·临床研究·

屈膝肌群在不同起始角度下的募集特征分析*

赵 琛[1] 虞亚明[1] 罗小兵[1,2] 阎俊蒲[1]

摘要

目的:探讨在不同起始角度下,股后肌群与腓肠肌群参与屈膝动作的募集程度与动员顺序,为运动训练、运动康复的运动处方设计提供建议。

方法:20例健康成年男子在坐姿屈膝训练器上,以5个起始角度做负荷为1RM(1次重复最大负荷)的80%屈膝动作3次,采集其屈膝肌群的表面肌电图。

结果:①在同一起始角度下,屈膝动作中各肌群的募集比例一致,股后内侧肌群占比最大,最高达到35.04%±6.62%(P<0.01),其他肌群之间无显著差异;随起始角度向伸膝位靠近,小腿内侧肌群的募集比例在屈膝角5°显著增加(P<0.05),股后内侧肌群显著减小(P<0.05),其他肌群随角度无变化。②在相同起始角度下,股后内侧肌群最先动员(P<0.05);随起始角度向伸膝位靠近,小腿内侧肌群的激活时间在屈膝角5°显著提前(P<0.05),其他肌群无变化差异。

结论:利用坐姿屈膝训练时,改变起始角度,屈膝肌群的募集比例与顺序不随之改变,股后内侧肌群动员程度最高;在接近完全伸膝位时,小腿内侧肌群会显著提升募集比例,并提前启动时间。在制定诸如腘绳肌损伤等股后肌群的运动康复方案中,可以以此作为参考。

关键词 屈膝训练;表面肌电;募集比例;启动顺序

中图分类号:R493 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2021)-02-0177-05

The mechanical and sEMG analysis of related muscles as knee flexion at different initial angle/ZHAO Chen, YU Yaming, LUO Xiaobing, et al.//Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2021, 36(2): 177—181

Abstract

Objective: To investigate the recruitment order of and work by hamstrings and gastrocnemius in the knee flexion with different starting angles, and provides suggestion for the design of rehabilitation training program.

Method: Twenty healthy adult men were subjected to 3 times of 80% of 1RM(one Repetition Maximum) knee flexion at 5 initial angles on the isokenetic training apparatus, and sEMG were picked up from medial and lateral hamstrings and gastrocnemius at the same time.

Result: ①As knee flexion starting angle from 35 to 15 degree, in both concentric and eccentric contractions, the work of four muscles was consistent, and the medial hamstrings always contributed the largest proportion (P<0.01), but the medial gastrocnemius contribution increased gradually during the eccentric cotraction. As starting from 5 degree, medial gastrocnemius contribution increased to the most(P<0.05) and media hamstrimgs decreased to the leased (P<0.05). ②At the same starting angle, the medial hamstrings was always the first mobilized (P<0.05); As the initial knee flexion angle decreases gradually, the medial gastrocnemius recruitment advances gradually (P<0.05), and there was nothing change in the other muscles.

Conclusion: As the hip angle fixed, and the knee flexion start angle from 35° to 5°, in both concentric and eccentric knee flexion, the work and recruitment order of hamstrings and gastrocnemuius do not change, the me-

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2021.02.009

*基金项目:四川省科技重点研发项目(2017S0207);四川省科技支撑项目(2015SZ0055);四川省干部保健科研课题(川干研2017-601)

1 四川省骨科医院,四川省成都市,610000; 2 通讯作者

第一作者简介:赵琛,女,主管护师; 收稿日期:2019-09-17

dia hamstrings starts first and contributes the most work. When approaching full knee extension, the medial gastrocnemius will significantly increase the recruitment ratio and start first. It could be the suggestion for the rehabilitation program such as hamstrings injury.

