

文章编号: 1004-7220(2021)03-0415-08

基于 AnyBody 仿真不同身体质量指数青年八段锦动作的下肢生物力学特征

庞 博, 纪仲秋, 张子华, 胡 鑫, 姜桂萍
(北京师范大学 体育与运动学院, 北京 100875)

摘要:目的 对比八段锦干预前后不同身体质量指数(body mass index, BMI)青年下肢生物力学特征,为不同 BMI 八段锦练习者进行科学锻炼及设定运动处方提供参考。方法 将不同 BMI 青年人群分为标准组、超重组、肥胖组,以 BTS SMART 3D 红外动作捕捉系统记录运动参数及肌电参数, KISTLER 测力台记录动力参数,用 AnyBody 仿真软件计算运动参数及动力参数, BTS SMART Analyzer 处理积分肌电值。结果 八段锦干预前各项指标无显著差异,干预后标准组、超重组、肥胖组膝关节屈伸角度、角速度以及标准组膝关节屈伸角加速度显著提高。八段锦显著提高标准组、超重组、肥胖组膝关节屈曲力及力矩,提高标准组髋关节屈曲力及力矩、踝关节跖屈力及力矩,干预后标准组同肥胖组相比,膝关节屈曲力、力矩均差异显著,膝关节屈曲力、力矩与 BMI 呈正相关。八段锦显著提高标准组、超重组、肥胖组的髂腰肌、臀中肌、梨状肌、臀大肌、股直肌、缝匠肌、胫骨前肌、股二头肌长头、趾长屈肌、拇长屈肌、腓骨长肌、腓骨短肌肌力。八段锦显著提高股直肌、胫骨前肌、股二头肌积分肌电值。结论 八段锦可提高青年下肢肌力和神经肌肉控制能力。BMI 越大,膝关节屈曲力、力矩越大。

关键词:八段锦; 身体质量指数; AnyBody 仿真; 运动生物力学

中图分类号: R 318.01 **文献标志码:** A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2021.03.019

Biomechanical Characteristics of Lower Limbs for the Youth with Different Body Mass Index Performing Baduanjin Exercise Based on AnyBody Simulation

PANG Bo, JI Zhongqiu, ZHANG Zihua, HU Xin, JIANG Guiping

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

Abstract: Objective To compare the biomechanical characteristics of lower limbs of young people with different body mass index (BMI) before and after the intervention of Baduanjin exercise, so as to provide references for scientific exercise and sport prescription for young Baduanjin practitioners with different BMIs. **Methods** Young volunteers with different BMI were divided into standard group, overweight group and obesity group. The BTS SMART 3D infrared motion capture system was used to capture the motion parameters and electromyography (EMG) parameters, the KISTLER dynamometer was used to collect the dynamic parameters, the AnyBody simulation software was used to calculate the kinematic parameters and dynamic parameters, and BTS SMART Analyzer was used to compare the different integral electromyography values. **Results** There was no significant difference in each parameter before the intervention of Baduanjin. After the intervention, the angle and angular

收稿日期:2020-05-24; 修回日期:2020-06-10

基金项目:国家社会科学基金课题(20BTY070)

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

velocity of the knee joint during extension and flexion in standard group, overweight group and obesity group, and the angular acceleration of the knee joint during extension and flexion in standard group significantly increased. Baduanjin significantly increased the knee flexion force and moment in standard group, overweight group and obesity group, and increased the hip flexion force and moment as well as ankle metatarsal flexion force and moment in standard group. Compared with obesity group, the knee flexion force and moment in standard group were significantly different. The knee joint force and moment were positively correlated with BMI. Baduanjin significantly increased muscle strength of iliopsoas, gluteus medius, piriformis, gluteus maximus, rectus femoris, sartorius, tibialis anterior, biceps femoris longhead, flexor digitorum longus, flexor pollicis longus, musculus peroneus longus and musculus peroneus brevis. Baduanjin significantly increased the integrated electromyogram (iEMG) of rectus femoris, tibialis anterior, biceps femoris. **Conclusions** Baduanjin can improve muscle strength and neuromuscular control ability of young people. The larger the BMI, the greater the flexion force and moment of the knee joint.

