

文章编号:1004-7220(2021)05-0705-07

亚洲蹲和西方蹲的下肢关节运动学和肌肉激活比较

王凡嘉^{1,2}, 周晨磊^{1,2}, 罗丽娜², 黄尚军², 牛文鑫¹

(1. 同济大学附属养志康复医院(上海市阳光康复中心), 上海 201619; 2. 同济大学医学院 康复工程与生物力学实验室, 上海 200092)

摘要:目的 分析比较亚洲蹲和西方蹲动作中下肢关节运动学和肌肉激活程度的差异。方法 以11名健康成年人为研究对象,采用三维运动捕捉系统、测力台和表面肌电同步采集两种下蹲动作的运动学、动力学和肌肉激活信息,并通过OpenSim计算下肢肌力。结果 在膝关节弯曲角度峰值时刻,亚洲蹲骨盆前倾,而西方蹲骨盆后倾;此外,与亚洲蹲相比,西方蹲具有显著较小的髋关节屈角、较大的膝关节屈角、较大的髋关节外展角和内旋角。在自重深蹲的下降期和上升期中,西方蹲的比目鱼肌力峰值均显著大于亚洲蹲,西方蹲的胫骨前肌力均显著小于亚洲蹲,峰值时刻未见统计学差异。结论 在亚洲蹲中,胫骨前肌激活和近侧端关节前屈可能有利于稳定;而在脚跟抬起的西方蹲中,比目鱼肌激活显著,但两者近端肌肉激活模式相同。研究结果为临床深蹲康复方案制定或深蹲训练方式的选择提供理论指导。

关键词:亚洲蹲;西方蹲;下肢;肌肉激活

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2021.05.007

Comparison of the Lower Limb Kinematics and Muscle Activation Between Asian Squat and Western Squat

WANG Fanjia^{1,2}, ZHOU Chenlei^{1,2}, LUO Lina², HUANG Shangjun², NIU Wenxin¹

(1. Yangzhi Rehabilitation Hospital, Tongji University (Shanghai Sunshine Rehabilitation Center), Shanghai 201619, China; 2. Laboratory of Rehabilitation Engineering and Biomechanics, Tongji University School of Medicine, Shanghai 200092, China)

Abstract: Objective To compare the differences in lower limb joint kinematics and muscle activation between Asian squat (AS) and Western squat (WS). **Methods** Eleven healthy adults were recruited to complete the biomechanical test of AS and WS. The 3D motion analysis system, force plates and surface electromyography (EMG) were used to collect kinematics, kinetics and muscle activation data of the subjects during two squats, and muscle force of the lower limb was also calculated by OpenSim. **Results** AS showed pelvis forward flexion, while WS showed pelvis backward extension at the time of peak knee flexion angle. Compared with the AS, a significant smaller hip flexion, larger knee flexion, larger hip abduction and hip rotation angles were found in WS at the time of peak knee flexion angle. Compared with AS, a significant greater peak force of soleus was found in WS during descent and ascent phases of squat. Additionally, a smaller peak force of anterior tibia was found in WS than that in AS during descent and ascent phases of the squat. No significant differences were found in other muscle peak force and the time of peak force between AS and WS. **Conclusions** The combined tibialis anterior activation and proximal joint flexion might be beneficial to stabilization during AS. The soleus muscle activation

收稿日期:2020-09-16; 修回日期:2020-11-21

基金项目:国家大学生创新创业训练计划(G201814001),国家科技重点研发计划(2020YFC2004200)

通信作者:牛文鑫,副教授,E-mail:niu@tongji.edu.cn

was significant in WS with heel lifting. The muscle activation pattern of proximal joint was similar between AS and WS. This study provides theoretical guidance for the design of clinical squat rehabilitation programs or the selection of squat training.

