



## 补充运动饮料可加速等动肌力峰力矩产生 Increased Rate of Peak Torque Development in Human Skeletal Muscle following Isokinetic Training with Sports Beverages

朱 荣,王守都  
ZHU Rong, WANG Shou-du

**摘要:**目的:探讨膝关节等动肌力训练时补充运动饮料对大腿肌肉收缩力的影响。方法:高校跆拳道男队员27人,随机分为4组:训练饮料组(TD组)7人,常规专项训练+每周3次等动训练与运动饮料补充;训练组(T组)6人,常规专项训练+每周3次等动训练与矿泉水摄取;饮料组(D组)7人,常规专项训练+每周3次运动饮料补充;对照组(C组)7人,常规专项训练+每周3次矿泉水摄取。实验10周,由6周训练和4周停训组成。等动训练内容包括(60°/s向心/向心收缩7次,180°/s向心/向心收缩18次,20°/s离心/离心收缩7次)×2组,组内间歇1 min,组间间歇3 min,最后再进行180°/s向心/向心收缩18次练习。其中,离心收缩强度在训练中前3周使用最大阻力矩的150%,后3周调整为220%,双腿都进行训练。运动饮料配成糖浓度为6%的溶液(肌酸0.1 g/kg体重、糖1.0 g/kg体重、蛋白0.4 g/kg体重),TD组在等动训练开始前0.5 h喝1/3,运动中每15 min补1次,每次150 ml,训练后将剩余喝完。T组等动训练时同样分时饮用总量为体重(kg)/6% ml矿泉水。在TD组或T组等动训练时,D组或C组也到实验室,饮用方法一样。在训练前、训练6周、停训4周测量优势腿大腿肌肉在膝关节处60°/s和180°/s尽力向心屈伸运动时最大力矩与完成时间,屈肌群(VL、RF、VM)、伸肌群(SE、BF)最大iEMG和完成时间,计算RFD和RER。结果:1)6周训练后,TD组60°/s用力屈膝时RFD、RER显著高于D组, $P<0.05$ ;TD组180°/s用力伸膝时RFD、RER显著高于T组、D组、C组, $P<0.05$ 。停训4周后,180°/s用力伸膝时,TD组RFD、RER仍显著高于T组、D组、C组, $P<0.05$ 。2)6周训练后,TD组60°/s用力屈膝时BF的RER显著高于D组, $P<0.05$ ;TD组180°/s用力伸膝时RF的RER显著高于T组、D组、C组, $P<0.05$ 。停训4周后,180°/s用力伸膝时,TD组VL的RER显著高于C组, $P<0.05$ ;TD组RF的RER显著高于T组、D组、C组, $P<0.05$ 。结论:运动员在等动肌力训练时,补充运动饮料可增强神经肌肉激活率,快速产生峰力矩,并能在停训后维持;其中,BF、RF、VL神经激活显著,提示,在肌力形成中占主要作用。

**关键词:**力的发展率;等动训练;运动饮料;膝关节;运动员

**Abstract:** Objective: The present study examined the effect of isokinetic training with sports beverages on the rate of peak torque development in athlete skeletal muscle during maximal muscle contraction. Methods: Twenty-seven taekwondo athletes in university were randomly divided into four groups, TD group ( $n=7$ ) with routine professional training and isokinetic exercise with sports beverages, T group ( $n=6$ ) with routine professional training and isokinetic exercise with water, D group ( $n=7$ ) with routine professional training and with beverages, C group ( $n=7$ ) with routine professional training and with water. Experimental session for 10 weeks, included training for 6 weeks and detraining 4 weeks. Subjects were asked to complete quadriceps and hamstring muscle isokinetic training in two legs, including 2 sets of 7 repetitions concentric contraction at 60°/s and 18 repetitions concentric contraction at 180°/s, and 7 repetitions eccentric contraction at 20°/s, then 18 repetitions concentric contraction at 180°/s, 1-min rest in set, 3-min rest interval set, 3 days a week. Moment of skeletal muscle eccentric contraction was 150% of the maximum moment of resistance in the first 3 weeks, and 220% in last 3 weeks. Sports beverages were carbohydrate solution (6% wt/vol) including creatine (0.1 g/kg weight), carbohydrate (1g/kg weight) and protein (0.4 g/kg weight). Drank 1/3 before isokinetic exercise, then 150 ml per 15 minutes until finishing exercise, the remaining solution was drunk up after finishing exercise in TD group and Dgroup. The volume of water was (kg weight)/6% ml. The maximum torque, iEMG and completion time were measured in predominant leg at 60°/s and 180°/s before training, after 6 weeks training and 4 weeks de-

training, calculated RFD and RER. Results: (1) RFD and RER of hamstring muscle increased in TD group than D group at  $60^{\circ}/s$  ( $P < 0.05$ ) after 6 weeks training. RFD and RER of quadriceps were higher in TD group than T, D, C groups at  $180^{\circ}/s$  ( $P < 0.05$ ) after 6 weeks training and 4 weeks detraining. (2) RER of BF increased in TD group than D group while flexing knee at  $60^{\circ}/s$  ( $P < 0.05$ ) after 6 weeks training. RER of VL increased in TD group than C group while extending knee at  $180^{\circ}/s$  ( $P < 0.05$ ) after 4 weeks detraining. RER of RF increased in TD group than T, D, C groups while extending knee at  $180^{\circ}/s$  ( $P < 0.05$ ) after 6 weeks training and 4 weeks detraining. Conclusion: The rate of force (or peak torque) development significantly increased after isokinetic training with sports beverages and detraining, which was associated with increased neuromuscular activity. And BF, RF, VL was suggested to be have a major role in muscle strength formation accounted for their neural activation significantly.

**Key words:** RFD; isokinetic training; sports beverages; knee joint; athlete

中图分类号: G804.6 文献标识码: A

肌力是运动系统在工作时克服或对抗阻力的能力<sup>[3]</sup>,其大小与肌肉横截面、神经肌肉募集、能源储备等因素有关。为提高肌力,锻炼者从事抗阻训练,通过神经肌肉刺激,加强蛋白质合成,增大肌肉体积,并提高神经肌肉募集和协调性,来改善收缩效果。当然,这种效果也会随训练的终止逐渐消失。例如,14周抗阻训练使铅球运动员最大蹲起力量增加22%~34%,但是4周停训后,却下降了4%~5%<sup>[39]</sup>。肌肉收缩带动肢体以关节为枢纽发生位移,借助等动仪可使肌肉在全关节活动范围内有相应的最大肌力产生<sup>[17]</sup>,这种优点使之在训练和康复中广泛应用。Andersen等<sup>[8]</sup>让13名不常运动的年轻人进行12周抗阻运动,发现快、慢速的离心和向心最大力矩明显增加,伴随增加的肌电值也与之有显著性相关。停训12周后,向心收缩最大力矩与肌电值下降,而离心收缩仍保持。不过,Blazevich等<sup>[16]</sup>发现,10周膝关节 $30^{\circ}/s$ 向心或离心收缩等动训练,在第5周时膝关节向心和离心峰力矩明显增加,股外侧肌肌束明显增长。