Key words: Baduanjin; body mass index (BMI); Anybody simulation; sports biomechanics

近年来,肥胖低龄化趋势越来越明显。肥胖由身体脂肪堆积过多所致,在青年健康中有诸多隐患。运动疗法是肥胖人群保持健康的重要手段^[1]。八段锦是适合初学者的健身运动,其各式功效对术后康复患者都有益处。中国国家卫生健康委办公厅印发的《新冠肺炎出院患者康复方案(试行)》(国卫办医函[2020]189号)将八段锦列入推荐运动。在体医融合的快速推动下,八段锦的中医养生知识广受欢迎,并获得极高知名度,可有效降低上下肢及腰腹部皮下脂肪^[2]。然而八段锦研究多见于社会科学理论和临床疾病效果研究,研究对象主体几乎全部为老年人,对标准体质量、超重和肥胖者分组并分析动作,有利于纠正错误,设定适宜运动处方,提高锻炼效果^[3-4]。

目前有关不同体质量指数(body mass index, BMI)人群练习八段锦的生物力学特征研究鲜有报道,故有必要量化不同BMI人群练习八段锦生物力学特征,通过客观指标提高其理论科学性。本文通过AnyBody仿真对不同BMI青年男性于八段锦干预14周前后进行运动学和动力学参数、肌肉力值、表面肌电峰值比较,以更高层次全面的运动生物力学原理研究,为八段锦锻炼科学化奠定基础。

1 对象与方法

1.1 研究对象

研究对象为36名男性受试者。要求受试者无影响运动功能的神经和肌肉疾病,下肢关节运动无限制,能正常沟通与交流。按照BMI指标分成标准

组(BMI=18.5~23.9 kg/m²)、超重组(BMI=24.0~27.9 kg/m²)、肥胖组(BMI≥28.0 kg/m²)^[5]。受试者基本情况如表1所示。所有受试者自愿参加本试验,填写知情同意书。

表1 受试者基本资料

Tab.1 Basic data of the subjects

组别	数量	年龄/岁	身高/m	体质量/kg	BMI/ (kg·m ⁻²)
标准组	12	20.3±0.5	1.78±0.15	70.62±5.36	21.56±1.39
超重组	12	19.8±0.6	1.77±0.12	85.63±4.29	25.37±1.43
肥胖组	12	20.5±0.5	1.78±0.08	92.08±5.73	28.62±1.04

1.2 研究方法

1.2.1 研究方案 八段锦练习参照2003年国家体育总局健康气功管理中心颁布的《健康气功八段锦标准》^[6],由统一资质教师教授动作,频率为每周至少2次八段锦,共14周。基于八段锦中有定步、侧步,而侧步研究更有意义,故选取左右对称的摇头摆尾去心火动作,分析其特征。选取身体重心向右、向前、向左、向后运动4个时相。向右要求以马步姿势为基础,转为偏马步,再调整重心至右侧下肢。向前要求重心前移至双腿间,由偏马步转至马步。向左时,马步转偏马步,调整重心到左侧下肢。向后要求与后摆尾与前摇头结合,胸稍内含,收缩腹肌,以偏马步转为马步。由相同测试者在14周前后测受试者优势腿左右时相数据。基于本研究受试者大多数为右侧优势腿,剔除个别左侧优势腿数据。

1.2.2 动作捕捉测试 用BTS SMART DX 700红

外运动捕捉系统、KISTLER 测力台采集数据, BTS VIXTA 数字摄像机还原实验画面真实性, 用反光标

志物在受试者身上标记三维轨迹, 测试环境如图 1 所示。



图 1 受试者实拍图

Fig.1 Real pictures of the subject

1.2.3 表面肌电测试 以 BTS 表面肌电测试系统记录受试者动作股直肌、胫骨前肌、股二头肌、腓肠肌的积分肌电 (integrated electromyogram, iEMG)。对原始信号全波整流、翻正、滤波 (40~200 Hz)、平滑 (100 ms) 处理, 分析 iEMG^[7]。

1.3 数据处理与分析

用 AnyBody 软件处理运动学与动力学参数^[8-9], 修改自带模型库站立模型 (Standing Model), 将 c3d 原始数据导入, 输出八段锦骨肌模型如图 2 所示。仿真计算结束后, 输出下肢髋、膝、踝关节角度、角速度、角加速度、关节力、关节力矩、肌肉力峰值。