Key words: Asian squat; Western squat; lower limb; muscle activation

下蹲-起立是构成日常生活动作和运动技能的基本要素,如拾物、如厕、跳跃等^[1]。此外,自重深蹲作为一种多关节闭合运动链的功能性负重运动,常用于运动损伤康复以及体育锻炼中,其对肌肉功能、主动肌和拮抗肌的共收缩及肌肉激活模式的积极作用已得到研究证实^[2-5]。既往研究分别探讨了膝关节对线、下蹲深度、站距宽度和足尖外旋角度对深蹲关节运动学和肌肉激活模式的影响,为提高训练效果和保证安全性提供理论基础^[6]。

全脚掌着地的“亚洲蹲”(Asian squat, AS)和前脚掌着地的“西方蹲”(Western squat, WS)是较为常见的两种深蹲姿势^[6-7]。在临床康复治疗中,对踝关节自由度受限或罹患关节疾病的人群实施全脚掌着地的深蹲训练具有一定难度,其常通过脚跟抬起的方式完成下蹲-起立任务。不仅如此,采用增加足部支撑或脚跟抬起的方式进行深蹲练习,可用于矫正膝关节内侧移位和恢复受限的肌群功能^[8-9]。深入分析两种深蹲姿势本身的生物力学差异,例如对肌力的要求、肌肉激活模式等,不仅有利于临床医生或治疗师设计某些特定关节损伤和肌无力的运动康复方案,也可降低因对动作本身缺乏认识而导致的不良事件发生率^[10]。然而,以往的相关研究较多集中在膝关节疾病患者在两种深蹲姿势下膝关节负荷及周围韧带的受力差异,对于整体的运动学表现、肌力要求和肌肉激活模式尚不明确。深入探究在深蹲训练中脚跟抬起对近侧端关节运动学和肌肉激活模式的影响,对于理解两种深蹲的生物力学差异并为临床应用提供建议具有重要的意义。本文通过分析比较两种自重深蹲动作运动学和肌肉激活程度差异,为临床自重深蹲训练提供一定的理论指导。

1 研究方法

1.1 研究对象

2019年6~9月,于同济大学附属养志康复医院招募11名健康成年人为研究对象。男4人,女7人,

年龄(24.91 ± 9.85)岁,身高(171.52 ± 6.22)cm,体重(61.91 ± 7.93)kg。根据前人研究中两种深蹲姿势中膝关节角度峰值(全脚掌深蹲: $162.03^\circ \pm 6.99^\circ$;脚跟抬起深蹲: $158.13^\circ \pm 6.71^\circ$)的计算效应量为0.56,本研究招募11名受试者的统计功效值为0.84^[11]。要求受试者实验前24h未从事剧烈运动,无下肢损伤史,并已在训练或练习中熟练掌握两种下蹲动作,知晓本实验意图并签署知情同意书。本研究通过同济大学附属养志康复医院伦理委员会审批(ZY20190112)。

1.2 测试方案

在正式实验中,要求受试者分别完成亚洲蹲和西方蹲,测试顺序随机。动作要求如下:受试者双手前平举,躯干尽可能保持挺直,在3s内完成下蹲动作,直到无法继续下蹲,并在3s内完成站起至身体直立位。亚洲蹲要求始终保持全脚掌着地,而西方蹲要求始终保持前足着地且脚跟抬起。

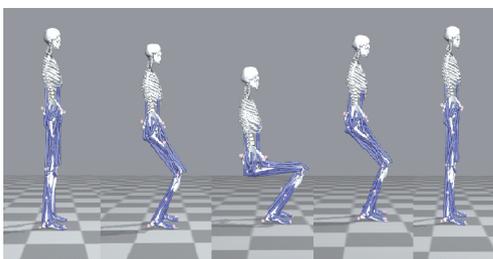
21个反光球依据Plug-in-Gait方案分别粘贴在相应部位的骨性标志点上,分别为:双侧髂前上棘、双侧髂后上棘、左右髂后上棘连线中点、双侧大腿外侧、双侧股骨外侧髁、双侧股骨内侧髁、双侧小腿外侧、双侧踝外髁、双侧踝内髁、双侧第二跖趾关节点及双侧脚跟点。表面肌电(electromyography, EMG)传感器分别粘贴于胫骨前肌、腓肠肌外侧头、比目鱼肌、股直肌、股二头肌长头和臀大肌的肌腹位置。肌电粘贴位置参照国际电生理学和运动机能学学会的推荐指南^[6, 12-13]。分别采用Vicon三维运动捕捉系统(100 Hz; Vicon Motion Systems公司,英国)、AMTI OR6生物力学测力台(1 kHz; AMTI公司,美国)和Noraxon无线表面肌电(1.5 kHz; Noraxon公司,美国)同步采集下蹲时运动学、动力学和肌肉激活信息,不同采集频率的实验装置采用数模转换器进行同步连接。每名受试者各采集3次成功的亚洲蹲和西方蹲数据,每次测试间隔时间30s。

