

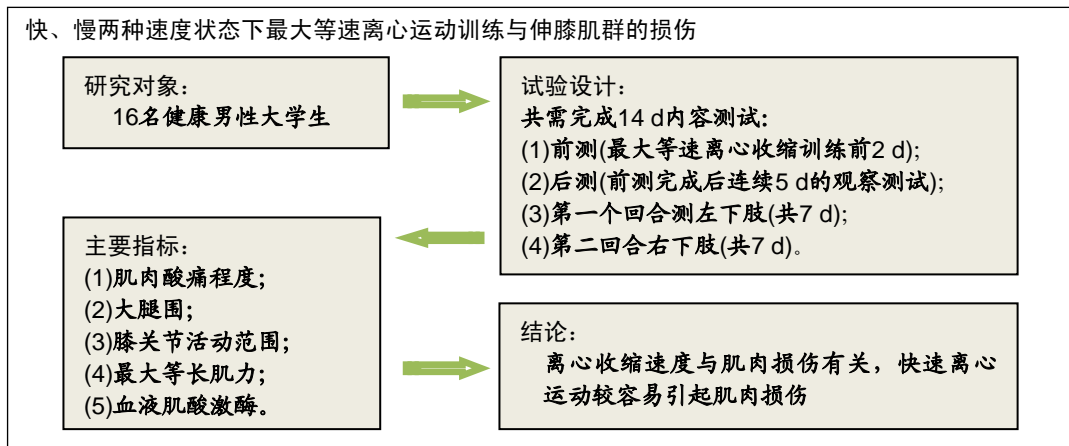
快、慢两种速度下最大等速离心运动训练对伸膝肌群的影响

刘 贇(重庆应用技术职业学院, 重庆市 401520)

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.1454

ORCID: 0000-0002-8923-2080(刘贇)

文章快速阅读:



刘贇, 女, 1986年生, 重庆市人, 汉族, 2011年西南大学毕业, 硕士, 讲师, 主要从事体育教学的研究。

文献标识码:A

稿件接受: 2019-04-25



文题释义:

离心收缩: 是指肌肉在外力作用而伸展的情况下产生张力, 即肌肉在被迫伸展时产生收缩, 此种收缩形式与向心收缩相反, 其所产生的张力, 在各种肌肉收缩形式中为最大。离心运动所征募的肌纤维数目较少, 但产生的力量却较大, 故每一条肌纤维的负荷相对提高, 所以在反复高张力下的离心收缩, 往往会导致肌纤维及肌肉功能受到损伤, 则高张力、低神经激活是离心收缩的最大特性。

延迟性肌肉酸痛(delayed onset muscle soreness, DOMS): 常发生于不熟悉的运动形态, 如下坡跑步或运动强度超出平时的训练, 特别是肌肉在从事反复离心收缩的运动过程中, 会促使骨骼肌引起很明显的伤害。一般肌肉损伤症状有肌肉酸痛加剧、关节活动范围变窄、最大自主等长肌力下降等现象; 其中肌肉酸痛程度通常在运动后的1-3 d最为明显, 在4-6 d达到峰值, 在5-7 d后才能逐渐缓解并恢复。

摘要

背景: 日常生活中的下阶梯、下坡跑、深蹲训练等, 此时人体下肢肌群处于离心收缩很容易引发伸膝肌群酸痛及造成肌肉细微损伤现象, 但目前缺少以相同等速离心速度的屈肘肌方案应用于伸膝肌的所引发损伤报道。

目的: 对伸膝肌群分别采用快、慢2种速度进行一回合最大等速离心收缩运动, 据此揭示该训练模式可能引发的肌肉损伤规律。

方法: 该研究方案经重庆应用技术职业学院的医学伦理委员会审核通过。以16名未接受过训练的健康大学男性为受试对象, 所有受试者均在充分了解试验方案的前提下签署了“知情同意书”。在为期2周内, 运用平衡次序法让每一位受试者的左、右腿分别使用快、慢2种速度, 进行一回合120 s最大等速离心收缩运动。慢速度为30 (°)/s的角速度下进行6组×5次; 快速度为210 (°)/s的角速度下进行6组×35次。并于运动前、后分别测试肌肉酸痛程度、大腿围、膝关节活动范围、最大自主等长肌力、血液肌酸激酶活性等指标。

结果与结论: ①不同速度进行最大等速离心收缩训练, 皆在结束后两三天肌肉酸痛达到峰值, 表现为快速下诱发的肌肉酸痛程度比慢速更严重, 但两者皆可在运动结束后第5天恢复到训练前水平; ②不同速度进行最大等速离心收缩训练皆能引发大腿围增加, 但快速下大腿围增幅显著高于慢速且恢复速度更慢; ③快速下进行最大等速离心收缩训练后膝关节活动范围、最大等长肌力皆显著小于慢速训练, 且两者恢复速度也差异明显, 表现为慢速训练结束后膝关节活动范围及最大等长肌力下降值较低, 约在结束后第3天就基本恢复到训练后水平; 而快速情况下, 膝关节活动范围及最大等长肌力下降程度大, 峰值出现更晚, 恢复时间更长, 在训练结束第5天依旧未能完全恢复; ④快速训练诱发血液肌酸激酶的活性显著高于慢速, 且慢速训练很快能获得恢复, 但快速组在训练结束第5天血液肌酸激酶活性还在增加, 这足见快速引发肌肉损伤比慢速要大得多; ⑤结果说明, 离心收缩所引发的肌肉酸痛程度、大腿围、膝关节活动范围、最大等长肌力、血液肌酸激酶、肌力峰值等值及恢复时间差异可能与离心“训练总量”有关; 在控制快、慢2种速度肌肉激活时间前提下, 快速下的最大等速离心训练所引起肌肉损伤程度显著高于慢速度, 从而支持离心收缩速度与肌肉损伤有关的论断, 亦证实了快速离心运动较容易引起肌肉损伤的观点。