训练中较少关注达到峰力矩的时间,而实际上,一些运动项目产生力的时间很有限,无法实现最大肌肉力量,如跆拳道、拳击、足球和跳跃,其冲刺动作为50~250ms,其最大力量的出现通常需要300ms以上<sup>[38,40]</sup>。同样,为维持平衡或防止干扰而发生的快速姿势调整也是在最大力量产生之前。那么,快速产生尽可能大的力就显得非常重要。因此,将峰力矩与达到峰力矩时间的比值定义为力的发展率(rate of force development, RFD)<sup>[11]</sup>,它比单一的峰力矩更能反映动作完成的情况。Rich等<sup>[36]</sup>发现,抗阻离心训练可以增加肌力以及RFD,而向心练习影响肌力以及RFD的报道不一,这与神经、肌肉对向心、离心运动不同适应有关<sup>[43]</sup>。另有研究报道,慢速离心训练后RFD的提高同时发生收缩肌电活动的增强<sup>[13,15]</sup>,但也有报道变化不显著<sup>[31]</sup>,原因目前还不清楚。现实中,运动员和锻炼者在训练以及体能恢复或伤病康复练习时,肌肉收缩形式多样,混合多种方式进行力量训练(向心、离心、快速、慢速),这种混合训练对RFD的影响未见报道。

为了进一步提高力量,许多运动员、锻炼者训练中服

用增补剂。研究证实,锻炼期补充蛋白质可增加肌肉质量以及力量<sup>[26]</sup>;系统训练中食用肌酸,可提高运动员力量和爆发力<sup>[2]</sup>;而训练后补充糖,可减少蛋白质分解<sup>[23]</sup>;Cribb等<sup>[21]</sup>报道,补充肌酸(0.1g/kg/d)、糖和蛋白质(共1.5g/kg/d,糖:蛋白质=1:1)混合物饮料比单项补充效果更好。也有人发现,糖与肽比例为2:1的饮料可能有利于运动后机体恢复<sup>[4]</sup>。可见,补充一定比例的混合营养液能提高力量训练效果,目前,等动训练中补充运动饮料的研究鲜见报道,是否对RFD产生影响也不清楚。

综上,等动训练中需要了解:1)混合收缩形式的练习对肌肉RFD的影响;2)影响RFD变化的机制;3)补充含肌酸、糖、蛋白质的运动饮料是否会更好地发展RFD。这对人们健身、康复、训练很有帮助。因此,本研究利用等动训练仪进行6周快速、慢速、向心、离心收缩的肌力训练,同时补充混合饮料,观察训练后和4周停训后肌肉RFD、神经肌肉电活动的变化,以探讨运动饮料、等动训练对RFD的影响,为训练提供理论支撑。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

高校跆拳道男运动员28名,训练时间2~3年,运动员1年内无膝、踝关节伤病,无心血管等疾病,日常作息制度基本一致。实验开始前2周签订知情协议书,集中由一名教练指导训练,并记录1周的体力活动热能消耗和饮食情况,计算平均1天消耗热量,制定平衡膳食食谱。实验期间不喝除配制以外的任何饮料,统一在同一食堂就餐。实验前3天熟悉等动训练与测试程序,保存每个人的参

收稿日期:2015-02-16; 修订日期:2015-09-20

基金项目:国家体育总局重点研究领域课题(2012B060)。

作者简介:朱荣(1971-),女,四川成都人,教授,博士,硕士研究生导师,主要研究方向为运动与骨骼肌功能,E-mail:zhurong@wmu.edu.cn;王守都(1979-),男,浙江温州人,讲师,硕士,主要研究方向为科学训练理论与实践,E-mail:wsd@wmu.edu.cn。

作者单位:温州医科大学 体育科学学院,浙江 温州 325035

Wenzhou Medical University, Wenzhou 325035, China.

数。运动员随机分为 4 组:训练饮料组(TD 组),常规专项训练+每周 3 次等动训练和运动饮料补充;训练组(T 组),常规专项训练+每周 3 次等动训练与矿泉水摄取;饮

料组(D 组),常规专项训练+每周 3 次运动饮料补充;对照组(C 组),常规专项训练+每周 3 次矿泉水摄取。1 人因故无法坚持实验,最终完成人数为 27 人(表 1)。

表 1 本研究受试者基本情况一览表

Table 1 Characteristics of the Subjects

	TD 组(n=7)	T 组(n=6)	D 组(n=7)	C 组(n=7)
年龄(岁)	21.14±1.35	20.50±1.39	20.65±1.47	20.29±1.11
身高(cm)	172.57±6.55	172.83±6.49	172.25±6.32	171.86±3.48
体重(kg)	60.14±6.23	62.17±10.32	61.49±7.15	62.14±7.82
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	20.14±0.94	20.73±2.47	20.48±2.52	21.02±2.47
能量消耗(kcal/d)	3 441.43±292.95	3 420.29±249.73	3 385.71±270.15	3 413.00±284.11

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 实验设计

实验为 10 周(2012 年 5~7 月,在温州医科大学完成,2013 年 5~7 月验证和补充实验),包括 6 周常规专项训练和/或膝关节等动肌力训练以及 4 周停止训练。停训期间日常生活、饮食与训练期间一致,但是无专项训练和等动训练,无剧烈活动。研究方案经温州医科大学伦理委员会批准。

运动员专项训练指定同一教练带领,时间为周一、周三、周五下午 4:30~6:00,运动方式和强度安排近一致。等动肌力训练时间为周二、周四、周六(或周日)下午 4:00~6:30,没有进行等动肌力训练者自由活动。

等动训练(ISOMED2000, German)为最大用力屈伸膝关节,双腿分别都进行角速度为 60°/s 7 次和 180°/s 18 次的向心/向心、20°/s 7 次的离心/离心收缩训练模式,共 2 组,组内间歇 1 min,组间间歇 3 min,最后再进行 1 次 180°/s 向心/向心收缩 18 次。离心训练阻力矩在训练前 3 周使用训练前最大静力阻力矩的 150% 进行训练,后 3 周调整为 220%。训练均给予口头鼓励和视觉反馈效果,以达到本人最大限度。

饮料配制:肌酸 0.1 g/kg 体重,糖、蛋白比例约 2:1 (1.0 g/kg 体重、0.4 g/kg 体重),配成糖浓度为 6%ml 的溶液<sup>[10]</sup>。TD 组在等动训练开始前 0.5 h 喝 1/3,运动中每 15 min 补 1 次,每次 150 ml,训练后将剩余喝完。T 组等动训练时也同时分时段饮用总量为体重(kg)/6% ml 矿泉水。在 TD 组或 T 组等动训练时,D 组或 C 组也到实验室,饮用方法一样。

### 1.2.2 指标测试

训练前、训练 6 周(最后 1 次训练后第 3 天)、停训 4 周,测量运动员肌力、肌生物电。

肌力测试:热身 5 min 后,坐在等动仪座椅上,上身固定,躯干和大腿呈 95°,运动轴对齐膝关节屈伸轴,杠杆臂固定在踝上的小腿,腿部水平位放松以消除腿对杠杆臂的重力作用。确定膝关节 0°(为完全伸展)和 90°,设置关节活动范围 80°(90°~10°)。然后在等动仪上用优势腿以

60°/s(连续 5 次)、180°/s(连续 15 次)最大用力向心屈伸膝关节<sup>[35]</sup>,测量屈伸肌群峰力矩、达到峰力矩时间,RFD 的计算参考 Oliveira 的方法<sup>[32]</sup>。测试时给予口头鼓励和视觉反馈效果,以达到本人最大限度。

肌肉生物电测试:使用 10 通道表面肌电仪(Thought SA7550, Canada)测量受试者股四头肌和腓绳肌屈伸膝关节时表面肌电信号。1 通道,股外侧肌(vastus lateralis, VL);2 通道,股直肌(rectus femoris, RF);3 通道,股内侧肌(vastus medialis, VM);4 通道,半腱肌(semi-tendinosus, SE);5 通道,股二头肌(biceps femoris, BF)。