Author's address Sichuan Orthopedic Hospital, Sichuan, Chengdu, 610000

Key word knee flexion exercise; surface electromyography; iEMG work -rate; recruitment order

运动伤病中,膝关节损伤发生率较高,尤其是足球、短跑及跳跃类项目。有报道显示,足球运动员中腘绳肌拉伤占全部运动损伤的4.9%—23.8%;短跑运动员中有28.6%—38%发生过急性腘绳肌拉伤[1]。膝关节损伤在其他跳跃项目也较为常见,其中65%的病例为较重或严重拉伤[2]。这些伤病都与屈膝肌群息息相关[3—5]。

有针对性地训练屈膝肌群,加强它的力量和稳定性便十分必要。坐位屈膝训练是一种常用的康复训练方法。在坐位时,髋关节被固定,小腿绕着膝关节旋转,如此,小腿可以从不同的屈膝角度开始。而完成屈膝动作实际是依赖两组双关节肌来完成的,一组为腘绳肌群,一组为腓肠肌群。它们交叉地包绕在膝关节后侧,腘绳肌群止于胫骨,腓肠肌群起于股骨。根据力—长度理论[6],肌肉长度被改变后,其发力会相应发生改变。起始角度不同,实际是改变了这两组肌群的初始长度,完成屈膝动作所动员的肌肉和募集顺序便因此可能会发生变化。为此,本文拟在髋关节角度固定下,以不同起始角度做屈膝动作,采集表面肌电信号,分析其不同肌群的募集程度与动员顺序。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究的试验对象来自20例成年健康男性(年龄:21.2±2.4岁,身高:174.6±3.6cm,体重:63.5±7.8kg)。在挑选这些被试者时,满足以下条件:①在测试前1个月内无下肢损伤;②解剖结构和功能正常;③身体状况以及运动能力良好;④试验前确认24h内未从事剧烈运动。理解本实验意图并签署同意书。

1.2 试验设备

采用芬兰产表面肌电测试仪,品牌:Mega,型号:me6000(T16),采样频率:1000Hz,滤波带宽10Hz—500Hz,高频阻断2000Hz。使用导联线,同时监测4块肌肉。

采用美国产屈膝训练器,品牌:PRECOR,型号:Leg curl最大负荷:80kg,负荷最小调节:5kg。利用膝关节在屈膝角20°左右力矩最大,而90°时力矩最小[6]的原理。训练屈膝的起始角度被设定在40°内,在该训练器上,屈膝动作共有5个起始角度,5°可调,见表1。

1.3 电极放置

该表面肌电测试仪利用差分模拟放大器,故需要在肌肉处放置三块一次性电极片(品牌:恺康,型号:YW55,宁波康泽医疗器械有限公司制造;交流阻抗:≤3kΩ,直流失调电压:≤100mV,内部噪音:≤150μV)。试验时告知每位受试者穿宽松的短裤,电极安放前刮掉电极所贴位置的体毛,并用细砂纸或脱脂棉清洁皮肤,涂导电膏牢固固定,以减少皮肤电阻和电极运动对肌电信号的影响。根据参考位置,电极分别贴于股后肌群外侧(股二头肌长头),股后肌群内侧(半腱半膜肌)、腓肠肌内侧、腓肠肌外侧的肌腹最隆起处,且引导电极与肌纤维呈平行放置,见表2。参考电极置于腓骨头的表面。电极中心的间距为2cm。并将电极线妥善固定以尽量避免腿部运动的干扰。统一取右侧。