1.4 数理统计

以 SPSS 20.0 软件统计分析, 计量资料用均值±标准差表示, 以多因素方差分析比较不同组间前后测差异、配对样本 *t* 检验比较同组前后测差异, 以 Pearson 相关分析 BMI 与膝关节力、力矩的关系, $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 运动学测试结果

八段锦前测各组运动学指标无显著差异, 与同组前测比, 后测标准组、超重组、肥胖组膝关节伸展角度差异显著 ($P = 0.048, 0.038, 0.040$), 膝

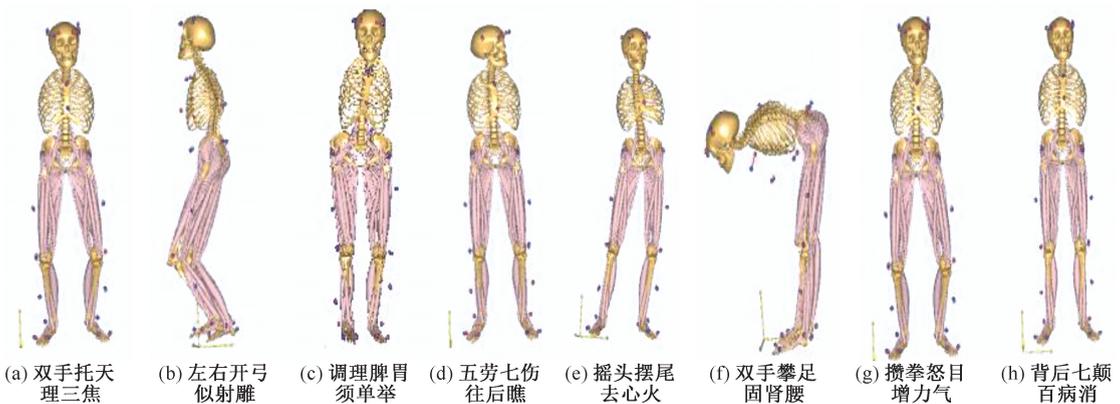


图 2 八段锦骨肌模型

Fig.2 Skeletal muscle model of Baduanjin (a) Prop up the sky by two improve tri-jiao, (b) Draw a bow on both sides like shooting a vulture, (c) Raise single arm up to regulate spleen, (d) Look back to treat five strains and seven impairments, (e) Shake the head and wag to expel heart fire, (f) Pull toes with both hands to reinforce the kidney, (g) Clench one's fist and glare to increase strength, (h) Rise and fall on tiptoe seven times to treat all disease

关节屈曲角度差异显著 ($P = 0.038$ 、 0.047 、 0.035), 膝关节伸展角速度差异显著 ($P = 0.029$ 、 0.041 、 0.033), 膝关节屈曲角速度差异显著 ($P = 0.036$ 、 0.047 、 0.035); 标准组前后测膝关节伸展、屈曲角加速度差异显著 ($P = 0.043$ 、 0.049), 见表 2~4。

表 2 干预前后下肢关节角度峰值

Tab.2 Peak angle of lower limb joints before and after intervention

单位: ($^{\circ}$)

动作	干预前			干预后		
	标准组	超重组	肥胖组	标准组	超重组	肥胖组
髋关节伸展	87.34±10.56	86.53±8.87	81.29±6.08	88.28±6.34	87.34±6.67	84.49±6.31
髋关节屈曲	87.25±10.39	88.02±9.63	85.36±7.32	88.82±6.91	88.54±8.63	87.82±8.19
膝关节伸展	65.36±6.42	63.82±7.94	63.54±6.53	70.59±5.76 ^a	69.62±3.95 ^b	69.35±6.83 ^c
膝关节屈曲	75.64±5.39	72.37±7.04	69.46±5.00	81.32±7.03 ^a	79.58±9.47 ^b	75.96±8.60 ^c
踝关节跖屈	19.73±3.54	17.34±2.46	17.52±3.97	20.91±4.63	19.47±3.82	18.63±4.39
踝关节背屈	13.79±5.63	13.82±2.14	13.96±3.35	13.89±6.37	13.76±5.08	13.74±6.92

注: a、b、c 分别表示与同组相比, 标准组、超重组、肥胖组前后测具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