剃除电极安放位置及其附近皮肤的汗毛,并用酒精棉球擦拭以去除皮肤表面的油污和角质层。然后使用一次性银/氯化银电极片贴在肌腹正中部,电极直径为 10 mm,两电极中心相距约 25 mm,最后用弹力绷带固定电极片,并记下所贴位置,拍照,以便以后重复测试。电极与前置微分放大器相连,频率 2 048 Hz, sEMG 信号经数字化,储存于电脑。原始肌电信号高通滤波 20 Hz,低通滤波 500 Hz,全波整流、平滑。电脑自带软件分析肌电数据,得到积分肌电值(integral electromyographic, iEMG)。每次测试时确定这些参数:1)到达最大峰力矩的 iEMG 和时间,计算最大  $\Delta iEMG/time$ ,即 iEMG 升高率(rate of EMG rise, RER),代表神经肌肉激活率;2)VL、RF、VM 的 RER 总和代表伸肌肌群的 RER,SE、BF 的 RER 总和代表屈肌肌群的 RER。

### 1.2.3 数据处理

为减少组间差异,肌力矩、RFD 以体重比值来表示,即相对力矩值、相对 RFD<sup>[30]</sup>。所有数据采用 SPSS 18.0 统计,数据符合正态分布方差齐性,并进行双因素分析,观察饮料、等动训练以及饮料×训练因素在各肌肉群 RFD、RER 上的效应。经独立样本 t 检验 LSD 分析各组间均值差异,经重复测量方差分析各组内不同时间均值的差异,数据以  $\bar{X} \pm SD$  表示,  $P < 0.05$  为显著性差异,  $P < 0.01$  为非常显著性差异。

## 2 结果

2.1 补充饮料、等动训练对运动员最大用力屈伸膝关节时大腿肌肉 RFD 的影响

表 2 显示,补充运动饮料、等动训练对 60°/s 屈膝和 180°/s 伸膝的 RFD 都有显著性影响( $P < 0.05$ ),另外,运动饮料、等动训练在 180°/s 伸膝 RFD 上有显著性交互作用( $P < 0.05$ )。LSD 法进行均值多重比较,发现 6 周训练后,TD 组 60°/s 用力屈膝时 RFD( $8.49 \pm 3.47$  Nm/s/kg w)显著高于 D 组( $5.02 \pm 1.41$  Nm/s/kg w), $P < 0.05$ ;TD 组 180°/s 用力伸膝时 RFD( $29.29 \pm 9.70$  Nm/s/kg w)显著高于 T 组( $18.87 \pm 6.05$  Nm/s/kg w)、D 组( $17.72 \pm 5.60$  Nm/s/kg w)、C 组( $16.50 \pm 3.54$  Nm/s/kg w), $P < 0.05$ 。停训 4 周后,180°/s 用力伸膝时,TD 组 RFD( $28.65 \pm 8.29$  Nm/s/kg w)仍显著高于 T 组( $19.50 \pm 4.67$  Nm/s/kg w, $P < 0.05$ )、D 组( $16.48 \pm 6.24$  Nm/s/kg w, $P < 0.01$ )、C 组( $14.59 \pm 2.96$  Nm/s/kg w, $P < 0.01$ ,图 1~图 4)

同组内重复测量方差分析发现,6 周训练后,60°/s 最大用力屈膝时,TD 组和 D 组 RFD 都非常显著高于训练前(TD 组: $4.15 \pm 0.66$  Nm/s/kg w;D 组: $3.56 \pm 0.90$  Nm/s/kg w), $P < 0.01$ ;180°/s 最大用力屈膝时,TD 组、D 组和 C 组 RFD 都显著高于训练前(TD 组:6 周训练后  $13.92 \pm 4.37$  Nm/s/kg w,训练前  $10.25 \pm 3.63$  Nm/s/kg w, $P < 0.05$ ;D 组:6 周训练后  $12.77 \pm 2.81$  Nm/s/kg w,训练前  $8.42 \pm 2.53$  Nm/s/kg w, $P < 0.05$ ;C 组:6 周训练后  $13.26 \pm 3.51$  Nm/s/kg w,训练前  $8.07 \pm 2.86$  Nm/s/kg w, $P < 0.05$ );180°/s 最大用力伸膝时,TD 组、T 组、D 组、C 组 RFD 都显著高于训练前(TD 组: $14.42 \pm 4.03$  Nm/s/kg w, $P < 0.01$ ;T 组: $11.76 \pm 2.48$  Nm/s/kg w, $P < 0.05$ ;D 组: $3.59 \pm 3.84$  Nm/s/kg w, $P < 0.05$ ;C 组: $12.82 \pm 1.58$  Nm/s/kg w, $P < 0.05$ )。停训 4 周后,60°/s 最大用力伸膝时,C 组 RFD 显著低于 6 周训练后, $P < 0.05$ ;180°/s 最大用力屈膝时,C 组 RFD 显著低于 6 周训练后, $P < 0.05$ ;180°/s 最大用力伸膝时,C 组 RFD 显著低于 6 周训练后, $P < 0.05$ ;TD 组和 T 组 RFD 仍高于训练前, $P < 0.01$ ,图 1~图 4)。

表 2 本研究补充饮料和等动训练对大腿肌群 RFD 影响的双因素方差分析结果一览表

Table 2 Two-factor Analysis of Variance of RFD of Knee Flexor and Extensor for Beverages Supplement and Isokinetic Training

		60°/s 屈	60°/s 伸	180°/s 屈	180°/s 伸
饮料	F	4.82	0.71	2.68	9.05
	P	0.031	0.402	0.106	0.004
训练	F	8.54	0.17	0.70	12.52
	P	0.005	0.683	0.406	0.001
饮料*训练	F	0.26	1.66	2.59	4.12
	P	0.613	0.201	0.112	0.046

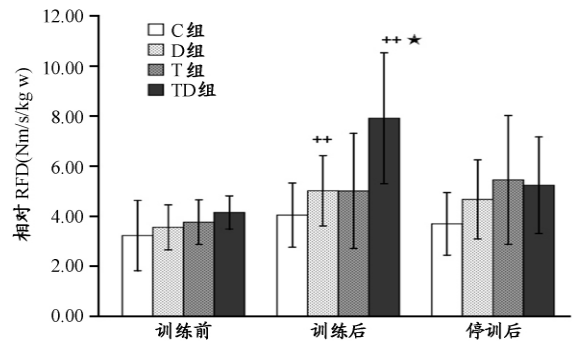


图 1 本研究运动员 60°/s 最大用力屈伸膝关节时大腿屈肌 RFD 的变化柱状图  
Figure 1. Changes of RFD of Knee Flexor of Thigh in Isokinetic Exercise at 60°/s

注:同时间,与饮料组比较,★  $P < 0.05$ 。同组内,与训练前比较,++  $P < 0.01$ 。

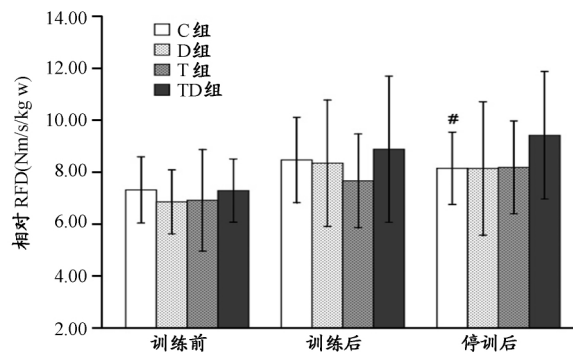


图 2 本研究运动员 60°/s 最大用力屈伸膝关节时大腿伸肌 RFD 的变化柱状图  
Figure 2. Changes of RFD of Knee Extensor of Thigh in Isokinetic Exercise at 60°/s