关键词:

肌肉酸痛; 离心收缩; 肌酸激酶; 关节活动范围; 最大等长肌力; 大腿围; 等速肌力; 肌力下降率

中图分类号: R446; R455; R318

基金资助:

重庆市体育局项目(A201502)

Liu Yun, Master, Lecturer,
Chongqing Vocational
College of Applied
Technology, Chongqing
401520, China

Effect of maximum isokinetic centrifugal exercise training at fast and slow speeds on knee extensors

Liu Yun (Chongqing Vocational College of Applied Technology, Chongqing 401520, China)

Abstract

BACKGROUND: In lower steps, downhill running, and squatting training, the lower limb muscles are in centrifugal contraction, and it is easy to cause soreness of extensor muscles and minor muscle damage. However, there are few reports on the injury caused by the application of elbow flexor with the same centrifugal speed to extensor muscles.

OBJECTIVE: To reveal the law of muscle injury by given maximum isokinetic eccentric contraction exercise at fast and slow speeds to the knee extensor.

METHODS: The study was approved by the Ethics Committee of Chongqing Vocational College of Applied Technology. Sixteen untrained healthy male college students were selected and signed the informed consents. During the period of 2 weeks, the left and right legs of each participant were given 120 seconds of maximum isokinetic eccentric contraction exercise at slow ((30 (°)/s, 6 groups x 5 times)) and fast (210 (°)/s, 6 groups x 35 times) speeds, respectively. The degree of muscle soreness, thigh circumference, knee joint range of motion, maximum autonomic isometric muscle strength, and blood creatine kinase activity were measured before and after exercise.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) Muscle soreness peaked at 2-3 days after the end of training at different speeds, which showed that muscle soreness induced by rapid training was more serious than slow training, but both of them could recover to the level before training on day 5 after the end of exercise. (2) Thigh circumference increased at different speeds, but thigh circumference increased significantly faster than slow training and recovered more slowly. (3) The range of motion and maximum isometric muscle strength of knee joint after rapid training were significantly lower than those after slow training. The recovery speed of both was significantly different, which showed that range of motion of knee joint and maximum isometric muscle strength decreased slowly after slow training, and basically returned to the level after training on day 3 after the end of slow training. In fast condition, range of motion of knee joint and maximum isometric muscle strength decreased significantly, peaked later, and recovery was more significant, and took longer time to recover completely on day 5 after the training. (4) The creatine kinase activity induced by fast training was significantly higher than that induced by slow training, and the slow training could recover quickly, but the creatine kinase activity of fast training group was still increasing on day 5 after the end of training, which showed that the muscle damage caused by fast training was much higher than that caused by slow training. (5) These results imply that the difference of muscle soreness, thigh circumference, range of motion of knee joint, maximum isometric muscle strength, blood creatine kinase, maximal muscle strength and recovery time caused by centrifugal contraction may be related to the total amount of centrifugal training. On the premise of controlling the activation time of fast and slow speed muscles, the degree of muscle injury caused by rapid isokinetic centrifugal training is much higher than that caused by slow speed, which supports the conclusion that centrifugal contraction speed is related to muscle injury. It also confirms that rapid centrifugal exercise is more likely to cause muscle injury.

Key words: muscle soreness; centrifugal contraction; creatine kinase; range of motion of joints; maximum isometric muscle strength; thigh circumference; isokinetic muscle strength; muscle strength decline rate

Funding: the Project of Chongqing Sports Bureau, No. A201502

0 引言 Introduction

离心收缩是指肌肉在外力作用而伸展的情况下产生张力,即肌肉在被迫伸展时产生收缩,此种收缩形式与向心收缩相反,其所产生的张力,在各种肌肉收缩形式中为最大^[1]。离心收缩易引发延迟性肌肉酸痛,例如:下坡跑步或运动强度超出平时的训练,特别是肌肉在从事反复离心收缩的运动过程中,会促使骨骼肌引起很明显的伤害,一般肌肉损伤症状有肌肉酸痛加剧、关节活动范围变窄、最大自主等长肌力下降等现象,通常在运动后的1-3 d最为明显^[2-4]。

离心运动引发肌肉损伤的因素很多,其中肌肉收缩速度与肌肉损伤程度的相关性是较具争议性。但现有关于收缩速度的研究文献中多数以动物为实验对象,这些研究结果表明,收缩速度会造成肌肉损伤及肌肉功能下降^[5-7];但亦有一些研究结果发现没有产生显著影响^[8-9]。最近几年,有学者开始以人体为实验对象开始探讨不同等速离心收缩对肌肉损伤的影响,结果发现:使用210 (°)/s与20 (°)/s 2种速度进行屈肘离心训练运动时,快速离心收缩对于增加肌肥大及肌力的效果显著优于慢速离心^[10];使用210 (°)/s与30 (°)/s进行单次肘屈肌离心运动的实验中,快速离心肌力复原较慢速缓慢,且肌酸激酶活性、上臂围、大腿围和肌肉损伤等都显著高于慢速^[11]。研究指出:快速[60 (°)/s]的屈肘肌离心运动比慢速[12 (°)/s]更容易引发DOMS^[12]。Paddon-Jones等^[13]比较30 (°)/s(时间17.4 min)与180 (°)/s(时间2.9 min)2种速度屈肘肌离心训练时发现,慢速肌肥大和损伤都明显高于快速度,但快速度较能改善肌

力并增加IIb型肌纤维百分比。随后,该学者使用180 (°)/s与30 (°)/s再次进行单次屈肘肌离心运动,结果发现快速等速向心力复原情况较快,慢速的大腿围略有些增加,但最大等长肌力和血液肌酸激酶活性无显著差异^[6],故推知肌肉功能和损伤症状的原因可能是由于做功总时间所造成。