1.3 数据处理

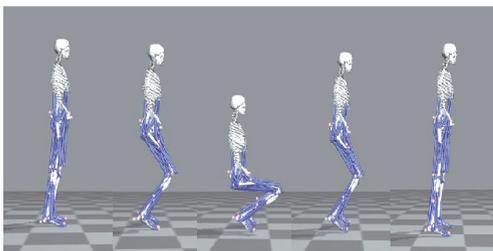
采集到的运动学和动力学数据通过Vicon自带

软件经过点的删补、动作截取后,采用 MATLAB 自编的矩阵变换程序将初步处理的 TRC 和 C3D 文件转换为 OpenSim 可识别的 MOT 文件,导入 OpenSim 进行关节运动学和肌肉力的相关计算。下蹲-起立动作过程定义为从身体直立开始缓慢下蹲至身体再次直立为结束,动作开始时刻定义为基线角度+3 倍标准差所对应的时刻。其中,基线角度为身体直立稳定状态 1 s 内的膝关节角度均值,动作结束时刻则为与动作开始时膝关节角度再次相等的时刻。此外,根据膝关节屈角峰值时刻划分下降期和上升期^[6,14]。

本文基于 Gait_2392 模型进行模拟仿真,该模型包括 12 个环节、23 个自由度和 92 块肌肉-肌腱单位。运动学和地面反作用力原始数据采用 Butterworth 四阶低通滤波器进行平滑,截止频率分别为 10、100 Hz^[15-16]。通过模型缩放、逆向运动学、减小残差计算和计算肌肉控制,成功模拟再现两种自重深蹲动作(见图 1)。采用逆向运动学计算下蹲过程中的下肢关节角度,分析比较两种下蹲动作在膝关节弯曲角度峰值即下蹲至最低点时,所对应的骨盆、髌、膝及踝关节的关节角度。动态肌肉力的计算采用计算肌肉控制(computed muscle control, CMC),对肌电粘贴的 6 块肌肉的肌力峰值和肌力峰值时刻进行比较分析。



(a) 亚洲蹲



(b) 西方蹲

图 1 两种下蹲动作模拟仿真结果

Fig.1 Simulation results of two squats (a) Asian squat, (b) Western squat

研究选取基准数据比对法验证模拟仿真结果的可靠性,即将 OpenSim CMC 的肌肉激活程度与实验采集的 EMG 线性包络线进行对比验证^[15]。动态优化肌力与最大等长肌力的比值即为 CMC 肌肉激活水平,将 EMG 线性包络线根据肌力峰值和 EMG 峰值的比值进行放大,以满足两者在同一纵轴范围内进行验证。本文仅选取 1 名受试者的西方蹲动作进行模拟仿真结果的验证,选取受试者的标准为与群体踝关节跖屈角度均值最接近者。

1.4 统计学分析

数据统计分析采用 SPSS 22.0 软件,计量资料以均值±标准差表示。首先采用 Shapiro-Wilk 进行正态分布检验,符合正态分布的计量数据比较采用配对样本 *t* 检验,不符合正态分布的数据采用 Mann-Whitney *U* 检验,显著性水平 $\alpha=0.05$ 。