表 3 干预前后下肢关节角速度峰值

Tab.3 Peak angular velocity of lower limb joints before and after intervention

单位: ($^{\circ}$)·s⁻¹

动作	干预前			干预后		
	标准组	超重组	肥胖组	标准组	超重组	肥胖组
髋关节伸展	12.02±2.61	11.42±3.43	11.34±3.38	12.45±2.63	11.68±2.17	11.37±2.96
髋关节屈曲	11.53±2.54	11.57±3.68	11.28±3.42	11.35±2.19	12.39±2.08	11.40±3.15
膝关节伸展	12.41±2.48	12.87±2.21	12.96±2.85	14.72±2.35 ^a	15.46±3.42 ^b	15.29±2.07 ^c
膝关节屈曲	12.45±2.82	12.86±2.83	12.42±3.84	14.93±2.60 ^a	15.14±2.45 ^b	15.36±2.21 ^c
踝关节跖屈	8.65±5.42	8.69±3.67	8.34±3.28	8.70±4.93	8.51±5.82	8.39±3.94
踝关节背屈	10.11±2.05	10.02±2.04	10.16±2.05	10.03±2.39	10.65±2.56	9.86±3.52

注: a、b、c 分别表示与同组相比, 标准组、超重组、肥胖组前后测具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

表 4 干预前后下肢关节角加速度峰值

Tab.4 Peak angular acceleration of lower limb joints before and after intervention

单位: ($^{\circ}$)·s⁻²

动作	干预前			干预后		
	标准组	超重组	肥胖组	标准组	超重组	肥胖组
髋关节伸展	4.60±0.93	4.52±0.84	4.43±0.98	4.95±1.09	4.68±1.25	4.56±1.37
髋关节屈曲	4.76±0.62	4.78±0.93	4.29±0.45	4.25±0.34	4.29±0.67	4.31±0.59
膝关节伸展	4.25±1.13	4.29±1.05	4.31±1.26	5.17±0.95 ^a	4.86±0.40	5.06±1.28
膝关节屈曲	4.40±1.08	4.45±0.73	4.56±0.97	5.43±1.32 ^a	5.15±1.66	5.11±1.24
踝关节跖屈	0.27±0.13	0.25±0.05	0.23±0.03	0.29±0.12	0.26±0.07	0.25±0.05
踝关节背屈	0.16±0.05	0.17±0.05	0.17±0.05	0.18±0.03	0.18±0.06	0.18±0.03

注: a、b、c 分别表示与同组相比, 标准组、超重组、肥胖组前后测具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

2.2 动力学测试结果

八段锦前测各组动力学指标无显著差异, 与同组前测比, 后测标准组、超重组、肥胖组膝关节屈曲力 ($P = 0.041$ 、 0.036 、 0.025), 标准组髋关节屈曲力 ($P = 0.033$), 踝关节跖屈力 ($P = 0.038$) 差异显著, 标准组与肥胖组后测相比, 膝关节屈曲力差异显著

($P = 0.041$); 与同组前测比, 后测标准组、超重组、肥胖组膝关节屈曲力矩 ($P = 0.044$ 、 0.044 、 $P = 0.041$), 标准组髋关节屈曲力矩 ($P = 0.040$), 踝关节跖屈力矩 ($P = 0.033$) 差异显著, 标准组与肥胖组后测相比, 膝关节屈曲力矩差异显著 ($P = 0.020$), 见表 5、6。

表 5 干预前后下肢净关节力峰值

Tab.5 Peak joint force of lower limbs before and after intervention

单位: N·kg⁻¹

动作	干预前			干预后		
	标准组	超重组	肥胖组	标准组	超重组	肥胖组
髋关节伸展	6.24±0.85	6.36±0.69	6.78±1.27	6.77±1.24	6.85±0.63	7.19±0.83
髋关节屈曲	7.67±0.85	8.47±1.58	8.95±2.71	8.69±1.28 ^a	9.13±1.45	9.50±1.61
膝关节伸展	10.07±1.24	10.35±0.63	10.38±0.89	10.42±0.17	10.63±0.80	10.98±0.84
膝关节屈曲	16.33±3.26	16.48±3.62	19.76±5.35	20.30±5.33 ^a	21.35±6.46 ^b	25.14±5.56 ^{c*}
踝关节跖屈	12.09±2.27	12.19±4.54	12.76±4.49	14.26±2.53 ^a	14.30±3.24	14.59±3.26
踝关节背屈	6.26±2.13	6.35±4.62	6.41±2.74	6.59±2.36	6.63±2.70	6.84±3.58