注:同组内,与训练后比较,#  $P < 0.05$ 。

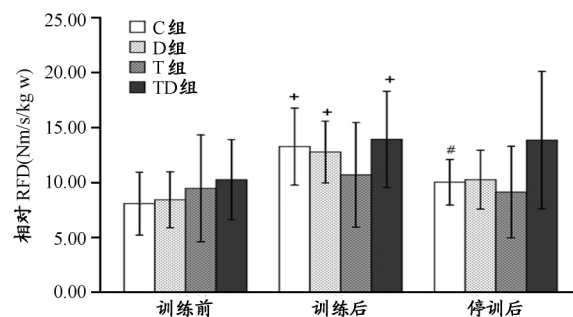


图 3 本研究运动员 180°/s 最大用力屈伸膝关节时大腿屈肌 RFD 的变化柱状图  
Figure 3. Changes of RFD of Knee Flexor of Thigh in Isokinetic Exercise at 180°/s

注:同组内,与训练前比较,+  $P < 0.05$ ;与训练后比较,#  $P < 0.05$ 。

2.2 补充饮料、等动训练对运动员最大用力屈伸膝关节时大腿屈伸肌群 RER 的影响

表 3 双因素方差分析结果表明,补充运动饮料对 180°/s 大腿伸膝肌群 RER 有非常显著性影响( $P < 0.01$ ),等动训练对 60°/s 大腿屈膝肌群和 180°/s 伸膝的 RER 有显著性影响( $P < 0.01$ ),运动饮料、等动训练在 180°/s 伸

膝 RFD 上有显著性交互作用 ( $P < 0.01$ )。LSD 法进行均值多重比较,发现 6 周训练后,TD 组  $60^\circ/s$  用力屈膝时大腿屈膝肌群 RER ( $2.80 \pm 0.91$  mV) 显著高于 D 组 ( $1.85 \pm 0.57$  mV),  $P < 0.05$ ; TD 组  $180^\circ/s$  用力伸膝时大腿伸膝肌群 RER ( $10.47 \pm 3.43$  mV) 显著高于 T 组 ( $6.99 \pm 1.26$  mV)、D 组 ( $6.90 \pm 1.22$  mV)、C 组 ( $7.04 \pm 1.91$  mV),  $P < 0.05$ 。停训 4 周后,TD 组  $180^\circ/s$  用力伸膝时大腿伸膝肌群 RER ( $9.87 \pm 2.42$  mV) 仍显著高于 T 组 ( $6.34 \pm 1.61$  mV)、D 组 ( $6.70 \pm 1.26$  mV)、C 组 ( $6.91 \pm 2.19$  mV),  $P < 0.05$  (图 5、图 6)。

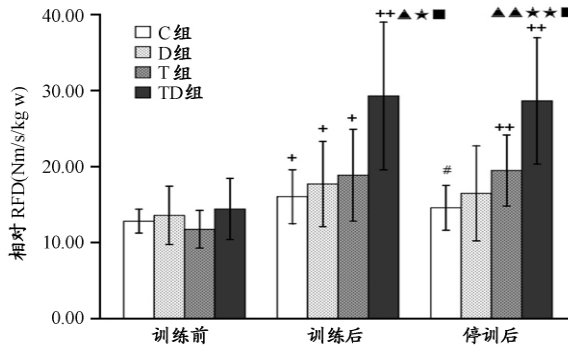


图 4 本研究运动员  $180^\circ/s$  最大用力屈伸膝关节时大腿伸肌 RFD 的变化柱状图  
Figure 4. Changes of RFD of Knee Extensor of Thigh in Isokinetic Exercise at  $180^\circ/s$

注:同时间,与对照组比较,▲  $P < 0.05$ ,▲▲  $P < 0.01$ ;与饮料组比较,★  $P < 0.05$ ,★★  $P < 0.01$ ;与训练组比较,■  $P < 0.05$ 。同组内,与训练前比较,+  $P < 0.05$ ,++  $P < 0.01$ ;与训练后比较,#  $P < 0.05$ 。

表 3 本研究补充饮料和等动训练对大腿肌群 RER 影响的双因素方差分析结果一览表  
Table 3 Two-factor Analysis of Variance of RER of Knee Flexor and Extensor for Beverages Supplement and Isokinetic Training

		60°/s 屈肌群	60°/s 伸肌群	180°/s 屈肌群	180°/s 伸肌群
饮料	F	0.61	1.62	0.52	7.93
	P	0.436	0.207	0.474	0.006
训练	F	4.24	3.00	1.97	6.01
	P	0.043	0.087	0.164	0.017
饮料 * 训练	F	0.00	1.12	1.21	8.03
	P	0.952	0.292	0.275	0.006

同组内重复测量方差分析,6 周训练后, $60^\circ/s$  最大用力屈膝时,TD 组屈膝肌群 RER 显著高于训练前 ( $1.47 \pm 0.34$  mV),  $P < 0.05$ ;  $180^\circ/s$  最大用力伸膝时,TD 组伸膝肌群 RER 显著高于训练前 ( $6.57 \pm 2.72$  mV),  $P < 0.05$ 。停训 4 周后,  $60^\circ/s$  最大用力屈膝时,T 组屈膝肌群 RER ( $2.33 \pm 1.12$  mV) 显著高于训练前 ( $1.1 \pm 0.43$  mV,  $P < 0.05$ ),TD 组伸膝肌群 RER ( $4.06 \pm 1.14$  mV) 显著高于训练前 ( $3.31 \pm 0.75$  mV,  $P < 0.05$ );  $180^\circ/s$  最大用力屈膝时,D 组屈肌群 RER ( $2.68 \pm$

$0.75$  mV) 显著低于 6 周训练后 ( $3.71 \pm 1.33$  mV),  $P < 0.05$ ;  $180^\circ/s$  最大用力伸膝时,TD 组伸膝肌群 RER 非常显著高于训练前,  $P < 0.01$  (图 5、图 6)。

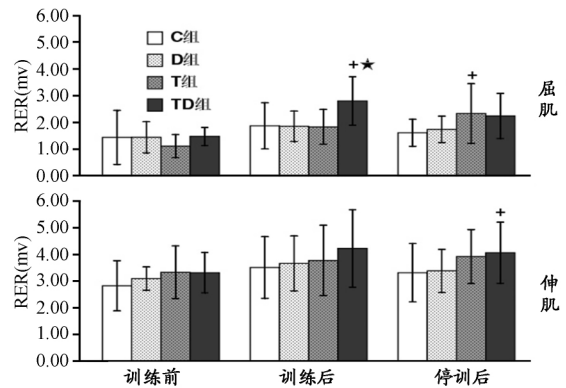


图 5 本研究运动员  $60^\circ/s$  最大用力屈伸膝关节时大腿屈伸肌群 RER 变化柱状图  
Figure 5. Changes of RER of Knee Flexor and Extensor of Thigh in Isokinetic Exercise at  $60^\circ/s$

注:同时间,与饮料组比较,★  $P < 0.05$ 。同组内,与训练前比较,+  $P < 0.05$ 。

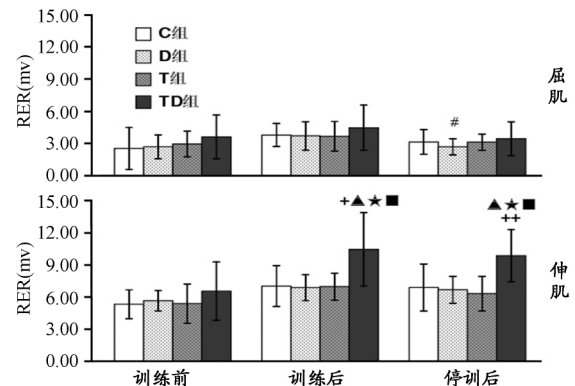


图 6 本研究运动员  $180^\circ/s$  最大用力屈伸膝关节时大腿屈伸肌群 RER 变化柱状图  
Figure 6. Changes of RER of Knee Flexor and Extensor of Thigh in Isokinetic Exercise at  $180^\circ/s$

