

文章编号: 1004-7220(2020)06-0698-07

基于 AnyBody 仿真的瑜伽动作下肢生物力学特征

赵盼超, 纪仲秋, 文蕊香, 陈 齐, 姜桂萍

(北京师范大学 体育与运动学院, 北京 100875)

摘要:目的 选取树式和燕式平衡两个瑜伽单腿支撑动作,对比专业组和非专业组下肢关节角度、关节力、肌力的生物力学特征,为瑜伽初学者科学健身以及康复医师确定运动处方提供理论依据。方法 采用 BTS 红外动作捕捉系统采集运动学数据, Kistler 测力台采集动力学数据, AnyBody 7.0 仿真软件计算下肢关节力和肌力, Biodex 平衡测试系统评估单支撑稳定性。结果 树式和燕式平衡动作中,下肢肌力均表现出专业组大于非专业组。树式支撑腿:胫骨前肌、臀中肌后束、髂肌内侧、缝匠肌肌力大于非专业组($P<0.05$)。树式平衡腿:股二头肌短头、缝匠肌,梨状肌、下籽肌、髂肌外侧、髂肌内侧、臀大肌下束、闭孔内肌大于非专业组($P<0.05$)。燕式支撑腿:胫骨前肌、趾长伸肌、拇长伸肌、闭孔内肌、臀大肌上束大于非专业组($P<0.05$)。燕式平衡腿:拇长伸肌大于非专业组($P<0.05$)。PS-BI 总体、前后方向以及单腿站立(athlete single leg, ASL)总体、前后方向、左右方向的分值,专业组显著小于非专业组($P<0.05$)。结论 关节角度影响下肢肌肉练习的程度,在瑜伽练习时应注意动作的规范和相应肌肉的锻炼。树式动作中,非专业组双腿肌力都与专业组存在显著差异,燕式平衡动作的差异更多地表现在支撑腿上。瑜伽练习能够多方位提高单腿支撑稳定性。

关键词:瑜伽动作; 燕式平衡; 树式; 生物力学

中图分类号: R 318.01 **文献标志码:** A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2020.06.008

Biomechanical Characteristics of Lower Limbs of Yoga Posture Based on AnyBody Simulation

ZHAO Panchao, JI Zhongqiu, WEN Ruixiang, CHEN Qi, JIANG Guiping

(College of Physical Education and Sport, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Objective The single leg support tree pose and Yan balance of yoga was selected to compare the biomechanical characteristics of lower limb joint angles, joint force and muscle strength for professional and non-professional yoga practitioners, so as to provide theoretical basis for scientific fitness of yoga beginners and exercise prescription determined by rehabilitation physicians. **Methods** BTS infrared motion capture system was used to collect kinematic data, Kistler forceplate was used to collect dynamic data, AnyBody 7.0 simulation software was used to calculate the joint force and muscle strength, and Biodex balance system was used to evaluate the stability of single support. **Results** In both tree pose and Yan balance, the muscle strength of lower limbs in professional group was greater than that in non-professional group. Support leg of tree pose: the muscle strength of the tibialis anterior, gluteus medius posterior, iliac medialis and sartorius in professional group was greater than that in non-professional group ($P<0.05$). Balance leg of tree pose: the muscle strength of the biceps femoris breve, sartorius, piriformis, gemellus inferior, iliac lateralis, iliac medialis, gluteus maximus inferior,

收稿日期:2019-12-11; 修回日期:2020-02-16

基金项目:北京市财政资助项目(PXM2018-178215-000001)

通信作者:纪仲秋,教授, E-mail: jizhongqiu61@bnu.edu.cn

obturator internus in professional group was greater than that in non-professional group ($P < 0.05$). Support leg of Yan balance: the muscle strength of tibialis anterior, extensor digitorum longus, extensor hallucis longus, obturator internus, gluteus maximus superior in the professional group was greater than the non-professional group ($P < 0.05$). Balance leg of Yan balance: The muscle strength of extensor hallucis longus in professional group was greater than that in non-professional group ($P < 0.05$). The scores of front-rear, overall of PS-BI, overall, front-rear, left-right of athlete single leg (ASL) in professional group were significantly lower than those in non-professional group ($P < 0.05$). **Conclusions** The joint angle will affect the degree of muscle exercise in lower limbs. During yoga practice, attention should be paid to the standard of postures and the exercise of corresponding muscles. In tree pose, the muscle strength of both legs in non-professional group was significantly different from that in professional group, and the difference in Yan balance was more obvious on the supporting leg. Yoga practice can improve the stability of single leg support in multiple directions.