2 研究结果

模拟仿真验证结果显示,在整个动作过程中动态优化的肌肉激活程度(动态优化肌力与最大等长肌力的比值)和股直肌 EMG 线性包络线(根据肌力峰值和 EMG 峰值的比值放大的包络线)峰值出现的时刻和曲线形态基本一致,说明本文的模拟仿真结果具有较好的可信度(见图 2)。

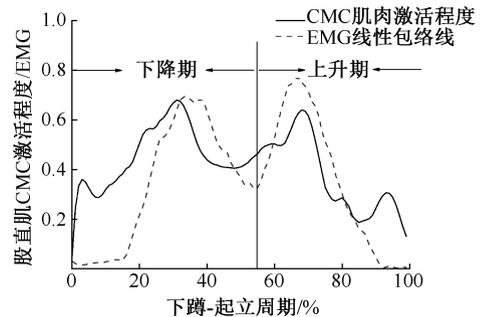


图 2 股直肌 OpenSim CMC 肌肉激活程度和 EMG 线性包络线比较
Fig.2 Comparisons between EMG linear envelope of rectus femoris and muscle activation estimated from CMC in OpenSim

2.1 关节运动学

图 3 显示了两种深蹲动作中骨盆、髌、膝和踝关节的运动学变化趋势。在膝关节弯曲角度峰值时刻,亚洲蹲骨盆前倾,而西方蹲骨盆后倾;与亚洲蹲相比,西方蹲具有显著较小的髌关节屈角、较大的膝关节屈角、较大的髌关节外展角和内旋角($P<0.05$),见表 1。

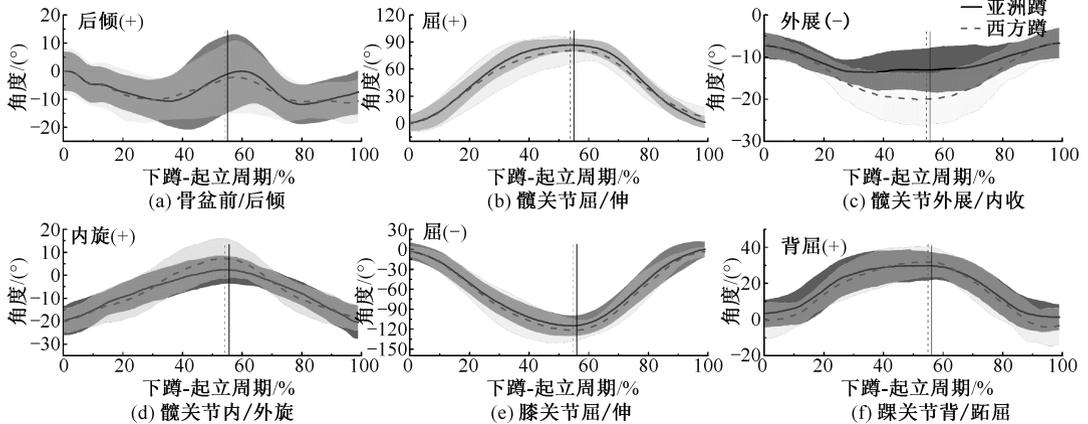


图3 两种深蹲过程中关节运动学比较

Fig.3 Comparisons of lower limb joint kinematics during two squats (a) Pelvic anterior-posterior tilt, (b) Hip flexion/extension, (c) Hip abduction/adduction, (d) Hip internal/external rotation, (e) Knee flexion/extension, (f) Ankle dorsiflexion/plantarflexion

表1 两种深蹲动作中屈膝角度峰值时刻关节角度比较 ($P < 0.05$, $**P < 0.01$)

Tab.1 Comparisons of joint angle at the peak time of knee flexion during two squats