注:同时间,与对照组比较,▲  $P < 0.05$ ;与饮料组比较,★  $P < 0.05$ ;与训练组比较,■  $P < 0.05$ 。同组内,与训练前比较,+  $P < 0.05$ ,++  $P < 0.01$ ;与训练后比较,#  $P < 0.05$ 。

### 2.3 补充饮料、等动训练对运动员最大用力屈伸膝关节时大腿主要肌肉 RER 的影响

表 4 双因素方差分析结果表明,补充运动饮料对  $180^\circ/s$  用力屈伸膝关节时 VL、RF 的 RER 有非常显著性影响 ( $P < 0.01$ ),等动训练对  $60^\circ/s$  用力屈伸膝关节时 BF 的 RER ( $P < 0.01$ ) 和  $180^\circ/s$  用力屈伸膝关节时 VL 的 RER ( $P < 0.05$ )、RF 的 RER ( $P < 0.01$ ) 有显著性影响。运动饮料和等动训练在  $180^\circ/s$  用力屈伸膝时 VL 和 RF 的 RER 有非常显著性的交互作用,  $P < 0.01$ 。LSD 法进行均值多重比较,发现 6 周训练后,TD 组  $60^\circ/s$  用力屈膝时 BF 的 RER ( $1.52 \pm 0.64$  mV) 显著高于 D 组 ( $0.87 \pm 0.21$  mV),  $P < 0.05$ ; TD 组  $180^\circ/s$  用力屈伸膝

时 RF 的 RER ( $3.54 \pm 1.28$  mV) 显著高于 T 组 ( $2.07 \pm 0.70$  mV)、D 组 ( $1.95 \pm 0.30$  mV)、C 组 ( $1.95 \pm 0.54$  mV),  $P < 0.05$ 。停训 4 周后,  $180^\circ/\text{s}$  用力屈伸膝时, TD 组 VL 的 RER ( $3.61 \pm 1.28$  mV) 显著高于 C 组 ( $2.38 \pm 0.60$  mV),  $P < 0.05$ ; TD 组 RF 的 RER ( $3.52 \pm 1.33$  mV) 显著高于 T 组 ( $1.85 \pm 0.56$  mV)、D 组 ( $1.94 \pm 0.36$  mV)、C 组 ( $2.06 \pm 0.61$  mV),  $P < 0.05$  (图 7、图 8)。

同组内重复测量方差分析, 6 周训练后,  $60^\circ/\text{s}$  最大用力屈伸膝关节时, TD 组 SE、BF 的 RER 显著高于训练前 (SE: 6 周训练后  $1.28 \pm 0.44$  mV, 训练前  $0.68 \pm 0.18$  mV,  $P < 0.05$ ; BF: 6 周训练后  $1.52 \pm 0.64$  mV, 训练前  $0.79 \pm 0.28$  mV,  $P < 0.05$ ), T 组 BF 的 RER 非常显著高于训练前 (6 周训练后  $0.98 \pm 0.23$  mV, 训练前  $0.52 \pm 0.24$  mV,  $P < 0.01$ ), D 组 VM 的 RER 显著高于训练前 (6 周训练后  $1.22 \pm 0.51$  mV, 训练前  $0.78 \pm 0.14$  mV,  $P < 0.05$ );  $180^\circ/\text{s}$  最大用力屈伸膝关节时, TD 组 RF、VM 的 RER 显著高于训练前 (RF: 6 周训练后  $3.54 \pm 1.28$  mV, 训练前  $2.41 \pm 1.12$  mV,  $P < 0.05$ ; VM: 6 周训练

后  $3.06 \pm 1.30$  mV, 训练前  $1.53 \pm 0.47$  mV,  $P < 0.05$ ), T 组、D 组、C 组的 VM 显著高于训练前 (T 组: 6 周训练后  $2.69 \pm 0.63$  mV, 训练前  $1.76 \pm 0.65$  mV,  $P < 0.05$ ; D 组: 6 周训练后  $2.67 \pm 0.85$  mV, 训练前  $1.60 \pm 0.23$  mV,  $P < 0.05$ ; C 组: 6 周训练后  $2.78 \pm 1.14$  mV, 训练前  $1.54 \pm 0.39$  mV,  $P < 0.05$ )。停训 4 周后,  $60^\circ/\text{s}$  最大用力屈伸膝关节时, TD 组 VM 的 RER 非常显著高于训练前 (停训后  $1.22 \pm 0.38$  mV, 训练前  $0.69 \pm 0.13$  mV,  $P < 0.01$ ), SE 的 RER 显著性低于 6 周训练后 (停训后  $0.96 \pm 0.51$  mV, 6 周训练后  $1.28 \pm 0.44$  mV,  $P < 0.05$ ), D 组的 VM 显著高于训练前 (停训后  $1.04 \pm 0.21$  mV, 训练前  $0.78 \pm 0.14$  mV,  $P < 0.05$ );  $180^\circ/\text{s}$  最大用力屈伸膝关节时, TD 组 RF 和 VM 的 RER 显著高于训练前 (RF: 停训后  $3.52 \pm 1.33$  mV, 训练前  $2.41 \pm 1.12$  mV,  $P < 0.05$ ; VM: 停训后  $2.75 \pm 0.83$  mV, 训练前  $1.53 \pm 0.47$  mV,  $P < 0.01$ ), D 组 SE 的 RER 显著低于 6 周训练后 (停训后  $1.23 \pm 0.40$  mV, 6 周训练后  $1.88 \pm 0.72$  mV,  $P < 0.05$ ) (图 7、图 8)。

表 4 本研究补充饮料和等动训练对大腿主要肌肉 RER 影响的双因素方差分析结果一览表

Table 4 Two-factor Analysis of Variance of RER of Major Muscles of Thigh for Beverages Supplement and Isokinetic Training

	$60^\circ/\text{s}$					$180^\circ/\text{s}$				
	VL	RF	VM	SE	BF	VL	RF	VM	SE	BF
饮料	0.20	2.90	0.68	1.04	2.69	7.35	12.29	0.13	0.01	1.61
	0.653	0.093	0.413	0.310	0.105	0.008	0.001	0.721	0.938	0.209
训练	0.99	2.85	2.94	0.64	6.97	4.89	9.09	0.25	0.91	2.59
	0.323	0.095	0.090	0.427	0.010	0.030	0.003	0.615	0.344	0.111
饮料 * 训练	0.00	1.23	1.80	0.54	0.57	6.35	10.84	0.64	0.50	1.71
	0.982	0.270	0.184	0.465	0.453	0.014	0.002	0.427	0.484	0.195

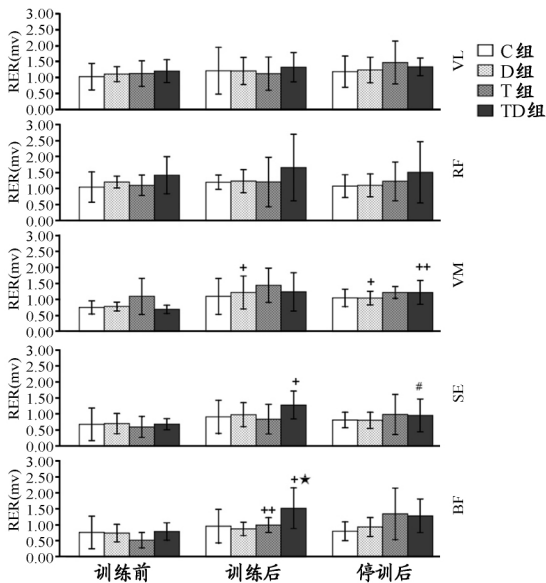


图 7 本研究运动员  $60^\circ/\text{s}$  最大用力屈伸膝关节时大腿主要肌肉 RER 变化示意图  
Figure 7. Changes of RER of Major Muscles of Thigh in Knee Isokinetic Exercise at  $60^\circ/\text{s}$