Key words: yoga posture; Yan balance; tree pose; biomechanics

瑜伽是利用一系列特定身体姿势练习达到健康和放松目标的一项运动,它不但能缓解心理压力,防治精神疾病,还可以改善身体形态,提高身体机能,从而有效地预防和治疗心脑血管等慢性疾病^[1-2]。目前,国内研究者多将瑜伽当作一种干预和训练方式,有关其生物力学方面的研究鲜有报道;国外研究者主要关注不同体式瑜伽动作的运动学和肌电特征^[3-7]。虽然肌电信号也能反映肌肉发力特征,却不能反映出深层肌力特征。计算机仿真作为生物力学领域新兴的技术,能够计算人体的关节力、力矩、肌力,为瑜伽生物力学特征的深入研究奠定了坚实基础^[8-9]。

树式和燕式平衡动作是瑜伽单腿支撑动作的代表。本文通过对比专业组和非专业组下肢关节角度、关节力、肌力的生物力学特征,揭示单腿支撑动作的运动规律,旨在为初学者科学健身以及康复医师确定运动处方提供理论依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象

研究对象为 10 名女性志愿者。专业组 5 名,练习经历均长达 3 年以上,年龄(24.00 ± 1.22)岁,身高(166.20 ± 1.78)cm,体质量(49.90 ± 2.97)kg。非专业组 5 名,均为普通女大学生,无瑜练经历,年龄(23.80 ± 0.84)岁,身高(164.00 ± 1.00)cm,体质量(53.50 ± 6.25)kg。两组志愿者年龄、身高、体质量均无显著性差异,均有良好的理解能力,身体健康,无下肢关节病史,运动功能正常。实验前,所有受试者均签署知情同意书。

1.2 研究方法

1.2.1 测试方案 包括动作捕捉测试和平衡能力测试。测试开始前,受试者做一些简单的热身活动。选用左腿为支撑腿,右腿为平衡腿。动作捕捉测试完成后进行平衡能力测试。

1.2.2 动作捕捉测试 采用高精度红外线光学运动捕捉系统(BTS SMART DX 700, BTS Bioengineering 公司,意大利)采集运动数据,采样频率为 100 Hz,分辨率为 640 dpi×480 dpi,精度在 4 m×3 m×3 m 的空间下小于 0.2 μm。按照 AnyBody 仿真模型在骨性标志点上放置 25 个反光标志点。关节角度选取树式动作平衡腿膝屈曲角度、髋屈曲角度以及燕式平衡动作平衡腿与脊柱的夹角。通过三维测力台(928E, Kistler 公司,瑞士)采集地面反作用力数据,采样频率为 250 Hz,静态检测误差小于 0.5%。燕式平衡和树式动作各测试 3 次,每次采集的时间为 20 s,选择最稳定的一次进行仿真建模分析。动作捕捉和 Kistler 测力台实现数据的同步采集。实验采集场景如图 1 所示。



图 1 实验采集场景

Fig.1 Experimental acquisition scenarios

1.2.3 肌电测试 使用 Noraxon 表面肌电测试系统记录内侧腓肠肌和胫骨前肌积分肌电值 (integral electromyography, iEMG), 采集频率 1 kHz, 对原始数据进行翻正、滤波 (40~200 Hz) 和整流 (100 ms), 采集时间与动作捕捉同步。

1.2.4 平衡测试 采用 Biodex 平衡测试系统 (Biodex Medical System 公司, 美国) 中的姿势稳定性 (postural stability, PS) 测试、运动员单腿站立 (athlete single leg, ASL) 稳定性测试来评估两组的单支撑稳定性。平台稳定级别为 4 级, 测试时间 15 s/次, 重复 2 次, 间隔 10 s。PS 测试选择单侧比较 (bilateral comparison, BI)。

