

文章编号: 1004-7220(2023)04-0804-07

膝关节炎患者肌电标准化方法的信度研究

庞娅娅^{1a}, 李立², 孙威^{1b}, 宋祺鹏^{1b}

(1. 山东体育学院 a. 研究生教育学院, b. 运动与健康学院, 济南 250100; 2. 美国佐治亚南方大学 运动与健康科学学院, 佐治亚州 30460)

摘要:目的 评估标准等长收缩 (standard isometric contraction, SIC) 与最大随意等长收缩 (maximum voluntary isometric contraction, MVIC) 应用于膝关节炎 (knee osteoarthritis, KOA) 患者肌电标准化的重测信度。方法 采用无线肌电测试系统收集 KOA 患者患侧腿在慢跑、SIC 测试和 MVIC 测试时臀大肌、半腱肌、股直肌、股外侧肌、胫骨前肌、外侧腓肠肌和比目鱼肌的肌电数据。使用组内相关系数和 95% 置信区间评估重测信度。结果 KOA 患者执行 SIC 测试时 7 块肌肉的重测信度均较好, 执行 MVIC 测试时 5 块肌肉重测信度一般, 2 块肌肉重测信度较好, 7 块肌肉在 SIC 测试中的重测信度均高于 MVIC 测试; KOA 患者慢跑时 7 块肌肉经 SIC 标准化后的重测信度均高于经 MVIC 标准化的重测信度, 且股直肌经 SIC 标准化后的重测信度显著高于经 MVIC 标准化的重测信度。结论 对于 KOA 患者, SIC 是一种比 MVIC 更为可靠的表面肌电标准化方案, 具有较好的临床推广潜力。

关键词: 肌电; 标准化; 信度; 膝关节炎; 最大随意等长收缩

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2023.04.025

Reliability Study of Electromyography Normalization in Patients with Knee Osteoarthritis

PANG Yaya^{1a}, LI Li², SUN Wei^{1b}, SONG Qipeng^{1b}

(1a. Graduate School, 1b. College of Sports and Health, Shandong Sport University, Jinan 250100, China; 2. Department of Health Sciences and Kinesiology, Georgia Southern University, Georgia 30460, USA)

Abstract: Objective To evaluate the test-retest reliability of electromyography (EMG) normalization in patients with knee osteoarthritis by the standard isometric contraction (SIC) and maximum voluntary isometric contraction (MVIC) tests. **Methods** For patients with knee osteoarthritis, the EMG data in gluteus maximus, semitendinosus, rectus femoris, lateralis femoris, tibialis anterior, lateral gastrocnemius and soleus of their affected legs during jogging, SIC tests and MVIC tests were collected using the wireless EMG system. Intra-class correlation coefficients (ICC) with 95% confidence intervals were used to assess the test-retest reliability. **Results**

For patients with knee osteoarthritis, the test-retest reliability of all 7 muscles was good during SIC tests, but the test-retest reliability was high for 2 muscles and moderate for 5 muscles during MVIC tests. The test-retest reliability of all 7 muscles normalized by SIC was higher than that normalized by MVIC, and the test-retest reliability of rectus femoris normalized by SIC was significantly higher than that normalized by MVIC.

Conclusions For patients with knee osteoarthritis, SIC is a more reliable EMG normalization method than MVIC, and it has good promotion potential in clinic.

Key words: electromyography (EMG); normalization; reliability; knee osteoarthritis (KOA); maximal voluntary isometric contraction (MVIC)

收稿日期: 2022-05-09; 修回日期: 2022-06-03

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFC2000600)

通信作者: 宋祺鹏, 教授, E-mail: songqipeng@163.com

膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)是老年人群最常见的退行性骨关节疾病^[1]。有氧运动对KOA具有预防和治疗的双重好处^[2]。慢跑是最常见有氧运动方式,参加慢跑的老年人数量正在逐年增加^[3]。慢跑可以缓解膝关节疼痛、降低身体质量指数(body mass index, BMI),增强肌肉力量,并可能有延缓KOA病情加重的作用^[4]。探究慢跑对于KOA患者下肢肌肉激活及肌肉运动模式的影响具有重要意义。