注: 同时间, 与饮料组比较,  $\star P < 0.05$ 。同组内, 与训练前比较,  $+ P < 0.05$ ,  $++ P < 0.01$ ; 与训练后比较,  $\# P < 0.05$ 。

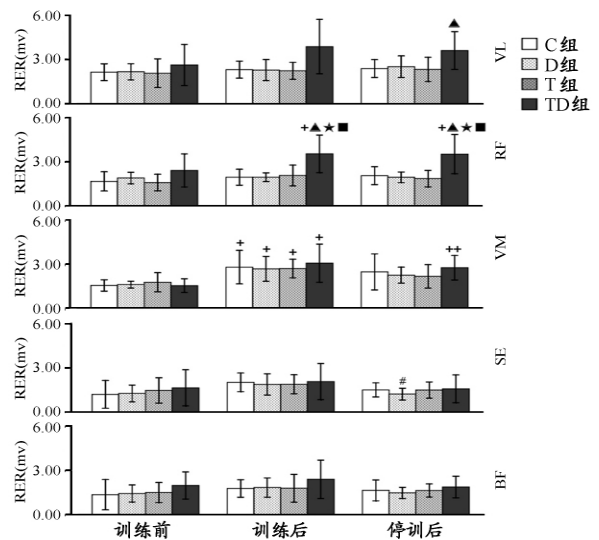


图 8 本研究运动员  $180^\circ/\text{s}$  最大用力屈伸膝关节时大腿主要肌肉 RER 变化示意图  
Figure 8. Changes of RER of Major Muscles of Thigh in Knee Isokinetic Exercise at  $180^\circ/\text{s}$

注: 同时间, 与对照组比较,  $\blacktriangle P < 0.05$ ; 与饮料组比较,  $\star P < 0.05$ ; 与训练组比较,  $\blacksquare P < 0.05$ 。同组内, 与训练前比较,  $+ P < 0.05$ ,  $++ P < 0.01$ ; 与训练后比较,  $\# P < 0.05$ 。

## 3 讨论

力量素质是人体运动素质的重要部分,常用测功仪测试肌力,用等动肌力仪测量力矩。同时,RFD( $\Delta$ force/ $\Delta$ time,或 $\Delta$ moment/ $\Delta$ time),即力的产生率,体现了肌肉收缩的强度,是抗阻练习的重要特性。许多研究报告,力量训练可导致肌肉 RFD 增加<sup>[7]</sup>。经典的 RFD 测试是选定肌肉等长收缩的状态,但对快速单个或周期性运动(如跑、跳等)的评估不适用<sup>[27]</sup>,不仅持续时间长,易产生疲劳,还可使肌力弱者或老年人产生痛苦<sup>[47]</sup>。最近研究表明,拮抗肌交替持续收缩的 RFD 比经典的只测单一肌肉持续收缩的 RFD 更有优越性,因其简单、无疲劳,能测量两个拮抗肌的力量特性,并且还能暴露出肌肉和关节组织相对低和短暂的力量<sup>[34]</sup>,特别是一些测试中需要发挥膝关节屈伸时交替肌肉最大收缩(如跑、走、自行车)<sup>[18]</sup>。但他们的测试也只有一个关节角度做拮抗肌交替等长收缩,对于在不同的角度或不同肌肉长度时产生最大力矩时仍不适用。为使 RFD 评价更切合实际,Oliveira 等<sup>[32]</sup>直接用 $60^\circ/\text{s}$ 最大用力时产生的峰力矩/到达峰力矩的时间表示为 RFD,Markus 等<sup>[30]</sup>也直接用垂直跳跃力量/时间来表示下肢弹跳 RFD。这为本研究提供了依据。

计算 $60^\circ/\text{s}$ 、 $180^\circ/\text{s}$ 两种速度下产生的最大力矩与到达时间比值,即肌肉收缩的 RFD,发现等动训练可显著提高 $60^\circ/\text{s}$ 屈膝和 $180^\circ/\text{s}$ 伸膝的 RFD,补充饮料可显著提高 $180^\circ/\text{s}$ 伸膝的 RFD,两者在 $180^\circ/\text{s}$ 伸膝 RFD 的提高上共同发挥作用。从组别看,TD 组 $180^\circ/\text{s}$ 伸膝时 RFD 都较其他组高,可见,等动肌力训练时补充运动饮料可更显著加强 RFD,即加快峰力矩的产生,使之在有限时间内达到更大力矩。Cribb 等<sup>[21]</sup>认为,蛋白质、糖与肌酸混合摄入,要比只服用蛋白质、糖混合物或者单独蛋白质更能增加 1 RM 力量以及肌肉体积。因为尽管蛋白质是肌肉收缩的基本物质,糖是维持任何运动的主要能量来源,但作为供能物质磷酸肌酸的原材料——肌酸,却还有更多作用。研究表明,补充肌酸不仅能促进肌肉高强度收缩时磷酸肌酸合成,加强高能磷酸在线粒体与细胞质中穿梭,提高 ATP 再合成率,还能刺激收缩蛋白的合成<sup>[46]</sup>。肌酸可能通过影响相关生长因子,如胰岛素样生长因子-1,来促进卫星细胞的有丝分裂和肌核的增加,上调生肌调节因子,加强肌肉蛋白的合成<sup>[22,33]</sup>。而肌肉的肥大,又可增加肌酸在肌肉的贮存,形成良性循环。有研究表明,肌酸选择性让 I、IIa、IIx 型肌纤维肥大,使慢肌纤维中肌酸、糖贮存更多<sup>[44]</sup>。肌肉等动收缩时,向心收缩最大力矩随速度升高而降低,因为低速收缩时募集更多肌纤维(I 型、IIa 型和 IIb 型),随着速度升高,逐渐以 IIb 型为主<sup>[5]</sup>。所以,补充肌酸能增加等动向心肌力矩。但另有研究表明,补充肌酸可提高肌浆网膜上的 $\text{Ca}^{2+}$ -ATP 酶活性,缩短回收 $\text{Ca}^{2+}$ 的时间,减少肌肉收缩的舒张时间,特别是慢肌纤维<sup>[41]</sup>。本研究中最大肌

力训练和测试是实施连续多次动力性的抗阻运动,因此,前次收缩的快速恢复对下一次收缩的速率有很大影响。由于舒张时间的缩短可提高单位时间内肌球蛋白和肌动蛋白滑动的次数,从而快速达到最大力矩。似乎肌酸的补充更倾向于慢肌纤维得到发展,但整个肌肉的力量以及 RFD 是由慢、快肌纤维收缩共同表现出来的。若慢肌肌力增加,收缩速率加快,无疑让整体肌肉功能更加协调。一些研究还发现,膝关节等动肌力训练后,屈肌峰力矩的增长要显著大于伸肌,认为可能是传统训练的模式没有足够的训练到屈肌<sup>[1]</sup>,但没有谈到 RFD 指标。不管怎样,本研究中由于补充了运动饮料, $180^\circ/\text{s}$ 伸膝 RFD 高于其他组。