由此看来,离心运动速度确实是造成肌肉损伤的一个主要因素,但离心力量输出和收缩速度是正相关,随着速度越来越快离心收缩产生的张力会开始减少,那么离心收缩速度和肌肉损伤是否会相互影响?至今仍未有明确定论。一般地,肌肉损伤的原因是机械压力及肌纤维过度收缩所导致^[14-15]。然而,要探讨收缩速度对肌肉损伤影响却是相当困难的,因为肌肉收缩时间及收缩速度成反比,时间与收缩次数是影响肌肉紧张度的两个重要因素。很多学者采取在研究中设定组数,在固定收缩次数下观察收缩速度对肌肉损伤的影响,而这样的研究使肌肉激活时间是不同的;也有一些学者以总量概念进行研究,认为运动总时间可能必须相同^[16-18]。虽然这些实验方案设计的科学性值得质疑,但运动员普遍在中速至高速运动中造成肌肉酸痛及损伤却是不争的事实,故离心收缩速度到底能引发多大的肌肉损伤是值得探讨的。

总之,先前的研究大多以屈肘肌做为不同等速离心运动的肌群^[10, 12-13, 16-17, 19]。也有部分文献是比较屈肘肌和膝伸肌之间引起肌肉损伤的研究,其研究结果发现上肢肌群进行离心运动后,肌肉损伤及肌肉功能回复程度会比下肢肌群来得严重^[20-22]。但极少有学者针对不同等速离心收

缩对于伸膝肌的影响进行探索,且若以相等等速离心速度对屈肘肌的方案应用于伸膝肌,是否也会造成同样的结果?这将是一个有趣的问题。另一方面,运动实践经验表明,不论何种专项训练,其对下肢肌群的训练量皆远远高于身体的其他部位肌群,而伸膝肌群除了使膝关节进行屈曲与伸展动作的主要肌群,更是担负支撑身体质量的重任。日常生活中,像下楼梯、下坡跑、质量训练中的深蹲等等,很容易引发伸膝肌群酸痛及造成肌肉细微损伤现象。故理清下肢肌群在不同等速离心运动时的关系,为下肢肌力训练科学化提供实际参考。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 自身对照观察。

1.2 时间及地点 试验于2018年11至12月在重庆医科大学生物医学工程学院的实验室完成。

1.3 对象 共招募16名健康男性大学生志愿者作为试验对象,年龄(21.47±0.51)岁、身高(171.56±5.26)cm、体重(68.61±8.69)kg。该研究方案经重庆应用技术职业学院的医学伦理委员会审核通过。所有受试者均在充分了解试验方案的前提下签署了“知情同意书”。

1.3.1 纳入标准 ①符合自愿参与原则;②无规律运动者;③无心血管疾病、糖尿病、呼吸功能障碍、胸痛、神经肌肉及骨关节疾病史;④无抽烟及喝酒习惯;⑤无服用心血管疾病类药物;⑥无医师诊断为不适宜运动,且无行动障碍;⑦在过去1年内未曾接受任何下肢骨骼和肌肉开刀手术。

1.3.2 排除标准 ①运动员或有健身运动习惯者;②下肢曾有过骨折及膝关节炎症者;③医师诊断为不适宜运动者;④在过去1年内接受任何下肢骨骼和肌肉开刀手术者;⑤有心血管疾病者。

1.4 方法

1.4.1 试验流程

(1)试验前先向受试者说明研究的目的、试验流程及整个试验流程中可能产生的风险等,若受试者对于此次研究的说明无任何疑虑后,并同意参加试验时,经重庆应用技术职业学院的医学伦理委员会审核通过,再请其签署受试者须知与参与同意书。此外,在研究期间要求所有受试者不得从事任何试验以外的身体活动,并遵守受试者须知的规定。此外,在受试者进行离心收缩时,研究人员不断以口头方式鼓励受试者,以确保他们都是尽全力进行测验。

(2)所有受试者完成共需完成14 d相关内容测试:即前测内容(安排在最大等速离心收缩训练前2 d)及前测完成后连续5 d的观察测试——称之后测(第1-5天)。第1个回合测试左下肢或右下肢(共7 d),间隔2周后再进行第2回合测试另一侧下肢(共7 d)。

(3)最大等速离心收缩训练(称之MAX)具体操作过程。让所有受试者以平衡次序法接受左、右两腿分别在2种速度下(慢速度及快速度)进行一回合离心收缩最大等速离心收缩运动,其中训练时间120 s。慢速度为30 (°)/s的角速度下进行6组×5次;快速度为210 (°)/s的角速度下进行次6组×35

次,以做为比较快、慢间对抗离心收缩引起肌肉损伤的反应情形。

每位受试者试验姿势统一为坐姿,每次进行离心收缩的范围都从膝关节弯曲5°-125°(膝关节完全伸直时的角度定义为0°,慢速下完成一次约4 s,快速下约0.75 s),离心收缩时均以全力抵抗Biodex仪器的测力器杆臂,慢速下,仪器杆臂会以10(°)/s被动移动速度返回原先离心收缩的起始位置,快速下,仪器杆臂会以70(°)/s的被动移动速度返回原先离心收缩的起始位置。该过程中,受试者大腿分别可获得12 s(慢速)及1.71 s(快速)的放松休息时间,组与组间隔休息90 s,以此方式让受试者反复进行直到完成120 s的最大等速离心收缩训练(慢速下30次×4 s;快速下210次×0.75 s)为止^[1],并在最大等速离心收缩训练当中观察2种角速度间的肌力峰值(PT值)变化情形。