表面肌电(electromyography, EMG)作为一种高效的康复评价工具,在KOA患者下肢肌肉功能评估中发挥着重要作用^[5]。目前已有大量研究使用EMG评估KOA患者异常的运动模式,并将EMG变化特征作为评价KOA患者下肢肌肉运动模式的客观指标^[6-7]。

标准化对于比较和分析EMG信号非常重要。EMG信号受多种因素的影响,如皮下脂肪厚度、肌纤维类型、肌肉静息长度、皮肤阻抗、电极的放置等^[8]。因此,对不同受试者同一肌肉EMG直接进行比较并不准确。标准化可以消除无关因素对EMG的影响,使不同受试者之间的EMG数据具有可比性^[9]。

目前,最常用的标准化方法是最大随意等长收缩(maximum voluntary isometric contraction, MVIC),但MVIC可能不适用于KOA患者^[10]。疼痛会影响受试者执行MVIC的动机水平,这可能会导致KOA患者多次最大等长收缩产生的力矩不一致,继而影响其信度^[11]。

本文设计了一种新的标准化方法,即标准等长收缩(standard isometric contraction, SIC)。SIC不受动机水平的影响,受疼痛干扰小,可能更适用于KOA患者^[12]。本文比较SIC测试与MVIC测试的重测信度,以及SIC与MVIC应用于KOA患者慢跑时重测信度的差异,以期确定适用于KOA患者的EMG标准化方法。本研究假设:①在KOA患者中,SIC测试的重测信度高于MVIC测试;②KOA患者慢跑时,下肢EMG经SIC标准化后的重测信度高于经MVIC标准化的重测信度。

1 研究方法

1.1 研究对象

通过在当地社区分发传单和问卷以及对老年

人进行访谈,共招募36名KOA患者,年龄(65.1 ± 3.9)岁,体质量(69.5 ± 9.7)kg,身高(160.8 ± 8.2)cm, BMI(26.9 ± 3.3)kg/m²。

纳入标准:(1)年龄超过60岁;(2)符合美国风湿病学会KOA诊断标准^[13],即①1个月里大多数时间膝痛,②关节边缘有骨赘形成,③关节炎性滑液,④年龄超过50岁,⑤晨僵小于30min,⑥关节活动时时有弹响。满足①②/①③⑤⑥/①④⑤⑥,则可以诊断是KOA;(3)Kellgren/Lawrence放射学分级大于Ⅱ级^[14]。

排除标准:(1)KOA急性期;(2)无法行走或行走距离小于300m;(3)3个月内进行过关节腔注射治疗;(4)膝关节创伤药物治疗中;(5)曾接受过膝关节置换术;(6)严重高血压(≥ 2 级);(7)帕金森;(8)心血管疾病;(9)急性或慢性肾功能衰竭;(10)认知功能障碍者(MMSE评分 < 24 分)。本研究通过山东体育学院伦理委员会的审核,测试内容符合《赫尔辛基条约》。所有受试者均自愿参与测试,并在测试前签署知情同意书。

1.2 目标肌肉

患侧腿臀大肌、半腱肌、股直肌、股外侧肌、胫骨前肌、外侧腓肠肌和比目鱼肌。患侧腿定义为Kellgren/Lawrence分级较高的一侧腿,如果两腿Kellgren/Lawrence分级相同,则选用受试者认为更疼的一侧腿^[13]。

1.3 测试方法

受试者需依次完成慢跑测试、SIC测试与MVIC测试,1周后再次重复上述测试。

1.3.1 慢跑测试 当操作人员发出“开始”口令后,受试者在跑步机(T-19X, Adidas公司,德国)上以自选速度慢跑^[4],自选速度设置为慢跑热身时的平均速度^[15]。使用无线EMG测试系统(Noraxon公司,美国)采集受试者慢跑过程中的EMG数据,采样频率为2kHz。在骨骼标志上粘贴43个红外反光标志点(直径14mm)标记,使用带有12个高速红外摄像头的三维运动捕捉系统(Vicon公司,英国)采集慢跑过程中的运动学数据,采样频率为100Hz。受试者需慢跑2min,取6个步态周期的有效数据进行分析^[16]。