测试流程: ① 受试者填写个人信息; ② 脱鞋 (消毒后) 站上实验平台, 左脚站至平台中央, 记录坐标位置, 右脚离地保持屈膝状态; ③ 测试开始, 双手置于身体两侧, 保持重心平稳。测试指标的计算方法^[10-11]如下:

综合稳定性指数 (overall stability index, OSI)

$$OSI = \sqrt{\frac{\sum (0 - Y)^2 + \sum (0 - X)^2}{N}}$$

前后稳定性指数 (the anterior/posterior stability index, APSI)

$$APSI = \sqrt{\frac{\sum (0 - Y)^2}{N}}$$

内外侧稳定性指数 (the medial/lateral stability index, MLSI)

$$MLSI = \sqrt{\frac{\sum (0 - Y)^2}{N}}$$

其中: Y 、 X 分别为矢状面、额状面的活动幅度; N 为样本量。

1.3 数据采集与处理

1.3.1 运动学数据处理 ① 关节角度数据: 将捕捉到的红外数据在 BTS Tracker 软件中连点, 随后在 BTS Analyzer 软件中计算关节角度。② 运动学数据: 在 BTS Tracker 软件中截取动作最稳定的 10 s 数据, 共 2 500 帧, 以 C3D 的格式导出软件。

1.3.2 仿真数据处理 将截取的运动学和地面反作用力数据导入 AnyBody 7.0 (AnyBody Technology 公司, 德国) 仿真软件进行计算, 并利用软件中最优化方案解决肌肉募集的冗余问题^[12-13]。计算结束

后, 将下肢关节力和肌力导入 EXCEL 软件中计算平均关节力和肌力。将所有力学指标除以每个受试者的体质量 (body weight, BW) 进行标准化处理。骨肌模型如图 2 所示。

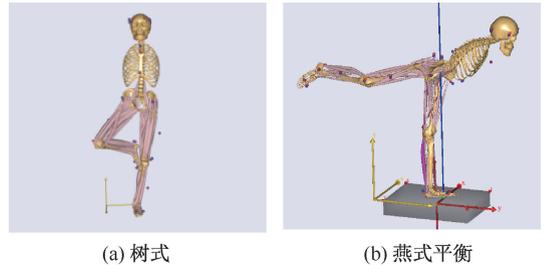


图 2 不同瑜伽动作的骨肌模型

Fig.2 Skeletal muscle model for different yoga postures

(a) Tree pose, (b) Yan balance

本文坐标系统的定义: AnyBody 仿真系统中人体关节与运动关系是根据国际生物力学学会 (International Society of Biomechanics, ISB) 对人体关节局部坐标系和人体骨骼肌总体坐标系进行的。相对于解剖姿势来说, 环节之间的作用力方向指向内侧为正, 外侧为负; 指向前侧为正, 后侧为负; 指向肢体的近端为正, 远端为负^[14]。 X 代表内外侧方向, Y 代表纵向, Z 代表前后侧方向。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 19.0 对实验数据进行分析处理。各指标以均数±标准差的形式表示。采用独立样本 t 检验比较两组之间的差异, 以 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 关节角度

非专业组髌屈曲角度显著大于专业组 ($P < 0.05$), 见表 1。

表 1 不同瑜伽动作关节角度比较 (* $P < 0.05$)

Tab.1 Comparison of joint angles for different yoga postures (°)

动作	关节角	专业组	非专业组
树式	髌屈曲	141.19±3.18*	146.35±2.85
燕式	膝屈曲	53.23±10.92	65.74±10.94
平衡	脊柱与平衡腿夹角	130.05±13.45	145.62±13.74

2.2 地面反作用力

树式和燕式平衡动作中, 专业组和非专业左侧

下肢地面反作用力均不具有显著性差异(见表2)。

表2 左侧下肢力学特征比较

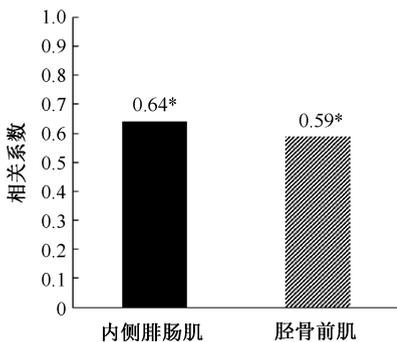
Tab.2 Comparison of mechanical characteristics for left lower limbs N/BW