(4)最大等速离心训练后的观察指标测试。完成最大等速离心收缩训练前2d及完成后即刻(0 d),及完成后第1-5天,间隔时间24 h,分别检测受试者肌肉酸痛程度、大腿围、膝关节活动范围、最大等长肌力、血液肌酸激酶(最大等速离心收缩训练后第0天不测验)。

1.5 主要观察指标

1.5.1 肌肉酸痛程度 所有受试者在测验的每天皆须进行一次肌肉酸痛程度评量(0-100 mm),此肌肉酸痛评量法为主观性测量。采用触摸式酸痛程度模式进行评量,每次一开始要求受试者脚尖与肩同宽立于约40 cm高的登阶上,接着施测人员以触摸(按、捏)的方式两三次针对该回合受测腿的膝伸肌群测量;在每次完成触摸受试者膝伸肌群后,立即要求受试者于0-100 mm肌肉酸痛量表上划记自己主观性酸痛程度。其中,“0”端代表完全不会酸痛,而“100”端则为非常、非常酸痛^[23]。

1.5.2 大腿围 膝伸肌群大腿围的测量是以髌前上棘至髌骨上缘的1/2距离处当测量点,作为测量位置^[24]。要求受试者眼睛注视前方且以放松自然姿势站立并抬头挺胸进行(两腿与肩同宽),测量3次,误差必须小于0.2 cm,否则将进行重复测量。

1.5.3 膝关节活动范围 测验时受试者采俯卧姿势平躺于一平台上,让其膝关节进行最大自主弯曲角度与最大自主伸展角度(分别各测3次)^[25]。使用360°测角仪(在大转子、膝关节髌骨侧边及踝关节3处皮肤点上标记点)进行测量。

1.5.4 最大等长肌力 采用等速肌力测试训练仪(Biodex Medical System, Shirley, 美国)测量受试者在坐姿下进行伸膝肌群最大等长肌力测验,以了解接受离心运动前、后对最大等长肌力变化的情形;受试者在每个不同时间点进行70°最大等长肌力测验,以膝关节弯曲70°下进行3次最大自主等长收缩,每次皆持续用力3 s,次与次间休息50 s;测验后统一选取该角度中的最大等长肌力峰值(PT)并求平均值,即为研究的最大等长肌力值^[24]。

1.5.5 血液肌酸激酶 采用加抗凝血剂红毛细管配合采血针从受试者指尖抽取约0.2 mL血液,再将血液移放至微量离心管,尔后将离心管放入离心机,离心转速为3 000 r/s,离心10 min,以便分离出血浆。使用自动生化分析仪

(SWELAB AC970, 瑞典)进行血液肌酸激酶活性测试。每一个样本做2次分析后取平均值^[20]。

试验设计及流程见图1。

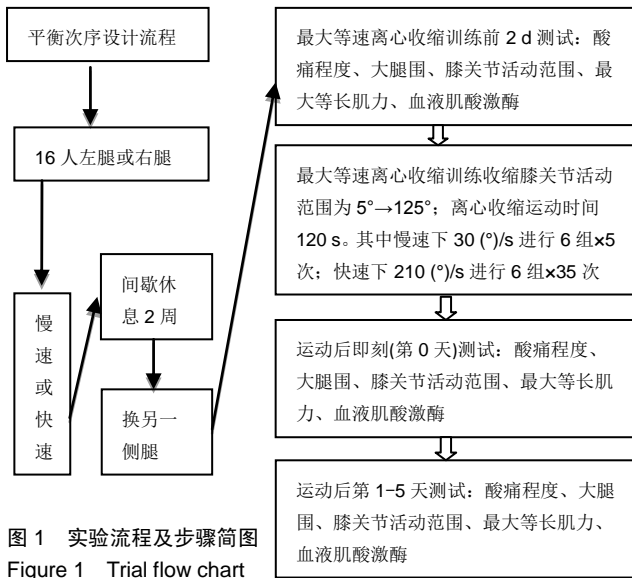


图1 实验流程及步骤简图
Figure 1 Trial flow chart

1.6 统计学分析 采用重复测量双因素方差分析法针对快速与慢速2种等速最大离心训练下获得的前、后主要指标(肌肉酸痛程度、大腿围、膝关节活动范围、最大等长肌力、血液肌酸激酶)的相对数值进行比较分析;若发现存在交互作用时,则进一步使用Tukey's method方法进行事后多重比较。所有指标的显著水平设置为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 试验纳入受试者16名,试验过程无脱落,全部进入结果分析。

2.2 快、慢两种最大等速离心收缩训练后的观察时间点与最大等速离心收缩训练前测肌肉酸痛程度比较 表1显示:①最大等速离心训练后即刻(第0天)及结束后第1-5天肌肉酸痛程度皆一致表现为快速收缩显著高于慢速收缩($P < 0.05$);②LSD多重比较发现,无论是慢速还是快速收缩,肌肉酸痛皆在训练后的第2,3天达到最大酸痛,随即开始下降,约在运动结束后第5天方可达到训练前水平。

2.3 快、慢两种最大等速离心收缩训练后的观察时间点与最大等速离心收缩训练前测大腿围比较 表2显示:①最大等速离心训练后即刻(第0天)慢、快2种收缩速度所

得大腿围大腿围无显著差异($P > 0.05$),但结束后第1-5天所测大腿围则一致表现为快速收缩显著大于慢速收缩($P < 0.05$);②LSD多重比较发现,慢速收缩情况下,大腿围在训练后的第2,3天达到最大值,随即在第5天基本恢复到原来水平;快速收缩情况下,大腿围同样有训练后第2-3天达到最大值,但在训练结束后第5天其值依旧未能恢复至原有水平。