1.3.2 SIC测试 使用Noraxon无线EMG测试系统采集KOA患者执行SIC测试的EMG数据,采样

频率为 2 kHz。SIC 测试共包括 5 个动作：① 臀大肌测试动作。受试者俯卧位，膝关节伸直，伸髋至膝关节距床面 3 cm；② 半腱肌测试动作。受试者健侧腿支撑，屈曲患侧膝关节，小腿与大腿呈 90°；③ 股直肌与股外侧肌测试动作。受试者双足分开，与肩同宽，腰背挺直，双上肢交叉放于胸前，双侧下肢均匀负重，屈膝下蹲使膝关节屈曲 120°，膝关节

冲前且不超过脚尖；④ 胫骨前肌测试动作。受试者坐于合适高度的座椅或桌子上，髋关节和膝关节均屈曲呈 90°，足部与地面平行，足部跖趾关节负重，重量约为身体重量的 5%；⑤ 外侧腓肠肌与比目鱼肌测试动作(见图 1)。受试者提踵使足跟上抬 2 cm。每个动作各完成 3 次，每次维持 5 s，放松 20 s。取 3 次有效数据进行分析。

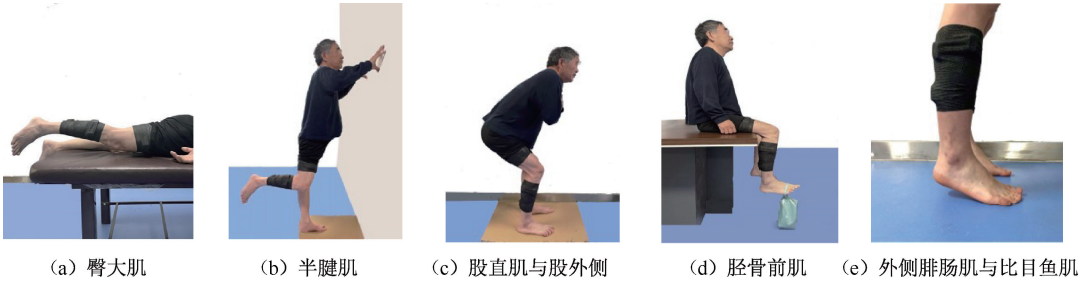


图 1 SIC 不同肌肉测试动作示意图

Fig. 1 Diagram for test movement of different muscles by SIC (a) Gluteus maximus, (b) Semitendinosus, (c) Rectus femoris and vastus lateralis, (d) Anterior tibialis, (e) Lateral gastrocnemius and soleus

1.3.3 MVIC 测试 采用 Noraxon 无线 EMG 测试系统采集 KOA 患者执行 MVIC 测试时的 EMG 数据，采样频率为 2 kHz。MVIC 测试共包括 5 个动作：① 臀大肌测试动作。受试者俯卧位，阻力施加在踝关节上方，嘱受试者膝关节伸直伸髋对抗；② 半腱肌测试动作。受试者俯卧位，阻力施加在踝关节上方，屈膝 30°，嘱受试者用力屈膝；③ 股直肌与股外侧肌测试动作。受试者坐位，膝关节屈曲

90°置于床边，阻力施加在踝关节上方，嘱受试者尽最大努力伸膝；④ 胫骨前肌测试动作。受试者仰卧位，阻力施加在脚前掌背面，足部与小腿呈 90°，嘱受试者尽最大努力背屈；⑤ 外侧腓肠肌与比目鱼肌测试动作(见图 2)。受试者仰卧位，阻力施加在脚前掌底部，足部与小腿呈 90°，嘱受试者尽最大努力跖屈。每个动作各完成 3 次，每次维持 5 s，放松 120 s^[17]。取 3 次有效数据进行分析。