1.4 试验程序

受试者首先测试屈膝动作的1RM(one Repti-

表1 屈膝训练器起始调节角度

调节档位	角度(屈膝角)
1D	35°
2D	30°
3D	25°
4D	15°
5D	5°

表2 表面电极片放置位置

测试肌肉	表面电极放置位置
股后外侧(股二头肌)	坐骨结节与胫骨外上髁(腓骨头)连线中点处
股后内侧(半腱半膜肌)	坐骨结节与胫骨内上髁连线中点处
腓肠肌外侧	腓肠肌外侧肌腹最隆起处
腓肠肌内侧	腓肠肌内侧肌腹最隆起处

tion Maxmium)。其次在PRECOR屈膝训练器上设置负荷为80%×1RM(1RM的67%—85%,是刺激肌纤维增大的训练区间,能有效募集更多的肌纤维参与动作[7],遂定80%×1RM为此次试验负荷),受试者屈髋90°坐于练习器上,双腿间隔4—5cm。在测试开始前,进行热身运动;测试开始时,调节起始角度(屈膝角35°—5°),结束位置始终在屈膝角110°。在每个角度下,分别进行3次动作采集,每次间歇30s,每个角度间间隔1min。动作分为向心阶段和离心阶段,利用节拍器控制向心和离心阶段动作完成时间,节拍器频率调整为3秒/次,确保可以保持相同速度。

1.5 表面肌电数据处理

表面肌电数据取积分肌电(iEMG),作标准化处理,以占相应百分比示意。

每个动作分别进行3次动作采集,取3次均值。激活顺序涉及启动设置,启动被定义为一个转折点,肌肉的肌电活动在这个点会超过其他肌电活动3个标准差(灰色细水平线),并持续至少75ms[8]。并设置第一块启动肌肉时间点为0,其他后启动肌肉的启动计时为与首先启动肌肉的时间差。

1.6 统计学分析

全部数据采用SPSS 22.0统计软件进行分析,各组数据均用均数±标准差表示。对数据先进行正态分布检查(其符合正态分布特征),之后进行方差齐性检查,并用多因素方差分析,对同角度下各肌群的iEMG与激活顺序变化,同肌群的iEMG与激活顺序在各角度下的变化进行分析。$P<0.05$为差异有显著性意义,$P<0.01$为差异有非常显著性意义。

2 结果

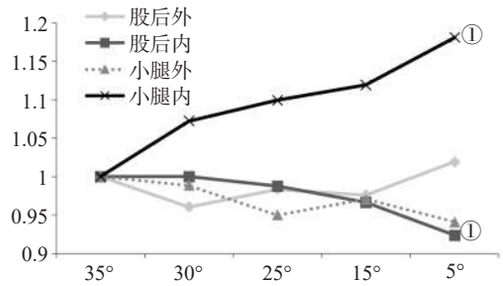
2.1 各肌群在屈膝动作中向心阶段的募集比例

Work%(work rate)是每块肌群iEMG占当前动作所有动员肌肉群iEMG总和的百分比。从35°到5°的起始角度变化中,通过双侧方差分析,在同一起始角度下,四块肌群在屈膝动作中的募集比例是一致的($P>0.05$),股后内侧肌群始终占比最大,可以达到35.04%±6.62%,与其他三者有非常显著性差异($P<0.01$),股后外侧肌群与小腿内/外侧肌群之间无显著差异。随起始角度向伸膝位靠近,小腿内侧肌群募集增加,在5°时有显著差异($P<0.05$),股后内侧肌群募集则显著减少($P<0.05$),其他肌群无变化差异。见表3与图1。

2.2 各肌群在屈膝动作中离心阶段的募集比例

离心阶段是被试从结束位置在规定时间内返回起点,其趋势与向心阶段相同。股后内侧肌群依然募集比例最高,可以达到36.69%±10.62%($P<0.01$),其次是股后外侧肌群($P<0.05$),而小腿内外侧肌群之间无显著差异。随起始角度向伸膝位靠近,相比于35°,在5°与15°时,小腿内侧肌群募集显著增加($P<0.05$);在5°时,股后内侧肌群募集占比显著减少($P<0.05$)。其他肌群无变化差异,其他角度之间募集比例无变化差异。见表4与图2。

图1 各肌群向心募集比例随起始角度变化



注:以屈膝角35°作为参考,其他角度相对它做归一化处理;①不同角度下,同名肌群分别与屈膝角35°比较,$P<0.05$为显著性差异。

表3 各肌群向心募集比例 ($\bar{x}\pm s$,%)