下肢力	树式		燕式平衡	
	专业组	非专业组	专业组	非专业组
X方向	0.14±0.05	0.10±0.04	0.16±0.05	0.11±0.04
Y方向	9.77±0.30	9.58±0.68	9.92±0.24	9.66±0.62
Z方向	0.11±0.09	0.04±0.02	0.05±0.01	0.07±0.02

表3 不同瑜伽动作下肢净关节力比较

Tab.3 Comparison of net joint force for lower limbs under different yoga postures

关节		树式				燕式平衡			
		专业组		非专业组		专业组		非专业组	
		左腿	右腿	左腿	右腿	左腿	右腿	左腿	右腿
踝	X方向	-0.14±0.05	0.00±0.00	-0.10±0.03	0.00±0.00	-0.16±0.05	-0.00±0.00	-0.11±0.04	-0.00±0.00
	Y方向	-9.63±0.30	0.13±0.00	-9.44±0.67	0.14±0.00	-9.78±0.24	0.14±0.01	-9.51±0.62	0.15±0.01
	Z方向	0.09±0.09	0.00±0.00	0.04±0.02	0.00±0.00	0.06±0.04	-0.00±0.00	0.07±0.07	-0.00±0.00
髌	X方向	-0.14±0.05	0.00±0.01	-0.10±0.03	0.01±0.00	0.84±2.03	0.93±1.59	0.31±0.55	0.03±0.02
	Y方向	-8.27±0.31	1.49±0.04	-8.01±0.59	1.57±0.10	-9.48±1.94	1.92±0.77	-8.10±0.93	1.71±0.05
	Z方向	0.08±0.09	0.01±0.01	0.04±0.01	0.01±0.00	-0.96±1.81	0.01±0.00	-0.62±0.66	0.03±0.01
膝	X方向	-0.14±0.05	0.00±0.00	-0.10±0.03	0.00±0.00	-0.17±0.05	0.00±0.00	-0.11±0.04	0.01±0.00
	Y方向	-9.20±0.30	0.57±0.01	-8.98±0.64	0.59±0.04	-9.34±0.25	0.58±0.01	-9.01±0.63	0.64±0.03
	Z方向	0.08±0.09	0.00±0.00	0.04±0.02	-0.00±0.00	0.06±0.04	0.00±0.00	0.07±0.07	0.00±0.00
距下	X方向	-0.14±0.05	0.00±0.00	-0.10±0.03	0.00±0.00	-0.16±0.05	-0.00±0.00	-0.11±0.04	-0.00±0.00
	Y方向	-9.66±0.30	0.11±0.00	-9.47±0.67	0.11±0.00	-9.81±0.24	0.11±0.01	-9.54±0.62	0.12±0.01
	Z方向	0.09±0.09	0.00±0.00	0.04±0.02	0.00±0.00	0.06±0.04	-0.00±0.00	0.07±0.01	-0.00±0.00



* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关

图3 肌肉激活度与积分肌电相关性

Fig.3 Correlation between muscle activity and iEMG

2.4.2 树式动作下肢肌力 胫骨前肌($P=0.00$)、缝匠肌肌力($P=0.02$)、髂肌内侧($P=0.00$)、臀中肌后束($P=0.00$),专业组显著大于非专业组(见表4)。

股二头肌短头($P=0.04$)、髂肌外侧($P=0.00$)、髂肌内侧($P=0.00$)、缝匠肌($P=0.04$)、梨状肌($P=0.03$)、臀大肌下束($P=0.00$)、下籽肌($P=0.04$)、闭孔内肌($P=0.00$),专业组显著大于

2.3 下肢净关节力

树式和燕式平衡动作中,专业组和非专业下肢髌、膝、踝和距下关节的净关节力均不具有显著性差异(见表3)。

2.4 下肢肌力

2.4.1 肌肉激活度与积分肌电相关性 受试者做树式动作时,内侧腓肠肌和胫骨前肌 iEMG 和相应肌肉激活度在 0.05 水平(双侧)上显著相关(见图3)。

非专业组(见表5)。

2.4.3 燕式平衡动作下肢肌力 胫骨前肌($P=0.02$)、闭孔内肌($P=0.00$)、趾长伸肌($P=0.02$),拇长伸肌($P=0.03$)、臀大肌上束($P=0.00$),专业组显著大于非专业组(见表6)。拇长伸肌肌力专业组显著大于非专业组($P=0.03$),见表7。