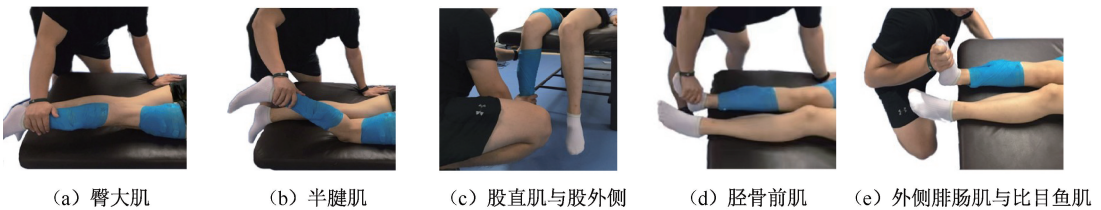


图 2 MVIC 不同肌肉测试动作示意图

Fig. 2 Diagram for test movement of different muscles by MVIC (a) Gluteus maximus, (b) Semitendinosus, (c) Rectus femoris and vastus lateralis, (d) Anterior tibialis, (e) Lateral gastrocnemius and soleus

1.4 数据处理

使用 Visual 3D 软件(C-Motion 公司, 美国)处理受试者慢跑时步态周期的运动学数据。使用 MR3 软件(Noraxon 公司, 美国)处理慢跑、SIC 和 MVIC 测试的 EMG 数据。首先对原始 EMG 数据进行带通滤波(20~500 Hz)^[18], 然后对滤波后的

EMG 数据进行全波整流和平滑过滤。计算受试者执行 SIC 和 MVIC 测试最稳定 3 s 的 EMG 均方根值(root mean square, RMS)的平均值。计算受试者执行慢跑测试 6 个步态周期 RMS 的平均值。将慢跑时下肢 EMG 分别经 SIC 与 MVIC 进行标准化。

1.5 统计分析

所有的结果变量均采用 SPSS 26.0 进行统计分析。使用组内相关系数 (intra-class correlation coefficients, ICC) 评估重测信度。ICC = 0~0.29 表示重测信度非常差, ICC = 0.30~0.49 表示重测信度较差, ICC = 0.50~0.69 表示重测信度一般, ICC = 0.70~0.89 表示重测信度较好, ICC = 0.90~1.00 表示重测信度非常好^[19]。

为了比较两种标准化方法 ICC 差异,使用 bootstrap 重抽样计算 ICC 的 95% 的置信区间 (confidence interval, CI)。若 95% 置信区间无重合,说明差异有统计学意义;若 95% 置信区间有重合,说明差异无统计学意义^[20]。

2 结果

在 SIC 测试中,7 块肌肉的重测信度均较好;在 MVIC 测试中,臀大肌和半腱肌的重测信度较好,股直肌、股外侧肌、胫骨前肌、外侧腓肠肌和比目鱼肌的重测信度一般。7 块肌肉在 SIC 测试中的重测信度均高于 MVIC 测试,但差异无统计学意义 (见表 1)。

慢跑时,下肢 EMG 经 SIC 经 SIC 标准化后,半腱肌、股直肌、股外侧肌、胫骨前肌、外侧腓肠肌和比目鱼肌的重测信度较好,臀大肌的重测信度一般;而经 MVIC 标准化后,臀大肌、半腱肌、股外侧肌、胫骨前肌、外侧腓肠肌和比目鱼肌的重测信度一般,股直肌的重测信度差。7 块肌肉经 SIC 标准

表 1 SIC 和 MVIC 测试的重测信度

Tab. 1 Test-retest reliability of SIC and MVIC tests

肌肉	SIC	MVIC
臀大肌	0.843 (0.716~0.917)	0.789 (0.626~0.886)
半腱肌	0.847 (0.721~0.919)	0.786 (0.608~0.887)
股直肌	0.806 (0.654~0.896)	0.546 (0.265~0.740)
股外侧肌	0.821 (0.676~0.905)	0.646 (0.406~0.802)
胫骨前肌	0.805 (0.653~0.896)	0.660 (0.430~0.810)
外侧腓肠肌	0.866 (0.754~0.929)	0.685 (0.467~0.825)
比目鱼肌	0.764 (0.585~0.872)	0.678 (0.451~0.822)

化后的重测信度均高于使用 MVIC 标准化的重测信度,且股直肌经 SIC 标准化后的重测信度显著高于使用 MVIC 标准化的重测信度 (见表 2)。

表 2 慢跑时下肢肌电经 SIC 和 MVIC 标准化后的重测信度

Tab. 2 Test-retest reliability of lower limb electromyography normalized by SIC and MVIC during jogging