	股后外	股后内	小腿外	小腿内
35°	23.01±7.21	35.04±6.62①	21.34±5.76	20.61±4.67
30°	22.10±7.62	35.35±6.22①	20.91±5.81	21.64±4.37
25°	22.81±9.62	34.63±4.99①	20.34±7.32	22.21±5.42
15°	22.78±9.60	33.95±5.60①	20.67±7.27	22.60±5.13
5°	23.28±10.06	32.92±5.32①②	19.90±5.70	23.90±5.50②

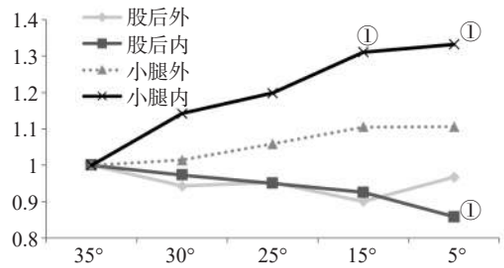
注:①同一角度下,其他肌群与股后内肌群之间比较,$P<0.01$;
②不同角度下,同名肌群分别与屈膝角35°比较,$P<0.05$。

表4 各肌群离心募集比例 ($\bar{x}\pm s$,%)

	股后外	股后内	小腿外	小腿内
35°	26.03±9.49	36.69±10.65①	19.33±7.42	17.95±4.89
30°	24.79±11.13	35.51±8.14①	19.82±8.12	19.88±5.08
25°	24.82±10.55	34.48±7.29①	20.22±9.09	20.48±4.20
15°	23.14±9.00	33.36±6.30①	21.00±8.52	22.50±5.37②
5°	24.42±9.45	32.09±7.40①②	20.38±7.01	23.10±4.91②

注:①同一角度下,不同肌群之间比较,$P<0.05$;
②不同角度下,同名肌群分别与屈膝角35°比较,$P<0.05$

图2 各肌群离心募集比例随起始角度变化



注：以屈膝角35°作为参考，其他角度相对它做归一化处理；①不同角度下，同名肌群分别与屈膝角35°比较，$P<0.05$

2.3 各肌群在屈膝动作中募集顺序

使用方差分析方法检验了肌肉是否按照一定次序启动，并检验了肌肉启动时间是否有差异的问题。在相同起始角度下，股后内侧肌群都是最先被动员（$P<0.05$），其次是股后外侧肌群或小腿内侧肌群，但股后外侧与小腿内侧无差异，最后是小腿外侧肌群。随起始角度向伸膝位靠近，小腿内侧肌群激活时间相较于屈膝角35°，在5°时会提前（$P<0.05$），其他肌群无变化差异。见表5与图3。

3 讨论

坐姿屈膝训练是常用的膝关节屈肌训练手段，设定不同的起始角度，实际是改变了股后肌群与腓肠肌群的长度，导致其发力状态发生改变。在本文的研究中，起始屈膝角从35°—5°的改变，并没有更改这四组肌群（股后外、股后内、小腿外，小腿内）的募集配比特征，总是以股后内肌群获得最高的近1/3的占比（$P<0.01$），其余三组分得剩下的2/3，且占比相近。而在接近伸膝位时，相比于35°，小腿内侧肌群的募集增加（$P<0.05$），股后内侧肌群募集显著下降（$P<0.05$）。

表5 各肌群屈膝动作募集顺序 （$\bar{x}\pm s$，s）

	股后外	股后内	小腿外	小腿内
35°	0.189±0.117	0±0①	0.267±0.158	0.189±0.136
30°	0.2±0.122	0±0①	0.3±0.187	0.156±0.159
25°	0.222±0.148	0.022±0.067①	0.367±0.212	0.122±0.139
15°	0.133±0.087	0.056±0.133①	0.344±0.251	0.089±0.127
5°	0.156±0.088	0.067±0.132①	0.378±0.233	0.056±0.113②

