

·基础研究·

抗阻训练对老龄大鼠骨骼肌新生细胞核数量的影响*

王彦伟^{1,2} 王明金¹ 卢学伟¹ 黄丽敏³ 赵 斌^{1,4}

摘要

目的:观察10周抗阻训练后老龄大鼠骨骼肌内细胞核数量的变化情况,及其合成能力加强。

方法:选取17月龄的SD大鼠40只,随机分为安静组、大、中、小负重训练组,每组10只,用5-溴脱氧尿嘧啶核苷(Br-du)对新生细胞核进行标记,通过免疫组织化学的方法对新生肌核的数量进行比较。

结果:新生肌核数量方面:大负荷组(7.5 ± 4.2)和中负荷组(6.7 ± 3.6),显著高于安静组(2.1 ± 1.3)和小负荷组(5.1 ± 2.6)。肌纤维内肌核平均数量大负荷组(3.2 ± 0.6)和中负荷组(3.1 ± 0.5),显著高于安静组(2.4 ± 0.5)和小负荷组(2.8 ± 0.6)。肌肉重量方面,中负荷的($10.6 \pm 1.3\text{g}$)和大负荷($10.1 \pm 1.4\text{g}$),显著高于安静组($8.2 \pm 1.2\text{g}$)。

结论:抗阻训练能使骨骼肌的细胞核增加,进而使骨骼肌的力量和体积增大。

关键词 抗阻训练;骨骼肌;肌核

中图分类号:R493 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2012)-06-0504-06

Impact of resistant training on amount of nascent nuclei of aging rats' skeletal muscles/WANG Yanwei, WANG Mingjin, LU Xuewei, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2012, 27(6): 504—509

Abstract

Objective: To observe the impact of 10-week resistant training on the amount of nascent nuclei of skeletal muscles in aging rats, and strengthening of its synthesis ability.

Method: Forty SD rats (17 month old) were selected randomly divided into a quiet group as well as large, medium and low loading training groups, with 10 rats in each group. The nascent myonuclei were marked with 5-bromodeoxyuridine (BrdU). The amount of nascent myonuclei were compared with immunohistochemical method.

Result: The amounts of nascent myonuclei in large loading training group (7.5 ± 4.2) and moderate loading training group (6.7 ± 3.6) were significantly higher than that in control group (2.1 ± 1.3) and low loading training group (5.1 ± 2.6). The average quantity of myonuclei in muscle fiber in large loading training group (3.2 ± 0.6) and moderate loading training group (3.1 ± 0.5) were significantly higher than that in control group (2.4 ± 0.5) and low loading training group (2.8 ± 0.6). The weight of skeletal muscle in moderate loading training group ($10.6 \pm 1.3\text{g}$) and large loading training group ($10.1 \pm 1.4\text{g}$) were significantly higher than that in control group ($8.2 \pm 1.2\text{g}$).

Conclusion: Resistant training could increase the amount of skeletal muscle nuclei, so as to enhance the strength of skeletal muscle and the volume of skeletal muscle.

Author's address Hebei Normal University, Shijiazhuang, 050024

Key word resistant training; skeletal muscle; myonuclei

骨骼肌细胞呈长纤维状,故称肌纤维。一个肌细胞即为一条肌纤维,在人体其长度从2mm (橙骨肌)到31cm(缝匠肌)不等。骨骼肌细胞属多核细胞,

在1mm长的肌细胞中约有50—100个核。这些核靠近骨骼肌的细胞膜,呈扁椭圆形,核染色质少,核仁明显。同时骨骼肌是高度分化的成熟细胞,其肌核

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2012.06.005

*基金项目:河北省自然科学基金资助项目(C2008000177),河北师范大学研究生科研基金资助项目(201002024)

1 河北师范大学,050090; 2 石家庄学院; 3 哈尔滨学院; 4 通讯作者

作者简介:王彦伟,男,讲师; 收稿日期:2012-01-12

本身不能分裂。

老龄是处于身体功能下降的阶段,力量下降、肌肉丢失(sarcopenia)是这一时期的生理规律。力量训练可使肌纤维体积增加,力量增大,能使肌肉丢失的进程发生改变甚至是逆转。国内学者李文惠等^[1]认为,中等强度或小强度的间歇负重跑能有效提高骨骼肌内MG29蛋白的表达水平,使骨骼肌维持正常的兴奋收缩偶联结构,从而延缓了因衰老所致的肌肉萎缩。黄丽敏等^[2]认为机械刺激和组织损伤的情况下,机械生长因子出现表达,具有增加肌肉质量的能力并认为骨骼肌机械生长因子表达下降,激活有限的卫星细胞,不能完全修复受损细胞。Thornell等^[3]认为卫星细胞存在于骨骼肌中,一生中数量可能会有所变化:认为婴儿出生时肌卫星细胞约占总肌核数量的15%,成年期下降至1%—6%,而老年时更低。Grounds等^[4-5]认为损伤能诱导卫星细胞激活,进入分裂周期,通过分裂出的新细胞对损伤的肌细胞进行修复。Kadi等^[6]报道高水平举重运动员斜方肌卫星细胞含量比普通人群要高出70%。Hikida等^[7-8]认为训练能使肌肉丢失得到改善,其卫星细胞的数量会相应增加。上述学者的研究说明肌肉丢失、肌肉肥大与卫星细胞可能存在一定的联系。但处于骨骼肌基膜与细胞膜之间的卫星细胞(常为休眠状态)并不具有直接控制骨骼肌细胞内蛋白的合成能力,而蛋白质的合成是在高尔基体内进行的,其合成还要有来自细胞核的遗传信息才能得以显现。因此,提出卫星细胞是骨骼肌细胞核的生产“车间”,其为骨骼肌提供细胞核的设想,这些新生的细胞核能使蛋白质的合成增加,也就使的骨骼肌体积增大,而运动特别是抗阻运动是卫星细胞激活的诱因。这一设想基于:传统理论认为骨骼肌是高度分化的成熟细胞是非常稳固的,其内部的细胞核本身不能进行自我复制与分裂。我们用5-溴脱氧尿嘧啶核苷(BrdU)对由卫星细胞所分裂的细胞核进行标记,只要在骨骼肌的双层细胞膜内发现含有BrdU的细胞核,那么这个核应该是来自卫星细胞的。对此我们进行了如下实验。