已经证实,等动肌力训练可以增加峰力矩和 RFD<sup>[17]</sup>。但遗憾的是本研究没有发现 T 组 RFD 较其他组明显增长,甚至还有降低的趋势。可能与实验设计有关,他们仅让受试者进行等动练习,而本研究受试者是运动员,平时还有专项训练。猜测 T 组日常训练与等动训练叠加,使得运动负荷过大,肌肉功能不能充分恢复。而 TD 组由于摄取运动饮料(含糖、蛋白质、肌酸),能补充消耗的物质,快速消除疲劳,恢复肌肉功能,顺利进行下一次训练,且得到良性循环。有研究将 RFD 分成 $0\sim 30\text{ s}$ 、 $30\sim 60\text{ s}$ 、 $60\sim 90\text{ s}$ 等时段进行分析,发现收缩初期(100 ms 内)RFD 的增加与肌肉激活率的增加有关<sup>[37]</sup>,而收缩后期 RFD 的增长与最大力量程度有关<sup>[9]</sup>。可见,对肌肉收缩不同时间段 RFD 的评估有不同的意义。尽管本文只是做总的比较,但已经能看到补充饮料使 $180^\circ/\text{s}$ 等动向心伸膝比其他方式能更快产生力矩。

抗阻训练中,神经肌肉的适应性对提高力量是非常重要的。因为早前的研究发现,肌肉力量的变化早于其体积的变化<sup>[24]</sup>,力量的增长与练习方式有关,以及“左右迁移”<sup>[28]</sup>,即一侧肢体进行力量训练,另一侧未训练肢体的力量也会提高,提示了神经机制在力量增长上起到重要作用。总结前人的研究,神经系统可能发生适应性变化的部位在脊髓和神经肌肉接头处。脊髓部位,脊髓中间神经元通路的有效连接可增强同部位运动神经元联系,降低对抗肌的拮抗;神经肌肉接头部位,神经冲动的增强可以激活较高水平的肌肉,其电活动可以通过表面电极收集,记录为肌电图(electromyogram, EMG)。当然,持续训练还可通过反射、运动神经元高度易化反过来进一步加强运动神经元的兴奋性。研究发现,最大积分肌电值(integrated EMG, iEMG)增加,表明运动神经元募集运动单位增多,间接反映收缩力量的增长<sup>[25]</sup>。另一些研究认为,肌肉放电信号的大小,与运动过程中动员快、慢肌纤维比例密切相关。随着运动强度增加,快肌纤维动员比例也逐渐提高,放电量也增大<sup>[42]</sup>。iEMG 是一定时间内肌肉中参与活动的运动单位放电总量,与收缩力量大小相关。不过, $\Delta$ iEMG/ $\Delta$ time(肌电的升高率,rate of EMG rise, RER)表示的神经

肌肉激活率,可以体现力量增长的效率<sup>[6]</sup>。Aagaard 等<sup>[23]</sup>发现,未受过训练的人进行 14 周大强度力量训练后,股四头肌表面肌电值升高,提示,股四头肌激活显著增强。Barry 等<sup>[13]</sup>发现,4 周抗阻训练后,上臂屈肌群 RFD 与肌肉激活率同时提高。Balso 等<sup>[12]</sup>也证实,4 周趾屈等长收缩训练后,趾屈肌 RFD 与肌肉激活率密切关联。当然也有研究发现,EMG 的增加带动作形式的特殊性<sup>[38]</sup>,还有其他研究发现 EMG 没变化<sup>[19]</sup>。造成不同的结果可能源于受试者不同、反复测量时位置的变化有关。消除这种因素可以通过对一块肌肉的几个不同点所记录的 EMG 的值进行平均来削减<sup>[20]</sup>。Hakkinen 等<sup>[24]</sup>利用股外侧肌和股中间肌的 iEMG 信号总和,观察到受试者最大等长收缩时 iEMG 的增长与训练程度一致。

本研究也将股四头肌中 VL、RF、VM 的 RER 总和起来,表示伸膝肌群的 RER,将大腿后侧 SE、BF 的 RER 总和表示屈膝肌群的 RER。发现补充饮料对 180°/s 大腿伸膝肌群 RER 有非常显著性影响,等动训练对 60°/s 大腿屈膝肌群和 180°/s 伸膝的 RER 有显著性影响,运动饮料和等动训练在 180°/s 伸膝 RER 上有显著性交互作用,这与 RFD 的结果一致。而且,6 周训练后,4 周停训后,TD 组 180°/s 伸膝时 RER 也都高于其他组。可以看出,TD 组 RFD 与 RER 的变化一致,提示,等动训练中补充运动饮料对肌力增长和神经肌肉激活率提高都有帮助。Kyröläinen 等<sup>[29]</sup>认为,肌力增长、神经肌肉激活率提高与 II 型肌纤维横截面积增加,运动单位募集增多,运动单位发放频率增加,以及同步化有关。研究中没有发现 T 组 RER 较其他组出现明显增长,甚至某些角速度下的 RER 还有低于其他组的趋势。由于相同时间内肌肉 iEMG 大小和其用力呈高度正相关<sup>[14]</sup>,当最大用力时 iEMG 和力都降低可能与疲劳有关,所以推测 T 组的运动负荷造成肌肉疲劳。Westerblad 等<sup>[45]</sup>认为,疲劳破坏了肌浆网中钙的释放,以致于肌肉力量从高向低发展。本研究中 T 组 RFD 与 RER 的无变化或稍微降低,可能发生在最大力矩的降低或是到达最大力矩的时间延长,不管是哪种,都表明 T 组肌肉收缩能力没有得到发展。而 TD 组补充运动饮料,可能加快疲劳消除,刺激蛋白合成,增强肌力,提高了神经肌肉适应性,甚至在停训后仍有影响。

完成一个动作的肌肉群按功能分有主动肌、协同肌、拮抗肌、中和肌等,因此,了解具体肌肉收缩时放电情况对整块肌肉的影响是必要的。本研究分别对 VL、RF、VM、SE、BF 收缩时 RER 进行分析,发现 TD 组 60°/s 屈膝时,BF 的 RER 增长显著;180°/s 伸膝时,RF 和 VL 肌肉激活率最高,提示,这些肌肉在适应运动负荷中起主要作用。这不仅与负荷强度有关,也与完成动作的方式有关。我们不能忽视身体其他部位肌肉对大腿等动屈伸膝关节的适应,如竖脊肌、臀部肌肉以及腹肌,由于它们在维持姿势的

稳定以及肌肉收缩时的用力方向方面起到很大作用。因此,要全面了解一个技术动作,需要对尽可能多的肌肉进行整体研究。

#### 4 结论

经过 6 周慢速、快速、向心、离心的混合最大等动肌力训练,运动员峰力矩发展率以及神经肌肉激活率没有显著改变;但在等动肌力训练中补充运动饮料,可提高神经肌肉激活率,加快峰力矩产生,并能在停训后维持;其中,BF、RF、VL 神经激活显著,提示在肌力提高上起主要作用。