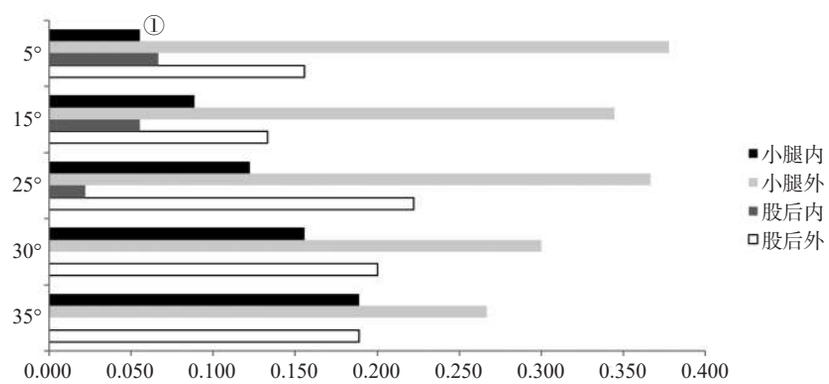
注：①同一角度下，不同肌群之间比较，$P<0.05$为显著性差异；②不同角度下，同名肌群分别与屈膝角35°比较，$P<0.05$

髋关节被屈髋90°固定，跨过髋关节与膝关节的股后肌群主要发挥着屈膝作用，在屈膝过程中，股后内侧肌群总是有更高的肌电募集水平。这与吴翠娥等[9]通过不同速度和角度下研究股后肌群的屈膝作用结果一致。在卢德明等[10]的研究中，屈膝力矩随起始角度越小（屈膝角45°—0°），其峰力矩越大，做功越多。而同时，腘绳肌力矩在屈膝角40°附近获得最大，而在0—40°间呈上升状态[11—12]。屈膝起始角度越靠近伸膝位，则腘绳肌发出力矩越小。外力矩相同，要完成屈膝动作，则必须更多动员小腿肌群，故在5°时，小腿肌群的募集占比（内侧）显著增加，股后内侧肌群募集下降。这也与李翰君等[13]的研究相符，腓肠肌仅在屈膝角较小时有屈膝作用，当屈膝角增大时腓肠肌力矩趋于0，这时腓肠肌处于主动不足。半腱半膜肌力矩随着屈膝角的增大而增大。

在募集顺序上，从本文得到的结果，股后内侧肌群总是最先被动员，小腿外侧肌群在各起始角度下都是最后被动员，股后外与小腿内侧肌群或各有前后（与个体差异有关）。这与膝关节的解锁机制可能相关。当膝关节接近完全伸位时，胫骨相对股骨有轻微的外旋，并会把膝关节锁定[6]。启动膝关节屈曲动作，便会先行解锁，膝关节首先会做出内旋动作，而股后内侧肌群除了屈膝，也有内旋的功能，表现出最先被动员。

膝关节功能障碍患者存在膝周肌肉肌力下降已为许多研究所

图3 各肌群随起始角度变化募集顺序变化



①不同起始角度下，同名肌群分别与35°比较，$P<0.05$

证明[14],前交叉韧带术后下肢肌群的力量减退严重,腘绳肌肌力会下降9%—27%[15]。对于术后和其他膝关节症状患者,展开对膝周肌力的训练十分必要,同时还要要求达到精准和有效性。而组成膝周的肌群有其运动适应性,在临床症状中和完成动作时表现出不同的特点:比如腘绳肌拉伤中,股二头肌损伤率最高[16];半月板患者在伤后或术后其股二头肌的活性会降低[17]。从而,这类损伤用坐位屈膝训练,其调动腘绳肌外侧(股二头肌)参与训练的效果就不甚理想。另外,要在康复训练中更多地抑制腓肠肌群参与,则需要在坐位屈膝时,将起始角度调节在较大的屈膝角处(30—40°),便能更多地刺激腘绳肌群发力。由此,在利用坐姿屈膝训练时,对股后内侧肌群有较强的刺激,在接近伸膝位时启动,会调动更多的小腿内侧肌群参与。

