, WONG DP. H: Q ratios and bilateral leg strength in college field and court sports players. *J Hum Kinet.* 2012; (33):63-71.
[28] RUAS CV, PINTO RS, HAFF GG, et al. Effects of different combinations of concentric and eccentric resistance training programs on traditional and alternative hamstrings-to-quadriceps ratios. *Sports.* 2019;7(10):1-14.
[29] KELLIS E, GALANIS N, KOFOTOLIS N. Hamstring-to-quadriceps ratio in female athletes with a previous hamstring injury, anterior cruciate ligament reconstruction, and controls. *Sports.* 2019;7(10):1-10.
[30] 吴升扣,纪仲秋. 健美操运动员单次跳跃与连续跳跃能力的生物力学分析[J]. 体育学刊,2014, 21(3):132-136.
[31] 韩春英,韩甲. 竞技健美操直角支撑转体 720° 的生物力学分析[J]. 北京体育大学学报,2007,30(6):863-865.
[32] 刘承宜,胡少娟,李晓云,等. 定量差异及其在体育科学中的应用[J]. 体育学刊,2016,23(1):11-17.
[33] 鞠秀奎. 青少年男子体操运动员主要关节的等速肌力特征[J]. 中国组织工程研究,2016, 20(46):6922-6929.
[34] 石新燕. 不同等级散打运动员肘、膝关节肌群等速测试肌力特征研究[J]. 天津体育学院学报,2012,27(2):168-172.
[35] 杨建琴,冯瑞. FIG 有氧踏板成套动作分析与研究-以 2016 亚洲体操节为例[J]. 体育科技文献通报,2018,26(7):165-167.
[36] 石金龙. 第十三届世界健美操锦标赛有氧踏板动作要素分析[J]. 四川体育科学,2016,35(4):78-82.