注: a、b、c 分别表示与同组相比, 标准组、超重组、肥胖组前后测具有显著性差异 ($P < 0.05$), * 表示标准组与肥胖组相比具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

表 6 干预前后下肢净关节力矩峰值

Tab.6 Peak moment of lower limb joints before and after intervention

单位: (N·m)·kg⁻¹

动作	干预前			干预后		
	标准组	超重组	肥胖组	标准组	超重组	肥胖组
髋关节伸展	0.72±0.27	0.74±0.30	0.78±0.22	0.75±0.36	0.78±0.41	0.81±0.34
髋关节屈曲	0.51±0.09	0.58±0.29	0.59±0.12	0.60±0.11 ^a	0.62±0.37	0.68±0.16
膝关节伸展	1.80±0.40	1.83±0.45	1.87±0.53	1.84±0.68	1.85±0.52	1.90±0.47
膝关节屈曲	23.94±1.87	25.05±3.62	26.49±1.86	26.13±2.96 ^a	27.73±2.30 ^b	29.05±3.53 ^{c*}
踝关节跖屈	1.35±0.23	1.35±0.27	1.40±0.45	1.56±0.22 ^a	1.56±0.49	1.57±0.73
踝关节背屈	5.68±1.52	5.73±1.65	5.80±1.03	5.36±1.82	5.89±1.65	5.92±1.50

注: a、b、c 分别表示与同组相比, 标准组、超重组、肥胖组前后测具有显著性差异 ($P < 0.05$), * 表示标准组与肥胖组相比具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

由于标准组与肥胖组后测相比, 膝关节屈曲力和力矩均差异显著 ($P < 0.05$), 本文对膝关节屈曲

力、力矩与 BMI 进行相关性分析。结果表明, 膝关节力、力矩与 BMI 呈正相关 ($r = 0.92, 0.91$), 见图 3。

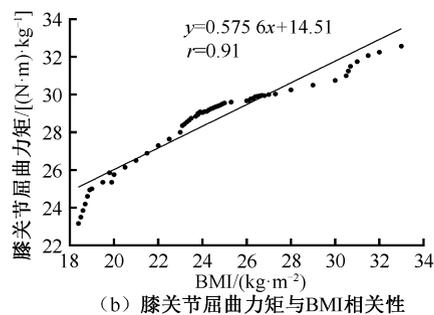
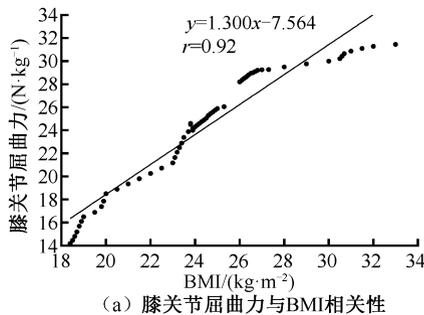


图 3 相关性分析

Fig.3 Correlation analysis (a) Correlation between knee flexion force and BMI, (b) Correlation between knee flexion moment and BMI

2.3 下肢肌力结果

八段锦前测各组肌力无显著差异, 后测肌肉力值高于前测。与同组前测比, 后测标准组、超重组、肥胖组的髂腰肌 ($P = 0.032, 0.036, 0.042$)、臀中肌 ($P = 0.019, 0.047, 0.048$)、梨状肌 ($P = 0.030, 0.044, 0.040$)、臀大肌 ($P = 0.015, 0.036, 0.030$)、股直肌 ($P = 0.041,$

$0.044, 0.042$)、缝匠肌 ($P = 0.049, 0.045, 0.048$)、胫骨前肌 ($P = 0.036, 0.019, 0.049$)、股二头肌长头 ($P = 0.038, 0.045, 0.019$)、趾长屈肌 ($P = 0.022, 0.045, 0.033$)、拇长屈肌 ($P = 0.048, 0.022, 0.049$)、腓骨长肌 ($P = 0.042, 0.043, 0.045$)、腓骨短肌 ($P = 0.048, 0.046, 0.036$)具有显著性差异。