2.4 快、慢两种最大等速离心收缩训练后的观察时间点与最大等速离心收缩训练前测膝关节活动范围比较 表3显示:①最大等速离心训练后即刻(第0天)及随后第1天至第4天,快收缩下膝关节活动范围显著小于慢收缩($P < 0.05$),但结束后第5天,慢、快两种速度下所测膝关节活动范围几乎无差异($P < 0.05$);②LSD多重比较发现,慢速收缩情况下,在离心训练结束至第3天,膝关节活动范围显著下降,随后在第4天几乎恢复到训练前的水平;快速收缩情况下,同样在离心训练结束至第5天,膝关节活动范围显著下降,虽然从第3天开始出现明显的恢复现象,但直至结束后第5天依旧未达到训练前的水平。

2.5 快、慢两种最大等速离心收缩训练后的观察时间点与最大等速离心收缩训练前测最大等长肌力比较 表4显示:

①最大等速离心训练后即刻(第0天)及随后第1-5天,快收缩下最大等长肌力显著小于慢收缩($P < 0.05$),即使在训练结束后第5天,快速训练下的最大等长肌力依旧未能恢复正常状况;②LSD多重比较发现,慢速收缩情况下,离心训练结束即刻,最大等长肌力只有轻微下降,在训练结束的第1天至第2天,最大等长肌力急著下降至谷底,随后在第3天几乎恢复到训练前的水平;快速收缩情况下,训练结束即刻(0天),最大等长肌力就下降至谷底,在随后的第1天至第4天,最大等长肌力出现恢复迹象不多,在结束后的第5天最大等长肌力有明显上升趋势,但依旧未能达到训练前的水平。

2.6 快、慢两种最大等速离心收缩训练后的观察时间点与最大等速离心收缩训练前测血液中的肌酸肌酶活性比较 表5显示:①最大等速离心训练后的第1天至第5天,快收缩下血液中的血液肌酸激酶活性皆显著高于慢收缩($P < 0.05$);②LSD多重比较发现,慢速收缩情况下,在离心训练结束至第3天,血液肌酸激酶酶活性达到峰值,随后在第4天至第5天稍有下降,但依旧未能恢复到训练前的水平;快速收缩情况下,离心训练结束后从第1天至第5天,血液肌酸激酶酶活性一直呈现显著增长趋势,且在结束后第5天达到顶峰值。

表1 两种速度最大等长离心收缩前后肌肉酸痛程度差异

($\bar{x} \pm s$, mm)

Table 1 Comparison of muscle soreness degree before and after maximum isokinetic eccentric contraction exercise at two speeds

收缩	a	b	c	d	e	f	g	LSD
	前测	第0天	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	多重比较
慢速收缩	0.00±0.00	6.09±2.87	28.56±15.36	31.55±15.54	28.26±15.11	15.69±10.51	5.77±4.12	c=d=e>f>b=g
快速收缩	0.00±0.00	25.69±15.23	46.11±17.54	55.87±15.26	53.54±17.15	45.55±21.66	27.03±14.24	d=e>c>f>b=g
检验值		$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	

表注:多重比较中,a=b意旨前测与第0天间无差异,e>f意旨第3天显著高于第4天。

表2 两种速度最大等长离心收缩前后大腿围差异 ($\bar{x}\pm s$, mm)
Table 2 Comparison of thigh circumference before and after maximum isokinetic eccentric contraction exercise at two speeds

收缩	a	b	c	d	e	f	g	LSD
	前测	第0天	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	多重比较
慢速收缩	54.11±4.05	54.55±3.69	54.72±6.63	54.97±4.85	54.83±7.21	54.76±4.69	54.31±5.21	c=d=e=f>b>a=g
快速收缩	53.78±5.11	54.33±6.21	55.03±7.15	55.28±5.09	55.19±4.65	55.11±6.23	55.03±4.02	c=d=e=f=g>b>a
检验值	$P > 0.05$	$P > 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	

表注: 多重比较中, a=b 意旨前测与第0天间无差异, e>f 意旨第3天显著高于第4天。

表3 两种速度最大等长离心收缩前后膝关节活动范围差异统计表 ($\bar{x}\pm s$, °)
Table 3 Comparison of range of motion of knee joint before and after maximum isokinetic eccentric contraction exercise at two speeds

收缩	a	b	c	d	e	f	g	LSD
	前测	第0天	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	多重比较
慢速收缩	69.89±7.65	64.69±7.05	65.89±9.14	66.74±6.89	67.06±7.06	69.68±7.68	70.17±8.57	b=c=d=e<a=f=g
快速收缩	70.33±6.16	55.54±8.11	56.09±7.54	56.51±9.22	57.32±8.36	57.97±10.06	65.81±8.47	b=c=d=e=f<g<a
检验值	$P > 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P > 0.05$	

表注: 多重比较中, a=b 意旨前测与第0天间无差异, e>f 意旨第3天显著高于第4天。

表4 两种速度最大等长离心收缩前后最大等长肌力差异 ($\bar{x}\pm s$, N·m)
Table 4 Comparison of maximum isometric muscle strength before and after maximum isokinetic eccentric contraction exercise at two speeds

收缩	a	b	c	d	e	f	g	LSD
	前测	第0天	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	多重比较
慢速收缩	174.56±41.55	161.58±31.46	138.65±41.32	148.62±41.32	173.96±52.74	172.63±50.66	171.98±36.21	c=d<b<a=e=f=g
快速收缩	181.12±35.75	119.21±36.14	107.23±25.32	114.35±27.21	120.37±26.25	126.25±29.68	147.95±28.23	b=c=d=e=f<g<a
检验值	$P > 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	

表注: 多重比较中, a=b 意旨前测与第0天间无差异, e>f 意旨第3天显著高于第4天。

表5 两种速度最大等长离心收缩前后血液肌酸激酶活性差异 ($\bar{x}\pm s$, IU/L)
Table 5 Comparison of blood creatine kinase activity before and after maximum isokinetic eccentric contraction exercise at two speeds