2.5 平衡能力测试结果

PS-BI 总体($P=0.02$)、前后方向($P=0.03$)、ASL 总体($P=0.04$)、前后方向($P=0.03$)、左右方向($P=0.04$),专业组与非专业组具有显著性差异(见表8)。

3 讨论

瑜伽通常是术后康复的重要形式之一,因为其在一定程度上能够提高关节的灵活性^[15]。本文选取树式和燕式平衡动作作为研究对象,原因如下:① 虽动作简单,但运动负荷适用于多数术后康复的患者,具有较强的广泛性。② 患者可以根据自身的体能和平衡能力的强弱自由控制锻炼时间。研究

表4 树式动作支撑腿肌力比较 (* $P<0.05$, ** $P<0.01$)

Tab.4 Comparison of muscle strength for supporting leg in tree pose

N/BW

肌肉	专业组	非专业组	肌肉	专业组	非专业组
腓肠肌外侧	6.57±1.00	5.15±1.81	髂肌外侧	1.17±0.48	0.57±0.42
腓肠肌内侧	17.73±3.73	14.64±4.67	髂肌内侧	3.99±0.30**	1.94±0.53
趾长伸肌	0.61±0.41	0.47±0.54	髂中肌	1.16±0.79	1.35±0.75
拇长伸肌	0.67±0.44	0.38±0.43	腰大肌	2.16±1.16	1.64±1.24
半腱肌	6.79±4.10	4.36±3.85	臀小肌前束	2.59±1.08	2.23±1.07
半膜肌	5.50±2.41	3.35±2.55	臀小肌中束	2.31±0.85	1.59±0.72
腓骨短肌	1.52±0.93	0.45±0.54	臀小肌后束	1.86±0.66	1.09±0.54
腓骨长肌	3.84±0.23	2.80±0.63	臀中肌前束	8.28±2.52	6.32±1.97
股二头肌长头	6.45±1.11	5.38±1.10	臀中肌后束	13.82±1.51**	9.65±1.43
股二头肌短头	4.11±1.72	2.96±0.50	臀大肌上束	2.10±1.11	1.53±0.53
胫骨前肌	5.37±0.29**	1.80±0.37	梨状肌	2.20±0.86	1.15±0.55
缝匠肌	6.73±1.08*	4.02±0.48	跖肌	0.30±0.05	0.21±0.08

表5 树式动作平衡腿肌力比较 (* $P<0.05$, ** $P<0.01$)

Tab.5 Comparison of muscle strength for balance leg in tree pose

N/BW

肌肉	专业组	非专业组	肌肉	专业组	非专业组
腓肠肌内侧	0.05±0.04	0.04±0.01	臀小肌后束	0.18±0.16	0.31±0.09
趾长伸肌	0.06±0.03	0.06±0.01	臀大肌上束	1.46±2.57	0.11±0.05
拇长伸肌	0.08±0.02	0.06±0.01	臀大肌下束	0.60±0.20**	0.07±0.01
股二头肌长头	2.90±0.08	0.20±0.01	跖肌	0.07±0.03	0.05±0.02
股二头肌短头	1.02±0.09*	0.87±0.09	股方肌	0.50±0.20	0.34±0.22
髂肌外侧	0.31±0.03**	0.22±0.02	下籽肌	0.22±0.03*	0.14±0.05
髂肌内侧	0.81±0.08**	0.63±0.05	上籽肌	0.36±0.15	0.23±0.17
髂中肌	0.29±0.04	0.25±0.03	闭孔内肌	2.13±0.44**	1.22±0.29
胫骨前肌	0.17±0.04	0.05±0.01	腓骨短肌	0.22±0.03	0.12±0.03
缝匠肌	2.31±0.19*	1.97±0.19	腓骨长肌	0.25±0.17	0.04±0.01
腰大肌	0.45±0.05	0.43±0.05	阔筋膜张肌	1.14±0.86	0.71±0.05

表6 燕式平衡动作支撑腿肌力比较 (* $P<0.05$, ** $P<0.01$)