表7 干预前后下肢肌力峰值

Tab.7 Peak muscle strength of lower limb before and after intervention

单位: $N \cdot kg^{-1}$

下肢肌肉	干预前			干预后		
	标准组	超重组	肥胖组	标准组	超重组	肥胖组
髂腰肌	1.16±0.27	1.19±0.23	1.28±0.16	1.35±0.20 ^a	1.36±0.21 ^b	1.38±0.10 ^c
臀小肌	1.87±0.33	1.92±0.24	1.93±0.31	1.96±0.17	1.98±0.12	1.98±0.31
臀中肌	10.56±1.22	10.87±2.31	10.91±1.74	11.82±1.53 ^a	12.25±1.38 ^b	12.36±2.29 ^c
梨状肌	2.20±0.41	2.25±0.67	2.29±0.43	2.52±0.38 ^a	2.69±0.52 ^b	2.72±0.68 ^c
上下孖肌	0.25±0.06	0.27±0.05	0.28±0.07	0.27±0.12	0.28±0.09	0.31±0.07
闭孔肌	1.24±0.31	1.23±0.50	1.29±0.38	1.35±0.23	1.39±0.64	1.44±0.37
股方肌	0.34±0.18	0.35±0.06	0.35±0.12	0.38±0.16	0.42±0.13	0.43±0.12
臀大肌	1.53±0.09	1.55±0.19	1.58±0.15	1.71±0.24 ^a	1.75±0.31 ^b	1.76±0.27 ^c
阔筋膜张肌	0.67±0.13	0.69±0.21	0.74±0.17	0.69±0.12	0.70±0.15	0.78±0.22
股外侧肌	3.52±0.38	3.61±0.45	3.83±0.65	3.67±0.23	3.79±0.39	3.84±0.27
股内侧肌	1.27±0.36	1.28±0.62	1.35±0.18	1.29±0.47	1.31±0.54	1.37±0.68
股中肌	1.17±0.51	1.18±0.41	1.18±0.46	1.19±0.54	1.23±0.32	1.21±0.51
股直肌	1.35±0.44	1.36±0.33	1.37±0.28	1.57±0.26 ^a	1.59±0.30 ^b	1.62±0.25 ^c
缝匠肌	1.95±0.28	1.98±0.34	2.16±0.46	2.12±0.19 ^a	2.19±0.22 ^b	2.44±0.31 ^c
胫骨前肌	14.13±0.85	14.24±0.87	14.53±0.71	14.83±0.95 ^a	15.01±0.84 ^b	15.08±0.84 ^c
半腱肌	10.45±2.24	11.93±1.19	12.09±2.12	11.65±1.39	12.58±2.17	13.86±1.64
半膜肌	10.06±2.11	10.35±2.42	10.45±1.58	10.39±1.16	10.42±1.39	11.92±2.58
股二头肌长头	4.73±0.39	4.81±0.16	4.85±0.37	5.02±0.37 ^a	5.15±0.62 ^b	5.17±0.34 ^c
股二头肌短头	0.87±0.12	0.88±0.31	0.91±0.30	0.91±0.39	0.92±0.25	0.94±0.30
腓肠肌	30.88±7.57	31.26±8.72	32.53±8.91	33.17±9.56	35.25±6.78	37.62±10.94
趾长屈肌	0.76±0.12	0.88±0.23	0.91±0.25	0.89±0.17 ^a	1.03±0.18 ^b	1.10±0.23 ^c
拇长屈肌	0.71±0.23	0.74±0.17	0.82±0.26	0.86±0.19 ^a	0.88±0.15 ^b	0.99±0.22 ^c
趾长伸肌	2.09±0.15	2.35±0.18	2.39±0.14	2.42±0.12	2.55±0.20	2.68±0.11
拇长伸肌	0.56±0.18	0.57±0.22	0.60±0.16	0.62±0.15	0.63±0.18	0.65±0.23
腓骨长肌	0.84±0.16	0.85±0.13	0.86±0.21	0.97±0.19 ^a	0.98±0.21 ^b	0.99±0.14 ^c
腓骨短肌	0.52±0.14	0.56±0.15	0.58±0.12	0.62±0.13 ^a	0.65±0.19 ^b	0.69±0.16 ^c

注: a、b、c 分别表示与同组相比, 标准组、超重组、肥胖组前后测具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

2.4 表面肌电特征

与同组前测比, 后测标准组、超重组、肥胖组股直肌 iEMG ($P = 0.020, 0.047, 0.029$)、胫骨前

肌 iEMG ($P = 0.040, 0.016, 0.012$)、股二头肌 iEMG ($P = 0.024, 0.044, 0.043$) 具有显著性差异 (见图 4)。