肌肉	SIC	MVIC
臀大肌	0.676 (0.448~0.821)	0.639 (0.397~0.798)
半腱肌	0.848 (0.645~0.930)	0.673 (0.448~0.818)
股直肌	0.853 (0.731~0.922)*	0.461 (0.160~0.683)*
股外侧肌	0.802 (0.646~0.894)	0.616 (0.362~0.784)
胫骨前肌	0.732 (0.493~0.861)	0.639 (0.400~0.797)
外侧腓肠肌	0.755 (0.571~0.867)	0.533 (0.259~0.729)
比目鱼肌	0.788 (0.625~0.886)	0.535 (0.254~0.733)

注: * 代表重测信度差异具有显著性。

KOA 患者执行 SIC 测试时,肌肉的活动水平与慢跑时接近;执行 MVIC 测试时,下肢大部分肌肉的活动水平远超慢跑时的活动水平。在慢跑时,其外侧腓肠肌与比目鱼肌 EMG 的峰值超过了 100% 的 MVIC (见图 3)。

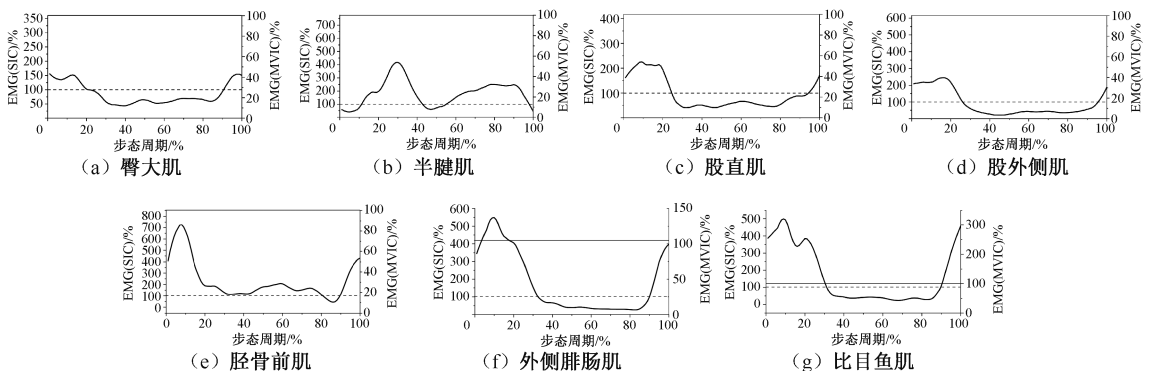


图 3 膝骨关节炎患者慢跑时下肢肌电经 SIC 和 MVIC 标准化后的肌电图

Fig. 3 Electromyography of the lower limb during jogging among patients with knee osteoarthritis normalized by SIC and MVIC

注:左、右纵坐标分别代表使用 SIC、MVIC 标准化后的 EMG;曲线为 6 个步态周期 RMS 的平均值;实线表示 100% 的 MVIC;虚线表示 100% 的 SIC。

3 讨论

本文旨在评估 KOA 患者执行 SIC 测试和 MVIC 测试的重测信度,并比较 KOA 患者慢跑时下肢 EMG 经 SIC 与 MVIC 标准化后重测信度的差异。所得结果部分支持了本文假设,即 SIC 测试的重测信度高于 MVIC 测试;KOA 患者慢跑时下肢 EMG 经 SIC 标准化后的重测信度高于经 MVIC 标准化后的重测信度,且股直肌的差异具有显著性。

在 SIC 测试中,7 块肌肉的重测信度均较好。先前的研究部分支持这一结果。Tabard-Fougère 等^[18]研究发现,健康人臀大肌、股直肌、半腱肌和胫骨前肌抗重力进行等长收缩的重测信度均较好。Ocun 等^[21]研究表明,正常儿童和跖屈肌无力儿童外侧腓肠肌与比目鱼肌抗重力进行等长收缩的重测信度均较好。本文发现,KOA 患者抗重力进行等长收缩也具有较好的重测信度,表明疼痛等临床症状不会影响 KOA 患者执行 SIC 测试的重测信度。