动作	亚洲蹲	西方蹲	<i>t</i>	<i>P</i>
膝关节屈 (-) / 伸 (+)	-121.46 ± 14.87	-128.92 ± 11.59	2.518	0.030 *
骨盆前 (-) / 后倾 (+)	-1.05 ± 15.14	0.65 ± 12.22	—	—
髋关节屈 (+) / 伸 (-)	97.11 ± 9.30	87.89 ± 13.46	2.478	0.033 *
髋关节外展 (-) / 内收 (+)	-13.92 ± 5.72	-21.01 ± 6.63	5.080	0.000 **
髋关节内 (+) / 外旋 (-)	3.62 ± 6.09	9.73 ± 6.44	-2.981	0.014 *
踝关节背屈 (+) / 跖屈 (-)	34.91 ± 8.65	33.83 ± 8.06	0.773	0.457

注:在屈膝角度峰值时刻,亚洲蹲骨盆前倾,西方蹲骨盆后倾,未进行统计分析。

2.2 肌肉激活

在下蹲的下降期内,西方蹲的比目鱼肌力峰值显著大于亚洲蹲,西方蹲的胫骨前肌力峰值显著小于亚洲蹲 ($P < 0.05$),见表2;下蹲的上升期也发现

一致的结果(见表3)。此外,两种下蹲动作的其他肌力峰值没有统计学差异,峰值时刻的差异也无统计学意义 ($P > 0.05$)。

表2 两种深蹲下降期峰值肌力和峰值时刻比较 ($P < 0.05$, $**P < 0.01$)

Tab.2 Comparisons of peak muscle force and peak time in descent phase during two squats

肌肉	峰值肌力/BW		<i>t</i>	<i>P</i>	峰值时刻/%		<i>t</i>	<i>P</i>
	亚洲蹲	西方蹲			亚洲蹲	西方蹲		
臀大肌	0.77 ± 0.69	0.76 ± 0.65	0.038	0.970	23.64 ± 12.68	23.73 ± 13.45	-0.015	0.988
股二头肌长头	0.52 ± 0.43	0.54 ± 0.28	-0.104	0.919	26.00 ± 20.97	24.91 ± 14.79	0.199	0.847
股直肌	1.03 ± 0.71	0.91 ± 0.64	0.363	0.724	23.09 ± 16.60	25.00 ± 21.27	-0.238	0.817
腓肠肌外侧头	0.32 ± 0.36	0.18 ± 0.16	1.517	0.160	11.91 ± 13.15	21.00 ± 17.69	-1.290	0.226
比目鱼肌	0.88 ± 0.65	1.71 ± 0.71	-3.392	0.007 **	33.18 ± 18.49	27.00 ± 11.86	0.870	0.405
胫骨前肌	0.53 ± 0.44	0.23 ± 0.32	2.293	0.045 *	13.18 ± 10.50	11.00 ± 11.40	0.480	0.641

表3 两种深蹲上升期峰值肌力和峰值时刻比较(* $P < 0.05$)

Tab.3 Comparisons of peak muscle force and peak time in ascent phase during two squats

肌肉	峰值肌力/BW		<i>t</i>	<i>P</i>	峰值时刻/%		<i>t</i>	<i>P</i>
	亚洲蹲	西方蹲			亚洲蹲	西方蹲		
臀大肌	0.89±0.70	0.59±0.39	1.715	0.117	71.36±13.35	67.09±11.44	1.197	0.259
股二头肌长头	0.82±0.49	0.46±0.33	1.707	0.119	72.27±14.32	74.73±16.16	-0.470	0.648
股直肌	0.96±0.57	0.67±0.55	1.047	0.320	81.64±11.36	74.00±10.63	1.583	0.145
腓肠肌外侧头	0.33±0.36	0.21±0.23	1.249	0.240	75.36±18.50	70.18±19.77	0.641	0.536
比目鱼肌	0.95±0.63	1.60±0.68	-3.182	* 0.010	74.27±18.40	73.18±11.99	0.246	0.811
胫骨前肌	0.53±0.48	0.22±0.24	2.433	* 0.035	82.73±13.37	81.18±15.90	0.210	0.838