收缩	a	b	c	d	e	f	g	LSD
	前测	第0天	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	多重比较
慢速收缩	146.15±44.37	0.00±0.00	179.63±84.25	215.66±154.27	348.29±225.54	250.63±179.69	246.56±158.78	a<c<d<f=g<e
快速收缩	150.74±62.12	0.00±0.00	465.11±302.64	565.51±337.29	624.36±442.65	720.15±514.65	818.61±502.47	a<c<d<e<f<g
检验值	$P > 0.05$	(未测)	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	

表注: 多重比较中, a=b 意旨前测与第0天间无差异, e>f 意旨第3天显著高于第4天。

2.7 快、慢两种最大等速离心收缩训练后训练过程中的肌力峰值变化情况比较 研究中, 慢速收缩组(6组×5次, 4 s/次)及快速收缩组(6组×35次, 0.57 s/次, 则7次=4s/次)进行最大等速离心收缩训练时的120 s 肌力峰值(3次最大等长肌力峰值平均值)的变化情形。以第1个4 s所测得的肌力峰值为参照基线值(看成100%)。从表6不难发现: ①以4 s测试为参照基准值, 从40 s-60 s-80 s-100 s-120 s 共计5个时间节点, 快速收缩下的肌力峰值显著低于慢速组; ②组内间多重比较发现, 慢速组在第100-120秒时间点上, 肌力峰值不再发生变化($P > 0.05$); 但对快速组而言, 从40 s-60 s-80 s-100 s-120 s, 肌力峰值一直呈现显著下降趋势。

3 讨论 Discussion

快速与慢速条件下进行一回合最大等速离心收缩训练后, 2种情形下的伸膝肌群的肌肉酸痛程度、大腿围、膝关节活动范围、最大等长肌力、血液肌酸激酶、肌力峰值皆有显著影响作用($P < 0.05$)。快速与慢速组的肌肉酸痛程度变化最明显, 皆出现在最大等速离心收缩训练后第1-3天间, 之后肌肉酸痛程度会随实验时间延长而渐渐消除, 第5天慢速组肌肉酸痛程度几乎已消失, 但组别方面发现最大等速离心收缩训练后第0-5天, 快速组肌肉酸痛程度皆显著高于慢速组。这些发现与Chapman等^[11]学者的研究结果很接近, 可见, 快速度离心运动对上、下肢肌群确实皆比慢速度造成损伤程度要重得多。

表6 两种速度最大等长离心收缩前后肌力峰值(PT值)差异

($\bar{x} \pm s$, %)

Table 6 Comparison of maximal muscle strength before and after maximum isokinetic eccentric contraction exercise at two speeds

收缩	a	b	c	d	e	f	g	LSD
	4 s 测	20 s 测	40 s 测	60 s 测	80 s 测	100 s 测	120 s 测	多重比较
慢速收缩	100%	96.25±3.21	91.25±8.47	90.28±6.336	85.66±9.14	83.47±5.89	86.39±9.17	a<c<d<f<g<e
快速收缩	100%	88.14±6.25	85.44±7.16	81.66±11.56	76.98±9.78	65.98±11.53	58.12±17.44	a<c<d<e<f<g
检验值			$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	$P < 0.05$	

表注: 多重比较中, a=b 意旨前测与第 0 天间无差异, e>f 意旨第 3 天显著高于第 4 天。

Paddon-Jones 等^[6]研究发现, 最大等速离心收缩训练后, 慢速组肌肉酸痛程度峰值出现在第 1 天, 而快速组峰值则在第 3 天, 2 组间的肌肉酸痛程度并无显著差异。这与此次研究观察到的肌肉酸痛程度变化情况存在差异, 究其原因可能是实验设计问题引起的, 该实验是让受试者以 30 (°)/s 与 180 (°)/s 速度进行 6×6 (即 6 组, 每组 6 次) 最大离心运动, 采用固定收缩次数下观察速度对肌肉损伤的影响; 其中运动时间、运动强度、运动回合数、间隔时间、关节角度、收缩速度等都不尽相同, 这可能也是造成研究结果不同的原因之一。此外, 先前有研究指出, 肌纤维损伤不是肌肉激活时间造成的, 而与离心收缩的反复次数有关^[26]。为了减少实验受肌肉激活时间及离心收缩反复次数等双因素的影响, 此次研究研究采用 Chapman 等^[11]经典实验设计方式, 即快速组 (一次离心收缩 0.57 s) 反复离心收缩 210 次, 慢速组 (一次离心收缩 4 s) 反复离心收缩 30 次, 这样快速组的反复离心收缩总数大约是慢速组的 7 倍, 这也就是形成了总量的概念。

大腿围是作为评估肌肉肿胀、发炎反应及肌肉损伤的关键指标之一^[24-27]。此次研究发现在进行最大等速离心收缩训练后, 快速组大腿围肿胀程度显著高于慢速组, 这亦与先前一些学者的发现相一致^[11, 28]; 但在大腿围峰值出现时间方面与 Chapman 等^[11]研究有出入, 前者快速组大腿围峰值出现在第 3 天, 而此次研究则是在第 2 天。从膝关节活动范围变化情况看, 此次研究最大等速离心收缩训练后的第 0-2 天出现最小值, 之后就逐渐恢复。先前研究指出一回合高强度激烈衰竭性离心运动会导致膝关节活动范围急剧下降^[11, 28-29], 但此次研究快速组在最大等速离心收缩训练后的膝关节活动范围下降程度显然高于慢速组, 且快速组第 5 天都无法恢复到前测水平。由此可见, 从事快速度离心收缩所引起的肌肉损伤, 其膝关节活动范围要完全恢复至伤前水平须要相当长的一段时间。据研究报道, 若肌节伸展长度超过肌球蛋白和肌动蛋白细丝原本可链接的最适当的位置, 则会降低肌肉中的横桥数目^[30], 进而影响肌肉功能的表现 (如: 膝关节活动范围、最大等长肌力)。此次研究发现快速组进行最大等速离心收缩训练后, 第 0-5 天最大等长肌力下降程度皆显著高于慢速组, 这亦与 Chapman 等^[11]研究发现相似, 该研究快速组在第 7 天最大等长肌力 (约前测值的 50%), 此次研究的快速组在最大等速离心收缩训练后的第 5 天, 最大等长肌力约为前测值 82%。快速组最大等长