在 MVIC 测试中,5 块肌肉重测信度一般,2 块肌肉重测信度较好,该结果得到前人研究的部分支持。Larivière 等^[22]研究表明,腰痛患者执行 MVIC 测试时腰背肌重测信度一般。本文发现,KOA 患者执行 MVIC 测试时下肢大部分肌肉重测信度一般。在 MVIC 测试中,疼痛会影响 KOA 患者执行 MVIC 测试的动机,这可能是 KOA 患者执行 MVIC 测试时下肢大部分肌肉重测信度一般的主要原因^[11]。此外,本文发现,KOA 患者在 MVIC 测试中臀大肌与半腱肌的重测信度稍高于其余 5 块肌肉的重测信度。既往研究表明,有疼痛症状的受试者在进行最大等长收缩时会出现恐惧回避行为,而视觉信息会加重受试者的恐惧回避行为^[23]。臀大肌和半腱肌测试动作均为俯卧位,此时受试者无视觉信息输入,这可能是臀大肌与半腱肌重测信度稍高于其余 5 块肌肉的原因。

慢跑时,7 块肌肉 EMG 经 SIC 标准化后的重测信度均高于经 MVIC 标准化后的重测信度,前人的研究支持了该结果。Dankaerts^[24]研究表明,腰痛患者腰背肌的 EMG 经次最大等长收缩进行标准化的重测信度比 MVIC 更高。慢跑时,下肢 EMG 经 SIC 标准化的重测信度高于 MVIC,本文推测原因如下:
① SIC 测试的一致性不受 KOA 患者动机的影响,取

决于患者动作的一致性,且操作人员可以实时观察到受试者动作是否标准并给予提醒。因此,KOA 患者可以及时调整动作以提高其一致性。相反,MVIC 测试的一致性会受到 KOA 患者动机水平的影响^[25],而操作人员很难监测和控制受试者执行 MVIC 时的努力程度^[26-27];② SIC 测试时受试者只需抗重力做等长收缩,此时肌肉的激活程度远小于最大激活程度^[28]。既往研究表明,疼痛会影响受试者完成肌肉的最大收缩,但不会影响其次最大收缩^[12]。因此,KOA 患者慢跑时下肢 EMG 经 SIC 标准化后的重测信度高于经 MVIC 标准化后的重测信度。

慢跑时,股直肌 EMG 经 MVIC 标准化后重测信度差,且显著低于经 SIC 标准化后的重测信度。本文推测,股直肌作为主要的膝关节伸肌,比其他肌肉更容易受到疼痛的影响。研究表明,膝关节负重进行屈伸活动最易引起疼痛^[27]。因此,KOA 患者抗最大阻力进行膝伸展等长收缩的动机更弱,动作完成质量更差,这可能是其重测信度差的原因。

KOA 患者执行 SIC 测试时肌肉的活动水平与慢跑时接近,执行 MVIC 测试时下肢大部分肌肉的活动水平远超慢跑时的活动水平(见图 3)。这与先前研究结果一致,即在量化肌肉活动水平低的任务时,次最大等长收缩比 MVIC 敏感性更好^[28]。因此,与 MVIC 相比,SIC 可更敏感地量化 KOA 患者慢跑时肌肉的活动水平。

KOA 患者在慢跑时外侧腓肠肌与比目鱼肌的 EMG 超过了 100% 的 MVIC。研究表明,实验引起的疼痛会降低肌肉产生其最大力量^[29-30]。因此,从 MVIC 测试中获得的 EMG 参考值可能不是 KOA 患者实际最大的 EMG 值,即使他们做出了“最大”的努力。该结果表明,MVIC 无法准确反映 KOA 患者慢跑时下肢肌肉激活的最大水平,使用 MVIC 标准化 KOA 患者慢跑时的 EMG 将会高估其慢跑时肌肉激活的百分比。

在实际操作中,执行 SIC 测试不需要特殊设备,且对操作人员力量要求低。相比之下,MVIC 测试需要操作人员具有较大的力量以抵抗受试者最大阻力来固定其肢体位置。此外,SIC 每次测试之间只需要休息 20 s,而 MVIC 测试需要休息 120 s 甚至更多的时间^[17]。因此,SIC 测试比 MVIC 测试更加简单便利。