3 讨论

尽管表面肌电信号可反映肌肉激活和兴奋活动状态,但由于肌肉力量受力-长度-速度关系和肌肉黏弹性的影响,肌电信号通常与肌肉力量没有很强的关联性^[17]。随着模拟仿真技术在计算动态神经肌肉控制和肌肉力量的优越性日益凸显,采用模拟仿真技术解析动态运动的生物力学深层变化已成为该领域的主流^[15,18-19]。本文采用模拟仿真技术分析比较亚洲蹲和西方蹲的关节运动学和肌肉激活程度的差异,结果显示,亚洲蹲和西方蹲的骨盆和髋关节运动学以及踝关节周围肌肉激活模式具有差异,脚跟抬起的深蹲有利于激活踝关节跖屈肌群,并不会对近端肌肉激活模式产生影响。

由于全脚掌着地的亚洲蹲在功能筛查、运动康复及体育锻炼中应用较为广泛,既往研究已针对其生物力学展开较为深入的分析 and 探讨。在下蹲过程中,因足跟着地使人体重心后移,需要增加躯干前屈、骨盆前倾和髋关节弯曲来保持平衡,同时增加踝背屈力矩即激活胫骨前肌促进压力中心前移,这是一种平衡稳定的调节方式^[6,11,20]。本文也发现相似的结果,与西方蹲相比,亚洲蹲骨盆前倾,髋屈角较大,且胫骨前肌肌力显著大于西方蹲。这暗示胫骨前肌无力或反应延迟的人群可能不适合采用全脚掌着地的深蹲训练,原因在于下蹲到最低位时失稳的可能性增大。

踝关节是构成深蹲动作中闭链运动的基础^[21]。本文认为,两种动作中近端运动学的差异可能归因于脚跟是否抬起。全脚掌着地的亚洲蹲需要近端关节前倾运动用于补偿平衡控制,而在西方蹲中,充分的踝关节自由度对于控制重心移动和姿势稳

定发挥着重要作用,则不需调用近端环节。本文发现,西方蹲的胫骨前肌力显著小于亚洲蹲,这与前人研究结果相一致。Sriwarno 等^[20]研究发现,脚跟抬起的深蹲动作减少了股直肌和胫骨前肌的活动。尽管西方蹲的近侧端肌力低于亚洲蹲,但并未有统计学差异,且肌力峰值时刻也无显著性差异,说明足跟抬起的西方蹲并未对下肢近端肌肉激活模式产生影响。

本文深入比较两种自重深蹲动作的运动学和肌肉激活程度的差异,对于临床康复方案制定具有一定的理论价值。自重深蹲常用于前交叉韧带重建者、膝骨关节炎及髌股疼痛综合征者的下肢肌力的康复训练,尤其是股四头肌^[2,22-23]。研究显示,除跨越膝关节处的双关节肌外,比目鱼肌也是对抗胫骨前移的主动肌之一,在维持膝关节稳定性和降低前交叉韧带负荷方面发挥重要作用^[24-25]。本文发现,西方蹲在未改变下肢近端肌肉激活模式的前提下,显著激活比目鱼肌。该结果提示,踝关节自由度可变的负重深蹲在康复肌骨系统疾病的肌肉功能和运动链模式层面上,可能更具有优势。此外,脑卒中患者因其远端的胫骨前肌无力和异常控制常导致步行模式异常。既往研究显示,强化躯干练习配合蹲起训练可显著改善脑卒中患者的平衡功能和步行能力^[25]。本文结果表明,亚洲蹲在低位置时可显著激活胫骨前肌,提示在减重或其他可提供充分保护的辅助装置下,执行下蹲训练有助于脑卒中患者胫骨前肌无力的康复训练。此外,脚跟抬起的西方蹲在训练稳定性方面可能弱于亚洲蹲,对于踝关节自由度受限或罹患关节疾病人群实施下蹲训练时,应根据患者功能水平相对应的结合某些防护措施。