Tab.6 Comparison of muscle strength for supporting leg in Yan balance

N/BW

肌肉	专业组	非专业组	肌肉	专业组	非专业组
外侧腓肠肌	8.44±0.45	8.03±0.24	股四头肌	1.86±0.78	1.64±0.12
内侧腓肠肌	39.9±12.74	30.88±4.77	趾长伸肌	2.09±0.53*	0.76±0.49
胫骨前肌	25.08±4.02*	12.13±3.74	拇长伸肌	2.68±0.63*	1.25±0.57
半腱肌	15.86±3.82	10.48±2.57	臀中肌后束	3.35±0.77	3.08±1.62
半膜肌	11.96±1.80	10.08±1.88	臀小肌后束	2.33±0.36	1.40±0.48
股二头肌长头	6.17±1.46	4.73±2.05	臀大肌上束	13.69±1.21**	6.82±0.74
股二头肌短头	0.87±0.29	0.90±0.16	臀大肌下束	0.78±0.62	1.96±0.12
下籽肌	1.89±0.99	1.20±0.17	梨状肌	2.64±1.39	2.42±0.16
上籽肌	1.13±0.10	0.84±0.12	缝匠肌近端	1.95±0.89	1.29±0.37
闭孔外肌上束	9.33±3.70	6.12±0.52	缝匠肌远端	2.46±0.57	2.59±0.59
闭孔内肌	14.41±1.10**	8.34±1.13			

表明,瑜伽的单支撑动作比起双支撑动作,具有更大的关节活动度、关节扭矩和肌肉发力,从而能够更大程度地对术后患者进行康复^[16-17]。因此,本文

选取两个具有代表性的单支撑动作进行研究,旨在为瑜伽初学者科学健身以及康复医师确定运动处方提供理论依据。

表 7 燕式平衡动作平衡腿肌力比较 (* P<0.05)

			N/BW		
肌肉	专业组	非专业组	肌肉	专业组	非专业组
腓肠肌内侧	0.36±0.07	0.14±0.16	臀小肌前束	0.72±0.20	0.62±0.13
胫骨前肌	0.47±0.11	0.22±0.01	臀小肌中束	0.58±0.16	0.44±0.09
趾长伸肌	0.04±0.01	0.03±0.01	臀小肌后束	0.52±0.15	0.35±0.08
拇长伸肌	0.06±0.01*	0.03±0.01	臀中肌前束	2.09±0.64	2.14±0.47
腓骨长肌	0.03±0.01	0.04±0.01	臀中肌后束	5.41±1.52	4.13±0.84
第三腓骨肌	0.04±0.02	0.01±0.01	臀大肌上束	2.39±0.63	2.25±0.35
半腱肌	0.74±0.24	0.87±0.04	臀大肌下束	0.68±0.12	0.57±0.20
半膜肌	0.91±0.41	1.03±0.08	梨状肌	0.48±0.15	0.24±0.18
股二头肌长头	1.67±1.01	1.97±0.35	上籽肌	0.16±0.05	0.10±0.01
股二头肌短头	0.09±0.02	0.05±0.01			

表 8 PS-BI 和 ASL 平衡结果比较 (* P<0.05)

测试指标		专业组	非专业组
PS-BI	总体	1.04±0.34*	1.90±0.51
	前后方向	0.78±0.39*	1.64±0.59
	左右方向	0.54±0.09	0.60±0.23
ASL	总体	1.46±0.60*	2.60±0.86
	前后方向	1.12±0.65*	2.10±0.47
	左右方向	0.66±0.42*	1.50±0.68

3.1 专业组和非专业组树式动作特征对比分析

树式动作中,主要发力的肌肉为腓肠肌、臀中肌、股二头肌、胫骨前肌、缝匠肌、半腱肌和半膜肌。研究显示,踝部肌肉活动占主导地位^[18]。本文发现,除了踝关节肌肉外,髌关节肌肉也有较大的发力。总体来看,树式动作中,专业组比非专业组的支撑腿发力更大。因此,本文认为,加强树式动作练习不仅可以锻炼胫骨前肌和腓肠肌,也可以锻炼臀肌和髌关节肌。大部分学者重视支撑腿的研究,而忽略了平衡腿。有研究提示,平衡腿发力是维持平衡的重要因素^[19]。树式动作中,平衡腿比支撑腿的肌力小,但两组的肌力差异较大。两组主要发力肌肉存在差异,专业组臀大肌上束为主要发力肌肉,而非专业组除了臀大肌上束,还有髌关节和脊柱的肌肉。肌力表现出专业组大于非专业组的特征。