标准化对于 EMG 数据的分析与比较是必不可少的,可靠的标准方法可消除无关因素对研究任务的影响。与 MVIC 相比,SIC 标准化方法有助于研究者更客观地了解 KOA 患者 EMG 信号的性质和特征,更准确地比较和分析其肌肉激活情况,可为研究人员利用 EMG 深入探讨 KOA 患者的运动模式与发病机制、评价 KOA 患者的康复疗效以及制定科学合理的运动训练方案提供有效支持。此外,SIC 还具有应用于其他存在疼痛症状人群的潜力,具有较好的临床应用价值。

本研究的局限性如下:①不同的肌肉在 SIC 测试时所对抗的肢体重力不同,导致不同肌肉经 SIC 标准化后的激活程度不具有可比性;②本研究只探究了 SIC 应用于 KOA 患者以自选速度慢跑时的重测信度,对于其他运动方式的重测信度尚不清楚;③两次测试具有时间间隔,期间患者体重的变化可能会影响 SIC 标准化时的重测信度。然而,本研究两次测试仅间隔 1 周,预计体重变化不大。此外本研究提出的 SIC 方法的目的是用于标准化慢跑时的 EMG,在标准化过程中体重变化的影响会被缩小。

4 结论

KOA 患者执行 SIC 测试的重测信度高于 MVIC 测试,其慢跑时下肢 EMG 经 SIC 标准化的重测信度高于经 MVIC 标准化的重测信度,且股直肌具有显著性差异。SIC 是一种可靠的 EMG 标准化方法,与传统的 MVIC 相比,使用 SIC 对 KOA 患者慢跑时的 EMG 进行标准化更为可靠和方便。

参考文献:

[1] 沈培鑫,宋祺鹏,毛德伟. PNF 训练对膝骨关节炎老年患者行走功能的影响 [J]. 医用生物力学, 2021, 36(S1): 363-364.

[2] ESSER S, BAILEY A. Effects of exercise and physical activity on knee osteoarthritis [J]. *Curr Pain Headache Rep*, 2011, 15(6): 423-430.

[3] IKENAGA M, YAMADA Y, KOSE Y, et al. Effects of a 12-week, short-interval, intermittent, low-intensity, slow-jogging program on skeletal muscle, fat infiltration, and fitness in older adults: Randomized controlled trial [J]. *Eur J Appl Physiol*, 2017, 117(1):7-15.

[4] LO GH, MUSA SM, DRIBAN JB, et al. Running does not

increase symptoms or structural progression in people with knee osteoarthritis: Data from the osteoarthritis initiative [J]. *Clin Rheumatol*, 2018, 37(9): 2497-2504.

- [5] BAKER M, STANISH W, RUTHERFORD D. Walking challenges in moderate knee osteoarthritis: A biomechanical and neuromuscular response to medial walkway surface translations [J]. *Hum Mov Sci*, 2019, 68: 102542.
- [6] 傅升星,侯美金,王芴斌. 女性膝骨关节炎患者上下梯下肢肌肉活动特征分析 [J]. 医用生物力学, 2021, 36(S1): 464.
- [7] HUBLEY-KOZEY CL, DELUZIO KJ, LANDRY SC, et al. Neuromuscular alterations during walking in persons with moderate knee osteoarthritis [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2006, 16(4): 365-378.
- [8] BURDEN A. How should we normalize electromyograms obtained from healthy participants? What we have learned from over 25 years of research [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2010, 20(6): 1023-1035.
- [9] BESOMI M, HODGES PW, CLANCY EA, et al. Consensus for experimental design in electromyography (CEDE) project: Amplitude normalization matrix [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2020, 53: 102438.
- [10] MERLETTI RDTP. Standards for reporting EMG data [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 1999, 9(1): 3-4.
- [11] THOMAS JS, FRANCE CR, SHA D, et al. The influence of pain-related fear on peak muscle activity and force generation during maximal isometric trunk exertions [J]. *Spine*, 2008, 33(11): 342-348.
- [12] LUND JP, DONGA R, WIDMER CG, et al. The pain-adaptation model: A discussion of the relationship between chronic musculoskeletal pain and motor activity [J]. *Can J Physiol Pharmacol*, 1991, 69(5): 683-694.
- [13] ALTMAN R, ASCH E, BLOCH D, et al. Development of criteria for the classification and reporting of osteoarthritis. Classification of osteoarthritis of the knee. Diagnostic and Therapeutic Criteria Committee of the American Rheumatism Association [J]. *Arthritis Rheum*, 1986, 29(8): 1039-1049.
- [14] KELLGREN JH, LAWRENCE JS. Radiological assessment of osteoarthrosis [J]. *Ann Rheum Dis*, 1957, 16(4): 494-502.
- [15] ROBADEY J, STAUDENMANN D, SCHWEEN R, et al. Lower between-limb asymmetry during running on treadmill compared to overground in subjects with laterally pronounced knee osteoarthritis [J]. *PLoS One*, 2018, 13(10): e205191.
- [16] SHIAVI R, FRIGO C, PEDOTTI A. Electromyographic signals during gait: Criteria for envelope filtering and