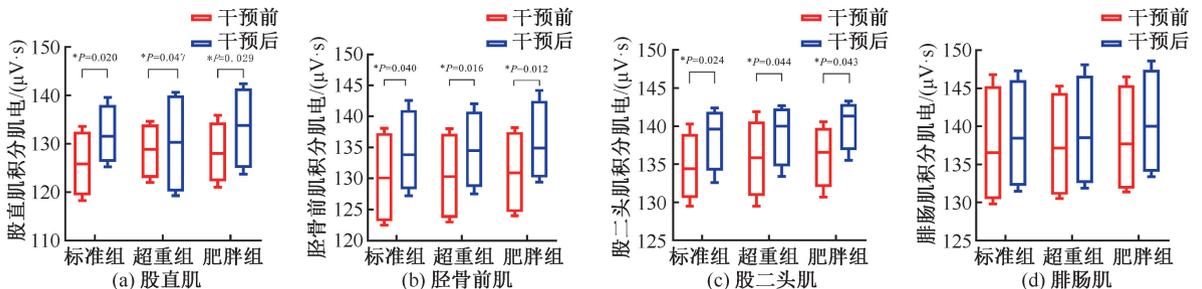
图4 八段锦干预前后不同肌肉积分肌电峰值比较 (* $P < 0.05$)

Fig.4 Comparison for peak force of integral electromyography before and after Baduanjing intervention (a) Rectus femoris, (b) Tibialis anterior, (c) Biceps femoris, (d) Gastrocnemius

3 讨论

近年来,超重与肥胖的发病率逐年增高,其治疗得到普遍关注。世界公认防治肥胖的经济、有效方式是运动疗法,八段锦有强身健体、防病治病之功效。本文选取八段锦具有代表性的侧向动作进行研究,通过 AnyBody 仿真计算出不同 BMI 人群在八段锦干预前后的关节角度、角速度、角加速度、关节力、关节力矩、肌肉力峰值,并通过 BTS 系统分析计算 iEMG,旨在为不同 BMI 八段锦初学者科学健身及设定运动处方提供参考。

运动学参数方面,八段锦显著提高不同 BMI 人群膝关节屈伸角度、角速度。八段锦运动时,膝关节角度不断增减,重心起伏下沉,长期练习可以提高角度与角速度。另外,八段锦显著提高标准组下肢膝关节屈伸角加速度,推测原因是标准组做动作较其他两组多余动作少,反应时间短,关节灵活性强,做动作效率更高。

动力学参数方面,八段锦显著提高不同 BMI 人群膝关节屈曲力、力矩。八段锦可多方位旋转牵拉膝关节肌肉,基于其重心在两腿之间交替变换,使下肢长时间持续负重,导致膝关节交替性收缩舒张,马步、弓步等下蹲收缩时间要长于舒张时间,故八段锦对膝关节屈曲有显著影响。另外,八段锦明显提高了标准组髋关节屈曲、踝关节跖屈力及力矩,推测原因是标准组髋关节转动时肌收缩较省力,较少多余动作,而其他两组做动作时可能多余动作多且慢。Escamilla 等^[10]研究蹲姿宽度对髋、踝关节力矩的影响,发现宽姿下蹲会产生较大髋关节屈曲力矩和较小踝关节伸展力矩,宽蹲姿比窄蹲姿的髋关节屈曲角度更大,跖屈角度更小。肥胖组在踝关节在矢状面内做跖屈、背屈动作,其蹲姿通常宽于标准组,跖屈角度也小于标准组,对跖屈的锻炼效果不明显,继而跖屈力增加值小于标准组^[11]。

通过对膝关节力、力矩和 BMI 进行相关性分析验证,发现膝关节屈曲力、力矩均与 BMI 正相关,肥胖者在下蹲时要启动大量快缩肌纤维,增加运动单位数量,提高肌肉收缩发力时不同肌肉协同工作能力及同块肌肉多组肌纤维协同工作能力。对比标准 BMI 人群,肥胖者肌纤维肥大,睾酮素分泌较多,可快速提升肌肉力量和静息代谢水准,表明 BMI 越