4 结论

在坐姿情况下屈膝时,改变起始角度,屈膝肌群的募集比例与顺序不随之改变,股后内侧肌群动员程度最高。在接近完全伸膝位时,小腿内侧肌群会显著提升募集比例,并提前启动时间;在制定诸如腘绳肌损伤等股后肌群的运动康复方案中,可以以此作为参考。

参考文献

[1] Bahr R, Engebretsen L. Sports injury prevention: Olympic handbook of sports medicine[M]. Chennai: Charon Tec Ltd, 2009.

[2] 邓卫权, 郝君, 霍焱. 高校跑、跳类运动员股后肌群拉伤原因及预防对策[J]. 华东交通大学学报, 2004, 21(3):123—125+150.

[3] Morin JB, Gimenez P, Edouard P, et al. Sprint acceleration mechanics: the major role of hamstrings in horizontal force production[J]. Frontiers in Physiology, 2015, 6(2): 1—14.

[4] Opard A, Willams MD, Timmins RG, et al. Knee flexor strength and bicep femoris electromyographical activity is lower in previously strained hamstrings[J]. J Electromyography Kinesiology, 2013, 23(3):696—703.

[5] Noya Salces J, Gomez Carmona PM, Moliner-Urdiales D, et al. An examination of injuries in Spanish Professional Soccer League[J]. J Sports Med Phys Fitn, 2014, 54(6): 765—771.

[6] Donald A. 骨骼肌肉功能解剖[M]. 北京:人民军医出版社, 2014. 563.

[7] 托马斯·贝希勒. 抗阻训练从入门到精通[M]. 北京:人民邮电出版社, 2018.202—210.

[8] 王娜. 成年女性髋关节卧位后伸时肌肉激活及运动模式研究[J]. 体育科学, 2011, 31(3):74—80.

[9] 吴翠娥, 刘建春, 袁鹏, 等. 等速向心运动中膝关节屈伸肌群的sEMG研究[J]. 体育与科学, 2008, 29(6):20—23.

[10] 卢德明, 王云德, 方兴, 等. 膝关节不同起始角与结束角运动肌力的生物力学研究[J]. 体育科学, 1999, 19(3):84—88.

[11] Alonso J, McHugh MP, Mullaney MJ, et al. Effect of hamstring flexibility on isometric knee flexion angle-torque relationship[J]. Scand J Med Sci Sport, 2009, 19: 252—256.

[12] 王爱文. 腘绳肌柔韧性、大腿力量与腘绳肌静息长度的关系[D]. 北京:北京体育体育大学运动人体科学学院, 2011. 21.

[13] 李翰君, 刘卉, 张新, 等. 膝关节肌肉力分布模拟研究[J]. 体育科学, 2012, 32(11):57—63+69.

[14] 缪芸, 倪朝民, 夏清, 等. 膝部损伤后膝关节功能障碍患者股四头肌的表面肌电信号研究[J]. 中国康复理论与实践, 2009, 15(11):1065—1067.

[15] Thomas AC, Villwock M, Wojtys EM, et al. Lower extremity muscle strength after anterior cruciate ligament injury and reconstruction[J]. J Athl Train, 2013, 48(5): 610—620.

[16] Woods C, Hawkins RD, Maltby S, et al. The football association medical research program: an audit of injuries in professional football-analysis of hamstring injuries[J]. Br J Sport Med, 2004, 38:36—41.

[17] 卢惠苹, 陈瑞华, 张高飞, 等. 半月板损伤患者膝周肌肉的表面肌电图分析[J]. 中国康复理论与实践, 2019, 25(5): 586—589.