本文在关节运动学和下肢肌肉激活层面上,比较亚洲蹲和西方蹲的生物力学差异,但研究依然存在一些限制。例如,缺乏躯干运动学数据是本文的局限性之一。既往研究已证实,躯干位置可以调节下蹲运动中的下肢关节生物力学和肌肉激活模式,躯干运动可能会掩盖膝、髌关节处的肌肉激活模式^[6]。为此,本文设计规定两种下蹲姿势均尽可能保持躯干直立,仅将踝关节自由度作为单一变量,观察脚跟抬起的西方蹲对近侧端关节运动学和肌肉激活模式的影响,故躯干数据的缺乏可能对本文的研究结果和结论并无影响。此外,受试者选取健康成年人可能导致结果的解读缺乏临床应用性。后续研究应考虑对不同慢性疾病患者执行不同深度下蹲进行生物力学分析,如神经病变和慢性肌骨疾病等,这可能对后续临床康复干预措施的建立或修正具有理论价值。

4 结论

亚洲蹲和西方蹲的近端关节运动和远端肌肉激活模式不同。在亚洲蹲中,胫骨前肌激活和近侧端关节前屈可能有利于稳定;而在脚跟抬起的西方蹲中,比目鱼肌激活显著,且近端关节运动模式不同于亚洲蹲,但两者近端肌肉激活模式相同。

参考文献:

- [1] DIONISIO VC, ALMEIDA GL, DUARTE M, *et al.* Kinematic, kinetic and EMG patterns during downward squatting [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2008, 18 (1): 134-143.
- [2] LAI Z, LEE S, HU X, *et al.* Effect of adding whole-body vibration training to squat training on physical function and muscle strength in individuals with knee osteoarthritis [J]. *J Musculoskelet Neuronal Interact*, 2019, 19 (3): 333-341.
- [3] NIMPHIUS S, MCBRIDE JM, RICE PE, *et al.* Comparison of quadriceps and hamstring muscle activity during an isometric squat between strength-matched men and women [J]. *J Sports Sci Med*, 2019, 18 (1): 101-108.
- [4] LAI Z, ZHANG Y, LEE S, *et al.* Effects of strength exercise on the knee and ankle proprioception of individuals with knee osteoarthritis [J]. *Res Sports Med*, 2018, 26 (2): 138-146.
- [5] 刘瑞东, 陈小平. 功能性力量训练对肌肉募集特征和身体素质的影响 [J]. *上海体育学院学报*, 2016, 40(5): 73-79.
- [6] 陈晨. 躯干位置对自重深蹲运动中下肢生物力学的影响研究 [D]. 上海: 上海体育学院, 2019.
- [7] SRIWARNO AB, SHIMOMURA Y, IWANAGA K, *et al.* The relation between the changes of postural achievement, lower limb muscle activities, and balance stability in three different deep-squatting postures [J]. *J Physiol Anthropol*, 2008, 27 (1): 11-17.
- [8] 张乐, 宫赫, 刘海波, 等. 深蹲的国内外最新生物力学研究进展 [J]. *医用生物力学*, 2017, 32(6): 566-571.
ZHANG L, GONG H, LIU HB, *et al.* Research progress in biomechanics of deep squat [J]. *J Med Biomech*, 2017, 32(6): 566-571.
- [9] BELL DR, PADUA DA, CLARK MA. Muscle strength and flexibility characteristics of people displaying excessive medial knee displacement [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2008, 89 (7): 1323-1328.
- [10] TOUTOUNGI DE, LU TW, LEARDINI A, *et al.* Cruciate ligament forces in the human knee during rehabilitation exercises [J]. *Clin Biomech*, 2000, 15 (3): 176-187.
- [11] SRIWARNO AB, SHIMOMURA Y, IWANAGA K, *et al.* The effects of heel elevation on postural adjustment and activity of lower-extremity muscles during deep squatting-to-standing movement in normal subjects [J]. *J Phys Ther Sci*, 2008, 20 (1): 31-38.
- [12] BARBERO M, MERLETTI R, RAINOLDI A. Atlas of muscle innervation zones for proper sEMG electrodes placement: lower limb [M]. Berlin: Springer-Verlag Milan, 2012.
- [13] 张雨, 王琳. 不同地面对跑步下肢运动生物力学的影响 [J]. *医用生物力学*, 2018, 33(6): 577-582.
ZHANG Y, YANG L. Influences on sports biomechanics of lower extremities during running on different surfaces [J]. *J Med Biomech*, 2018, 33(6): 577-582.
- [14] SLATER LV, HART JM. The influence of knee alignment on lower extremity kinetics during squats [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2016, 31(10): 96-103.
- [15] 黄尚军, 伍颀, 阮棉芳, 等. 4种算法评估落地动作中ACL负荷的对比研究 [J]. *体育科学*, 2018, 38(3): 73-79.
- [16] SASAKI K, NEPTUNE RR. Individual muscle contributions to the axial knee joint contact force during normal walking [J]. *J Biomech*, 2010, 43 (14): 2780-2784.
- [17] DELP SL, ANDERSON FC, ARNOLD AS, *et al.* OpenSim: Open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement [J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2007, 54 (11): 1940-1950.
- [18] TRINLER U, SCHWAMEDER H, BAKER R, *et al.* Muscle force estimation in clinical gait analysis using AnyBody and OpenSim [J]. *J Biomech*, 2019, 86(1): 55-63.
- [19] KERNOZEK TW, GHEIDI N, ZELLMER M, *et al.* Effects of anterior knee displacement during squatting on patellofemoral joint stress [J]. *J Sport Rehabil*, 2018, 27