大,膝关节屈曲力、力矩越大^[12-13]。

下肢肌肉力方面,八段锦显著提高不同 BMI 人群髂腰肌、臀中肌、梨状肌、臀大肌、股直肌、缝匠肌、胫骨前肌、股二头肌长头、趾长屈肌、拇长屈肌、腓骨长肌、腓骨短肌肌力,以及股直肌、股二头肌、胫骨前肌 iEMG,验证八段锦可改善下肢肌力和神经肌肉控制能力。研究表明,BMI 越大,肌肉力越大。基于肥胖者下肢长期交替负重时,比其他两组用力更多,八段锦第 2、5、7 式有宽马步的特点,需屈膝躬身松胯,配合脊柱以侧屈、回旋、环转,身体重心在双腿交替变换时缓慢负重屈伸,下肢多肌群收缩舒张变化,肥胖者低重心可提升其双足支撑能力,脚步离地较少,稳定性更好,故下肢肌肉力量和神经肌肉控制能力更强^[14]。

本文受试者为身高偏高的男性,可能与低身高者、女性的下肢肌肉力量强度、韧带强度有差异,导致动作习惯、重心移动稳定性、神经控制能力不同。后期将进一步研究不同身高、性别以及年龄段人群不同动作间的差异。

4 结论

八段锦可提高不同 BMI 青年膝关节屈伸角度、角速度、屈曲力、力矩,对标准 BMI 青年膝关节屈伸角加速度、髋关节屈曲力及力矩、踝关节跖屈力及力矩影响更大,可提高下肢肌力和神经肌肉控制能力。BMI 越大,膝关节屈曲力、力矩越大。本文研究结果为八段锦练习者科学化锻炼设定运动处方提供理论依据。

参考文献:

- [1] ZOU L, YEUNG A, QUAN X, et al. A systematic review and meta-analysis of mindfulness-based (baduanjin) exercise for alleviating musculoskeletal pain and improving sleep quality in people with chronic diseases [J]. Int J Environ Res Public Health, 2018, 15(2): 206.
- [2] DAI W, WANG X, XIE R, et al. Baduanjin exercise for cervical spondylotic radiculopathy: A protocol for systematic review and meta-analysis [J]. Medicine, 2020, 99(18): 37.
- [3] LI M, FANG Q, LI J, et al. The effect of Chinese traditional exercise-Baduanjin on physical and psychological well-being of college students: A randomized controlled trial [J]. PLoS One, 2015, 10(7): 0130544.

- [4] ZHENG G, FANG Q, CHEN B, *et al.* Qualitative evaluation of Baduanjin (Traditional Chinese Qigong) on health promotion among an elderly community population at risk for ischemic stroke [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2015, 2015: 893215.
- [5] NYBERG CK, FJELL AM, WALHOVD KB, *et al.* Level of body fat relates to memory decline and interacts with age in its association with hippocampal and subcortical atrophy [J]. *Neurobiol Aging*, 2020, 91(10): 121-124.
- [6] 国家体育总局健身气功管理中心. 健身气功: 八段锦[M]. 北京: 人民体育出版社, 2003.
- [7] URBANEK H, PATRICK VD. IEMG: Imaging electromyography [J]. *J Electromyogr Kines*, 2016, 27(4): 1-9.
- [8] 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.
- [9] 王昉, 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): 257-261.
- 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): 257-261.
- [10] ESCAMILLA RF, FLEISIG GS, LOWRY TM, *et al.* A three-dimensional biomechanical analysis of the squat during varying stance widths [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2001, 33(6): 984-998.
- [11] HENDERSON ZJ, PAOLO S, CARLOS Z, *et al.* Ankle bracing's effects on lower extremity IEMG activity, force production, and jump height during a vertical jump test: An exploratory study [J]. *Phys Ther Sport*, 2019, 37(5): 171-178.
- [12] CASTRO MN, RASMUSSEN J, BAI S, *et al.* Validation of subject-specific musculoskeletal models using the anatomical reachable 3-D workspace [J]. *J Biomech*, 2019, 90(6): 92-102.
- [13] 张子华, 纪仲秋, 姜桂萍, 等. 不同年龄段及体重指数老年人身体平衡能力比较[J]. *中国老年学杂志*, 2019, 39(8): 1884-1887.
- [14] 庞博, 纪仲秋, 姜桂萍, 等. 基于 AnyBody 仿真和肌电测试分析不同体质量指数男性青年球类运动中的生物力学特征[J]. *中国组织工程研究*, 2020, 24(3): 383-389.