树式动作要求单腿支撑,平衡腿放于支撑腿的大腿内侧,两腿互相支撑维持稳定。本文数据显示,专业组肌力大于非专业组,这与下肢关节角度有关。专业组表现出平衡腿抬起较大的高度,更贴近于大腿根部,膝关节更加屈曲,反映到数据上就

是有较小的髌、膝屈曲角度,提示大腿抬起高度是专业组肌力大于非专业组的主要原因。

3.2 专业组和非专业组燕式平衡动作特征对比分析

燕式平衡动作中,两组肌力的差异更多地表现在支撑腿上,平衡腿下肢肌力在两组之间没有太大差异,这与动作特征有关。支撑腿是绷直的,屈曲角度为0,膝关节内侧副韧带会被动拉紧,大腿后肌群高度紧张,以保证膝关节的稳定性和克服整个身体的重力矩。由平衡腿与脊柱的夹角可知,往往专业组显示出平衡腿抬起较大的高度,若非专业组刻意抬高平衡腿高度,会使身体失衡。肌力差异主要是小腿肌和骨盆肌,提示非专业组在规范动作标准外,还应加强小腿和骨盆肌肉的锻炼。

内侧腓肠肌的活动水平对瑜伽的运动模式十分必要,并且腓肠肌是单支撑动作中最活跃的肌肉^[20-21],这与本文研究结果一致。除了内侧腓肠肌外,小腿前侧、大腿内侧、臀肌上部肌肉以及骨盆肌均较活跃。

3.3 专业组和非专业组平衡能力结果分析

选取姿势稳定度中的单脚平衡测试和运动员单脚稳定测试对支撑稳定性进行评估。PS-BI 总体、前后方向以及 ASL 总体、前后方向、左右方向的分数,专业组显著小于非专业组。在区间内,稳定分数越小,稳定性越好^[22],故瑜伽练习能够多方位提高单腿稳定性。

3.4 不足及展望

本文选取的受试者数量较少,后续研究应增加受试者的数量,扩大年龄范围,增加对疾病康复人群的瑜伽仿真研究。选取的瑜伽动作较单一,仅仅

是单腿支撑的瑜伽动作,未来的研究可以增加双腿支撑或大众喜闻乐见的瑜伽动作。

4 结论

(1) 树式动作中,平衡腿抬起的高度影响下肢肌肉练习的程度,在训练时应尽可能抬高平衡腿。非专业组除了加强支撑腿胫骨前肌、缝匠肌、髂肌内侧、臀中肌后束肌肉的锻炼外,还要加强平衡腿大腿后侧、臀部和骨盆的肌肉的锻炼。

(2) 燕式平衡动作中,平衡腿和躯干的夹角会影响下肢肌肉的练习。非专业组除了加强支撑腿小腿前侧和后侧、大腿后侧、臀部肌肉的锻炼外,还要加强平衡腿臀部和后侧肌肉的锻炼。

(3) 瑜伽练习能够多方位提高练习者单腿支撑稳定性。

参考文献:

- [1] ALPHONSUS KB, SU Y, D'ARCY C. The effect of exercise, yoga and Physiotherapy on the quality of life of people with multiple sclerosis: Systematic review and meta-analysis [J]. *Complement Ther Med*, 2019, 43(1): 188-195.
- [2] CRAMER H, LAUCHE R, HALLER H, *et al.* Effects of yoga on cardiovascular disease risk factors: A systematic review and meta-analysis [J]. *Int J Cardiol*, 2014, 173(2): 170-183.
- [3] 祁俊菊, 王仙园, 杜秋华. 瑜伽对慢性腰痛患者康复的生物力学机制分析 [J]. *中国医学物理学杂志*, 2017, 34(7): 748-752.
- [4] 黄振. 瑜伽经典站立体式动作特征的运动生物力学分析 [D]. 西安: 西安体育学院, 2018.
- [5] 孔明明. 对哈他瑜伽体式的运动学特征研究 [D]. 天津: 天津体育学院, 2017.
- [6] 郭文佳. 哈他瑜伽舞王式的运动学分析 [D]. 北京: 首都体育学院, 2015.
- [7] 许婕. 哈他瑜伽常用体式动作特征的研究 [D]. 北京: 北京体育大学, 2014.
- [8] 郝卫亚. 人体运动的生物力学建模与计算机仿真进展 [J]. *医用生物力学*, 2011, 26(2): 97-104.
HAO WY. Advances in biomechanical modeling and computer simulation of human movement [J]. *J Med Biomech*, 2011, 26(2): 97-104.
- [9] 罗林聪, 马立敏, 林泽, 等. 基于 AnyBody 骨骼肌肉多体动力学分析的有限元仿真 [J]. *医用生物力学*, 2019, 34(3): 237-242.
LUO LC, MA LM, LIN Z, *et al.* Finite element simulation of AnyBody-based musculoskeletal multi-body dynamics [J]. *J Med Biomech*, 2019, 34(3): 237-242.
- [10] CUG M, WIKSTROM E A. Learning effects associated with the least stable level of the biodex stability system during dual and single limb stance [J]. *J Sports Sci Med*, 2014, 13(2): 387-392.
- [11] SCHMITZ R, ARNOLD B. Intertester and intratester reliability of a dynamic balance protocol using the Biodex stability system [J]. *J Sport Rehabil*, 2010, 7(2): 95-101.
- [12] 王畅, 牛文鑫, 何艳, 等. 面向逆向动力学仿真驱动和验证的半蹲式跳伞着陆实验研究 [J]. *医用生物力学*, 2010, 25(4): 260-261.
WANG Y, NIU WX, HE Y, *et al.* Experimental study on the half-squat parachute landing for driving and validating the inverse dynamic simulation [J]. *J Med Biomech*, 2010, 25(4): 260-261.
- [13] 茆军兵, 贾晓红, 王人成, 等. 头部前屈运动过程中颈肌特性的研究 [J]. *医用生物力学*, 2012, 27(5): 577-579.
MAO JB, JIA XH, WANG RC, *et al.* Neck muscle activity during head flexion [J]. *J Med Biomech*, 2012, 27(5): 577-579.
- [14] WU G, HELM FCT, DIRKJAN VEEGER HE, *et al.* ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion. Part II: Shoulder, elbow, wrist and hand [J]. *J Biomech*, 2005, 38(5): 981-992.
- [15] WILLIAMS KA, PETRONIS J, SMITH D, *et al.* Effect of Iyengar yoga therapy for chronic low back pain [J]. *Pain*, 2005, 115(1-2): 107-117.
- [16] LONGPRE HS, BRENNEMANE C, JOHNSON ALM, *et al.* Identifying yoga-based knee strengthening exercises using the knee adduction moment [J]. *Clin Biomech*, 2015, 30(8): 820-826.
- [17] MEARS SC, TACKETT A, ELKINS MC, *et al.* Ankle motion in common yoga poses [J]. *Foot*, 2019, 39(2): 55-59.
- [18] KELLEY KK, GIANNICO K, LESNETT G, *et al.* A comparison of EMG output of four lower extremity muscles during selected yoga postures [J]. *J Bodywork Movement Ther*, 2019, 23(2): 329-333.
- [19] MEARS SC, WILSON MR, MANNEN EM, *et al.* Position of the hip in yoga [J]. *J Arthroplasty*, 2018, 33(7): 2306-2311.
- [20] NI M, MOONEY K, HARRIELL K, *et al.* Core muscle function during specific yoga poses [J]. *Complement Ther Med*, 2014, 22(2): 235-243.
- [21] KELLEY K, SLATTERY K, APOLLP K. An electromyographic analysis of selected asana in experienced yogic practitioners [J]. *J Bodywork Movement Ther*, 2018, 22(1): 152-158.
- [22] SIBLEY KM, STRAUS SE, INNESS EL, *et al.* Balance assessment practices and use of standardized balance measures among Ontario physical therapists [J]. *Phys Ther*, 2011, 91(11): 1583-1591.