#### 参考文献:

- [1] 陈建,单卫国,郑成,等. 等速运动对篮球运动员弹跳力的影响[J]. 湖北体育科技,2009,28(3):304-305.
- [2] 洪平,李稚,陈耿,等. 补充丙酮酸肌酸、肌酸和肉碱对运动员身体成分及运动能力的影响[J]. 体育科学,2010,46(3):91-97.
- [3] 田野. 运动生理学高级教程[M]. 北京:高等教育出版社,2003:312-319.
- [4] 王聪,王启荣,周丽丽,等. 补充糖肽饮料对一次性抗阻训练人体运动能力、糖代谢及血清嘌呤体浓度的影响[J]. 中国运动医学杂志,2010,29(6):661-665.
- [5] 周思红. 向心结合离心等速训练后的肌力变化特征[J]. 体育学刊,2009,16(5):104-107.
- [6] AAGAARD P. Training-induced changes in neural function[J]. *Exerc Sci Rev*,2003,31:61-67.
- [7] AAGAARD P, SIMONSEN E, ANDERSEN J, *et al.* Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training[J]. *J Appl Physiol*,2002,93:1318-1326.
- [8] ANDERSEN L L, ANDERSEN J L, MAGNUSSEN S P, *et al.* Neuromuscular adaptations to detraining following resistance training in previously untrained subjects[J]. *Eur J Appl Physiol*,2005,93(5-6):511-518.
- [9] ANDERSEN L, ANDERSEN J, ZEBIS M, *et al.* Early and late rate of force development: Differential adaptive responses to resistance training[J]. *Scand J Med Sci Sports*,2010,20(1):e162-e169.
- [10] ANGUS D J, HARGREAVES M, DANCEY J, *et al.* Effect of carbohydrate or carbohydrate plus medium-chain triglyceride ingestion on cycling time trial performance[J]. *J Appl Physiol*,2000,88:113-119.
- [11] BAKER D, WILSON G, CARLYON B. Generality versus specificity: a comparison of dynamic and isometric measures of strength and speed-strength[J]. *Eur J Appl Physiol*,1994,68:350-355.
- [12] BALSO C D, CAFARELLI E. Adaptations in the activation of human skeletal muscle induced by short-term isometric resistance training[J]. *J Appl Physiol*,2007,103:402-411.
- [13] BARRY B K, WARMAN G E, CARSON R G. Age-related differences in rapid muscle activation after rate of force development training of the elbow flexors[J]. *Exp Brain Res*,2005,162:122-132.
- [14] BILODEAU M, ARSENAULT A B, GRAVEL D, *et al.* EMG

- power spectra of elbow extensors during ramp and step isometric contractions[J]. *Eur J Appl Physiol*,1991,63:24-28.
- [15] BLAZEVIČH A, HORNE S, CANNAPAN D, *et al.* Effect of contraction mode of slow-speed resistance training on the maximum rate of force development in the human quadriceps[J]. *Muscle Nerve*, 2008,38:1133-1146.
- [16] BLAZEVIČH A J, CANNAPAN D, COLEMAN D R, *et al.* Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles[J]. *J Appl Physiol*,2007,103:1565-1575.
- [17] BOHANNON R W, LARKIN P A. Cybex[] isokinetic dynamometer for documentation of spasticity[J]. *Phys Ther*,1985,65(1):46-47.
- [18] BOZIC P, SUZOVIC D, NEDELJKOVIC A, *et al.* Alternating consecutive maximum contractions as a test of muscle function[J]. *J Strength Cond Res*,2011,25(6):1605-1615.
- [19] CAROLAN B, CAFARELLI E. Adaptations in coactivation after isometric resistance training[J]. *J Appl Physiol*,1992,73(3):911-917.
- [20] CLANCY E A, HOGAN N. Multiple site electromyograph amplitude estimation[J]. *IEEE Trans Biomed Eng*,1995,42:203-211.
- [21] CRIBB P J, WILLIAMS A D, HAYES A. A creatine-protein-carbohydrate supplement enhances responses to resistance training[J]. *Med Sci Sports Exe*,2007,39(11):1960-1968.
- [22] DANGOTT B, SCHULTZ E, MOZDZIAL P E. Dietary creatine monohydrate supplementation increases satellite cell mitotic activity during compensatory hypertrophy[J]. *Int J Sports Med*,1999,20:13-16.
- [23] GLYNN E L, FRY C S, DRUMMOND M J, *et al.* Muscle protein breakdown has a minor role in the protein anabolic response to essential amino acid and carbohydrate intake following resistance exercise[J]. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*,2010,299:R533-R540.
- [24] HAKKINEN K, KOMI P V, ALEN M. Effect of explosive-type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fiber characteristics of leg extensor muscles[J]. *Acta Physiol Scand*,1985,125:587-600.
- [25] HAKKINEN K, PAKARINEN A, ALEN M, *et al.* Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years[J]. *J Appl Physiol*,1988,65(6):2406-2412
- [26] HOLM L, OLESEN J L, MATSUMOTO K, *et al.* Protein-containing nutrient supplementation following strength training enhances the effect on muscle mass, strength, and bone formation in postmenopausal women[J]. *J Appl Physiol*,2008,105:274-281.
- [27] HOLTERMANN A, ROELEVELD K, VEREIJKEN B, *et al.* The effect of rate of force development on maximal force production: Acute and training-related aspects[J]. *Eur J Appl Physiol*,2007,99:605-613.
- [28] HORTOBAGYI T, LAMBERT N J, HILL J P. Greater cross education following training with muscle lengthening than shortening[J]. *Med Sci Sports Exe*,1997,29(1):107-112.
- [29] KYROLAINEN H, AVELA J, MCBRIDE J M, *et al.* Effect of power training on muscle structure and neuromuscular performance[J]. *Scand J Med Sci Sports*,2005,15:58-64.
- [30] MARKUS D J, EMIL S, MORTEN B R, *et al.* The effect of strength training, recreational soccer and running exercise on stretch-shortening cycle muscle performance during countermovement jumping[J]. *Hum Movement Sci*,2012,31:970-986.
- [31] NARICI M V, HOPPELER H, KAYSER B, *et al.* Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training[J]. *Acta Physiol Scand*,1996,157:175-186.
- [32] OLIVEIRA A S, CORVINO R B, GONCALVES M, *et al.* Effects of a single habituation session on neuromuscular isokinetic profile at different movement velocities[J]. *Eur J Appl Physiol*,2010,110:1127-1133.
- [33] OLSEN S, AAGAARD P, KADI F, *et al.* Creatine supplementation augments the increase in satellite cell and myonuclei number in human skeletal muscle during strength training[J]. *J Physiol*,2006,573:525-534.
- [34] PREBEG G, CUK I, SUZOVIC D, *et al.* Relationships among the muscle strength properties as assessed through various tests and variables[J]. *J Electromyogr Kinesi*,2013,23:455-461.
- [35] RENATO M, BENEDITO S D. Dissociated time course recovery between rate of force development and peak torque after eccentric exercise[J]. *Clin Physiol Funct Imaging*,2012,32:179-184.
- [36] RICH C, CAFARELLI E. Submaximal motor unit firing rates after 8 weeks of isometric resistance training[J]. *Med Sci Sports Exe*,2000,32:190-196.
- [37] RUITER D E C J, KOOISTRA R D, PAALMAN M I, *et al.* Initial phase of maximal voluntary and electrically stimulated knee extension torque development at different knee angles[J]. *J Appl Physiol*,2004,97:1693-1701
- [38] SUKOP J, Nelson R C. Effects of isometrical training on the force-time characteristics of muscle contractions[M]//*Biomechanics IV*. Champaign,IL:Human Kinetics,1974,440-447.
- [39] TERZIS G, STRATAKOS G, MANTA P, *et al.* Throwing performance after resistance training and detraining[J]. *J Strength Cond Res*,2008,22(4):1198-1204.
- [40] THORSTENSSON A, KARLSSON J, VIITASALO H T, *et al.* Effect of strength training on EMG of human skeletal muscle[J]. *Acta Physiol Scand*,1976,98:232-236.
- [41] VAN LEEMPUTTE M, VANDENBERGHE K, HESPEL P. Shortening of muscle relaxation time after creatine loading[J]. *J Appl Physiol*,1999,86:840-844.
- [42] VIITASALO J T, LUHANEN P, RAHKILA P, *et al.* Electromyographic activity related to aerobic and anaerobic threshold in ergometer bicycling[J]. *Acta Physiol Scand*,1985,124(2):278-293.
- [43] VIKNE H, REFSNES P E, EKMARK M, *et al.* Muscular performance after concentric and eccentric exercise in trained men[J]. *Med Sci Sports Exe*,2006,38:1770-1781.

(下转第 73 页)