肌力下降程度比慢速组大得多的可能原因是快速组最大等速离心收缩训练引起肌肉损伤大得多, 从快速组最大等长肌力下降程度肌力峰值就可获得证明, 这与快、慢 2 种模式下的力量输出方式有关 (即肌纤维招募或横桥机制)。先前文献报道, 肘屈肌群进行离心运动后, 肌肉损伤及肌肉功能恢复程度会比伸膝肌群来得严重^[20-22], 可能是与肌肉组织解剖构造及肌纤维类型比例不同关系有关, 一般都比肘屈肌群有较高比例的 Type I 肌纤维; 快缩肌纤维 (Type II) 比慢缩肌纤维 (Type I) 更容易在进行离心运动时引起肌肉损伤。也有文献指出股直肌肌纤维排列为双羽状构造, 能产生较强大的力量与承受较高负荷^[31], 加上人的生活型态不同, 下肢肌群常有非最大离心运动, 其可能有较好的适应性, 故在做离心运动引起肌肉损伤的程度可能会比上肢肌群来得小^[21-22]。

离心运动引起相关肌群的肌节或 Z 线受到机械压力而诱发细微损伤, 此时细胞膜的通透性会发生改变, 血液肌酸激酶会从细胞内被释放至血液中, 故血液肌酸激酶在血液中浓度会升高, 因而可间接表示肌肉的损伤情况。此次研究发现, 快速组血液肌酸激酶值显著高于慢速组, 其中慢速组在第 1-5 天的值虽有增加, 但与前测值相比幅度不大, 但快速组在第 1-5 天一直呈现增加趋势, 且在第 5 天达到峰值, 血液肌酸激酶量达前测的 5.43 倍, 这一结果亦与 Chapman 等^[11]研究结果类似。从快速组及慢速组中血液肌酸激酶活性不难看到两者间的肌肉损伤程度, 慢速组血液肌酸激酶活性只有稍微增加, 很可能是肌肉细胞膜造成伤害很小, 因而肌肉功能回复较快。此次研究结果支持了肌肉损伤与收缩速度之间的关系。由于慢速组 (第 1 次收缩) 与快速组 (前 7 下峰值平均) 的平均肌力峰值 (前 4 s 肌肉紧张度) 皆在之后的每个时间点呈现显著下降趋势, 但快速组下降趋势比慢速组要高得多。这一点在动物实验研究中被证明。Willems 等^[8]使用 50 (°)/s 及 600 (°)/s 两种强度对大鼠踝关节背屈肌进行离心运动, 结果发现快速组经过多次反复离心收缩后最大等长肌力明显下降, 在运动过程中, 肌力峰值亦有明显下降。可见, 肌力峰值下降可能是由于负责兴奋-收缩偶联内膜系统及收缩性蛋白受到细微损伤, 且这大多发生于快速度离心运动中。

结论: ①在确保快速与慢速 2 组肌肉激活时间相同前提下, 快速组在进行最大等速离心训练后引起肌肉损伤程度比慢速组大得多, 这从肌肉酸痛程度、大腿围、膝关节活动范围、最大等长肌力、血液肌酸激酶、肌力峰值的变

化值上获得了验证,从而支持离心收缩速度与肌肉损伤之间的关系,即快速离心运动较容易引起肌肉损伤;②快、慢2种速度下的离心收缩所诱导出肌肉酸痛程度、大腿围、膝关节活动范围、最大等长肌力、血液肌酸激酶、肌力峰值等参数值及恢复时间节点上差异,很可能与“训练总量”有关,这暗示教练和选手在日常快速度离心训练时,应掌握肌肉损伤的发生率及时间点,同时针对“总量概念”设计出最佳的最大等速离心速度,从而不致造成严重的伤害又可获得最佳的肌力增长。

作者贡献: 第一作者刘震对本研究进行实验设计、数据处理及论文写作。教研室部分成员参与了对受试者测试过程。

经费支持: 该文章接受了“重庆市体育局项目(A201502)”的资助。所有作者声明,经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

机构伦理问题: 该研究方案经重庆应用技术职业学院的医学伦理委员会审核通过。

知情同意问题: 受试者均为自愿参加,均在充分了解试验方案的前提下签署了“知情同意书”。

文章查重: 文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。

文章外审: 文章经小同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章,根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享4.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

[1] Chen TC, Lin MJ, Lai JH, et al. Low-intensity elbow flexion eccentric contractions attenuate maximal eccentric exercise-induced muscle damage of the contralateral arm. *J Sci Med Sport*. 2018;21(10):1068-1072.

[2] Cheung K, Hume P, Maxwell L. Delayed onset muscle soreness: Treatment strategies and performance factors. *Sports Med*. 2003;33(2):145-164.

[3] Hedayatpour N, Izanloo Z, Falla D, Nosratollah Hedayatpour, Zahra Izanloo, Deborah Falla. The effect of eccentric exercise and delayed onset muscle soreness on the homologous muscle of the contralateral limb. *J Electromyogr Kinesiol*. 2018 ;41:154-159.