- number of strides[J]. *Arthritis Rheum*, 1998, 36(2): 171-178.
- [17] CARLO JDL. The use of surface electromyography in biomechanics[J]. *J Appl Biomech*, 1997, 13(2): 135-163.
- [18] TABARD-FOUGÈREA A, ROSE-DULCINAA K, PITTETA V, *et al.* EMG normalization method based on grade 3 of manual muscle testing: Within- and between-day reliability of normalization tasks and application to gait analysis [J]. *Gait Posture*, 2018, 60: 6-12.
- [19] JOYCE AV. Statistical methods for health care research [J]. *Res Nurs Health*, 1987, 10(6): 381-388.
- [20] LU L, SHARA N. Reliability analysis: Calculate and compare Intra-class correlation coefficients (ICC) in SAS [J]. *Comput Stat Data Anal*, 2007(14): 1-4.
- [21] OCUM AY, MCCOY SW, BJORNSON KF, *et al.* Reliability and validity of standing heel-rise test [J]. *Phys Occup Ther Pediatr*, 2010,30(3):190-204.
- [22] LARIVIERE C, ARSENAULT AB, GRAVEL D, *et al.* Evaluation of measurement strategies to increase the reliability of EMG indices to assess back muscle fatigue and recovery [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2002, 12(2): 91-102.
- [23] BERTINI C, LADAVAS E. Fear-related signals are prioritised in visual, somatosensory and spatial systems [J]. *Neuropsychologia*, 2021, 150: 107698.
- [24] DANKAERTS W. Reliability of EMG measurements for trunk muscles during maximal and sub-maximal voluntary isometric contractions in healthy controls and CLBP patients [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2004, 14(3): 333-342.
- [25] LUCAS E, JASON W, MATTHEW S, *et al.* Normalization to maximal voluntary contraction is Influenced by subacromial pain [J]. *J Appl Biomech*, 2016, 32(5): 433-440.
- [26] O'SULLIVAN PB, GRAHAMSLAW KM, KENDELL M, *et al.* The effect of different standing and sitting postures on trunk muscle activity in a pain-free population [J]. *Spine*, 2002, 27(11): 1238-1244.
- [27] LIUCH E, NIJS J, COURTNEY CA, *et al.* Clinical descriptors for the recognition of central sensitization pain in patients with knee osteoarthritis [J]. *Disabil Rehabil*, 2018, 40(23): 2836-2845.
- [28] ALLISON GT, GODFREY P, ROBINSON G. EMG signal amplitude assessment during abdominal bracing and hollowing [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 1998, 8(1): 51-57.
- [29] STACKHOUSE SK, EISENNAGEL A, EISENNAGEL J, *et al.* Experimental pain inhibits infraspinatus activation during isometric external rotation [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2013, 22(4): 478-484.
- [30] RICE DA, MCNAIR PJ, LEWIS GN, *et al.* Experimental knee pain impairs submaximal force steadiness in isometric, eccentric, and concentric muscle actions [J]. *Arthritis Res Ther*, 2015, 17: 259.

更正启事

《医用生物力学》2018年第33卷第4期第300~305页刊登的《C2~7颈椎振动特性的有限元分析》，因作者笔误，现将该论文的项目“国家自然科学基金项目(81471753,11432013)”更正为“国家自然科学基金项目(81471753,11432016)”。特此声明。

本刊编辑部