- (3): 237-243.
- [20] CHRISTINE W, VICTOR H, DARYL O, *et al.* A patient-specific lower extremity biomechanical analysis of a knee orthotic during a deep squat movement [J]. *Med Eng Phys*, 2020, 80(4): 1-7.
- [21] 游永豪, 张阳, 王广磊, 等. 女性老年人“踝关节策略”动态平衡能力测试的信度分析 [J]. *中国运动医学杂志*, 2019, 38(3): 176-181.
- [22] SANFORD BA, WILLIAMS JL, ZUCKER-LEVIN A, *et al.* Asymmetric ground reaction forces and knee kinematics during squat after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction [J]. *Knee*, 2016, 23 (5): 820-825.
- [23] SHERBONDY PS, QUEALE WS, MCFARLAND EG, *et al.* Soleus and gastrocnemius muscle loading decreases anterior tibial translation in anterior cruciate ligament intact and deficient knees [J]. *J Knee Surg*, 2003, 16 (3): 152-158.
- [24] MOKHTARZADEH H, YEOW CH, HONG GOH JC, *et al.* Contributions of the soleus and gastrocnemius muscles to the anterior cruciate ligament loading during single-leg landing [J]. *J Biomech*, 2013, 46 (11): 1913-1920.
- [25] 孙倩雯, 王南, 赵建华, 等. 强化躯干配合蹲起训练对脑卒中偏瘫患者平衡及步行能力的作用 [J]. *中国康复*, 2010, 25(2): 136-137.

· 简讯 ·

《医用生物力学》入编 2020 版《中文核心期刊要目总览》

2021年3月,本刊编辑部收到《中文核心期刊要目总览》2020年版编委会通知:依据文献计量学的原理和方法,经研究人员对相关文献的检索、统计和分析,以及学科专家评审,《医用生物力学》入编《中文核心期刊要目总览》2020年版(即第9版)之(基础医学)类核心期刊。《医用生物力学》现为中文核心期刊(北大核心)、中国科技核心期刊(统计源期刊),以及《中国科学引文数据库》(CSCD)、荷兰《文摘与引文数据库》(Scopus)收录期刊,这些成绩是对本刊发表的论文学术价值和影响力的充分肯定。感谢广大作者、读者对本刊的支持与厚爱!感谢主编、编委会和审稿专家的辛勤付出!《医用生物力学》杂志将再接再厉,更好地服务于国内生物力学科研人员和工作,并向世界一流期刊看齐,不断实现期刊的新发展!

本刊编辑部