[4] Dabbs NC, Black CD, Garner JC. Effects of whole body vibration on muscle contractile properties in exercise induced muscle damaged females. *J Electromyogr Kinesiol*. 2016;30:119-125.

[5] Nasrabadi R, Izanloo Z, Sharifnezad A, et al. Muscle fiber conduction velocity of the vastus medialis and lateralis muscle after eccentric exercise induced-muscle damage. *J Electromyogr Kinesiol*. 2018;43:118-126.

[6] Paddon-Jones D, Keech A, Lonergan A, et al. Differential expression of muscle damage in humans following acute fast and slow velocity eccentric exercise. *J Sci Med Sport*. 2005;8(3):255-263.

[7] Azad M, Khaledi N, Hedayati M. Effect of acute and chronic eccentric exercise on FOXO1 mRNA expression as fiber type transition factor in rat skeletal muscles. *Gene*. 2016;584(2):180-184.

[8] Willems ME, Stauber WT. Force output during and following active stretches of rat plantar flexor muscles: Effect of velocity of ankle rotation. *J Biomech*. 2000;33(8):1035-1038.

[9] Willems ME, Stauber WT. Force deficits by stretches of activated muscles with constant or increasing velocity. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(4):667-672.

[10] von Werder SC, Disselhorst-Klug C. The role of biceps brachii and brachioradialis for the control of elbow flexion and extension movements. *J Electromyogr Kinesiol*. 2016;28:67-75.

[11] Chapman D, Newton M, Sacco P, et al. Greater muscle damage induced by fast versus slow velocity eccentric exercise. *Int J Sports Med*. 2006;27(8):591-598.

[12] Sampson JA, Donohoe A, Groeller H. Effect of concentric and eccentric velocity during heavy-load non-ballistic elbow flexion resistance exercise. *J Sci Med Sport*. 2014;17(3):306-311.

[13] Paddon-Jones D, Leveritt M, Lonergan A, et al. Adaptation to chronic eccentric exercise in humans: The influence of contraction velocity. *Eur J Appl Physiol*. 2001;85(5):466-471.

[14] Butterfield TA, Herzog W. Effect of altering starting length and activation timing of muscle on fiber strain and muscle damage. *J Appl Physiol* (1985). 2006;100(5):1489-1498.

[15] Haas C, Best TM, Wang Q, et al. In vivo passive mechanical properties of skeletal muscle improve with massage-like loading following eccentric exercise. *J Biomech*. 2012;45(15):2630-2636.

[16] Chapman DW, Newton M, McGuigan M, et al. Effect of lengthening contraction velocity on muscle damage of the elbow flexors. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40(5):926-933.

[17] Rockenfeller R, Günther M. Extracting low-velocity concentric and eccentric dynamic muscle properties from isometric contraction experiments. *Math Biosci*. 2016;278:77-93.

[18] Nogueira FR, Libardi CA, Nosaka K, et al. Comparison in responses to maximal eccentric exercise between elbow flexors and knee extensors of older adults. *J Sci Med Sport*. 2014;17(1):91-95.

[19] Chapman DW, Newton MJ, McGuigan MR, et al. Effect of slow-velocity lengthening contractions on muscle damage induced by fast-velocity lengthening contractions. *J Strength Cond Res*. 2011;25(1):211-219.

[20] Chen TC, Lin KY, Chen HL, et al. Comparison in eccentric-induced muscle damage among four limb muscles. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111(2):211-223.

[21] Jamurtas AZ, Theocharis V, Tofas T, et al. Comparison between leg and arm eccentric exercises of the same relative intensity on indices of muscle damage. *Eur J Appl Physiol*. 2005;95(2-3):179-185.

[22] Saka T, Akova B, Yazici Z, et al. Difference in the magnitude of muscle damage between elbow flexors and knee extensors eccentric exercises. *J Sports Sci Med*. 2009;8(1):107-115.

[23] Chen TC. Variability in muscle damage after eccentric exercise and the repeated bout effect. *Res Q Exerc Sport*. 2006;77(3):362-371.

[24] Bowers EJ, Morgan DL, Prosk U. Damage to the human quadriceps muscle from eccentric exercise and the training effect. *J Sports Sci*. 2004;22(11-12):1005-1014.

[25] Marek SM, Cramer JT, Fincher AL, et al. Acute Effects of Static and Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching on Muscle Strength and Power Output. *J Athl Train*. 2005;40(2):94-103.

[26] John R. Jakeman, Roger G. Eston. Joint angle-torque characteristics of the knee extensors following eccentric exercise-induced muscle damage in young, active women. *Journal of Exercise Science & Fitness*. 2013;11(1):50-56.

[27] Chen TC, Nosaka K. Effects of number of eccentric muscle actions on first and second bouts of eccentric exercise of the elbow flexors. *J Sci Med Sport*. 2006;9(1-2):57-66.

[28] Shepstone TN, Tang JE, Dallaire S, et al. Short-term high- vs. low-velocity isokinetic lengthening training results in greater hypertrophy of the elbow flexors in young men. *J Appl Physiol* (1985). 2005;98(5):1768-1776.

[29] 陈忠庆, 陈信良, 钟承融, 等. 不同肌力测验方式对评估离心运动引起肌肉损伤反应的比较[J]. 大专体育学刊, 2007, 9(2):117-129.

[30] Hunter AM, Galloway SD, Smith IJ, et al. Assessment of eccentric exercise-induced muscle damage of the elbow flexors by tensiomyography. *J Electromyogr Kinesiol*. 2012;22(3):334-341.

[31] Franz A, Behringer M, Nosaka K, et al. Mechanisms underpinning protection against eccentric exercise-induced muscle damage by ischemic preconditioning. *Med Hypotheses*. 2017;98:21-27.