1 材料与方法

1.1 实验动物分组

18月龄雄性SD大鼠40只(购自河北医科大学动物实验中心),平均体重(615.74 ± 25.87)g,随机分为对照组、小负重抗阻运动组、中负重抗阻运动组、大重量负重抗阻运动组,每组10只。

1.2 动物的饲养与运动干预

大鼠分笼饲养,每笼一只,自由饮水、进食,购自河北医科大学动物实验中心的啮齿类动物标准饲料喂养。饲养环境温度:18—24℃;湿度:45%—55%,自然光照。

大鼠饲养3d后,分组进行为期1周的适应性训练,对照组正常饲养,不进行运动。运动组大鼠选用河北师范大学设计的动物抗阻专用平台(专利号:201020681984.1),通过尾部衔接来牵拉重物进行训练,运动方案制定依照以下原则:①参考Barone和Hamberger等^[9-11]的爬梯训练方法,并将垂直的爬梯形式改为在水平方向上通过尾部衔接牵拉重物抗阻爬行。起始负荷为大鼠体重的50%,每爬行1m休息1min后增加10g的负荷进行爬行,至大鼠不能再以爬行的动作前进为最大力量,记录该拉力数值。72h后,重复以上过程,并记录负荷数值。前后三次测试的差异小于10%,认为数据可信。取最大的拉力数值为大鼠的最大爬行力量。②以最大力量的40%、60%、80%的重量为大中小负重的重量。牵拉重物行进2m×6次为一组,运动3—5组,组间歇3min。③每两周进行一次最大爬行力量的测试,并按②的标准调整运动拉力后进行训练。④运动10周,每周运动6d。10周抗阻训练中大鼠没有出现死亡的情况。

1.3 取材及准备

①在训练的最后10d,通过背部两肩胛间皮下注射BrdU,其目的是用来对骨骼肌细胞内新现的肌核进行标记。②取材前禁食24h,称体重。用40mg/kg体重戊巴比妥钠腹腔注射进行麻醉。用0.9%的生理盐水心脏灌流,以清除组织的血液等物质。取股直肌称重后,用黄耆树胶固定在软木塞上。③冰冻切片的制备:将盛有异戊烷的烧杯放入液氮中(-160℃),待异戊烷冷却变为半透明的胶体状,用大镊子夹住软木塞将其放入冷冻液中10—20s。④将制备好的样本用冰冻切片机切片,剩余的部分可在-80℃冰箱中保存备用。⑤免疫组织化学

检测。

A: HE 染色: 冰冻切片固定 10—30s, 双蒸水冲洗, 用苏木精液室温染色 30—60s, 1% 盐酸乙醇 1—3s, 后水洗, 再用 0.5% 曙红液染色 30—60s, 而后梯度酒精脱水, 中性树胶封片。

B: BrdU 标记免疫组化染色: ① PBS 冲洗 3 遍, 每遍 10min; ② 加抗 BrdU 一抗, 37℃, 湿盒中孵育 2h; ③ PBS 冲洗 3 遍, 每遍 5min; ④ 滴加生物素标记的 IgG 二抗, 37℃, 湿盒中孵育 15min; ⑤ PBS 冲洗 3 遍, 每遍 5min; ⑥ 滴加链霉卵白素过氧化氢酶复合物 15min; ⑦ PBS 冲洗 3 遍, 每遍 5min; ⑧ 加 DAB 混合液, 显微镜下显色约 15—30min, 用 PBS 冲洗终止反应; ⑨ 中性树脂胶封片, 显微镜观察。

C: BrdU 标记的胶体金免疫组化电镜染色: ① 双蒸水洗 $3 \times 10s$; ② 加入一抗 (1:100), 孵育 30min; ③ 双蒸水洗 $3 \times 10s$; ④ 加入胶体金标记的二抗 (1:100, 金颗粒直径 10nm), 室温 2h; ⑤ 双蒸水洗 $3 \times 10s$; ⑥ 透射电镜观察。

1.4 HE 染色图像和免疫组织化学显微图像分析

选用美国 COMPIX simple PCI 生物显微分析图像系统进行图像分析, 每样本取片 10 张, 每张切片在 400 倍镜下观察, 在镜下按上、中、下的位置分别选取 3 个视野采样进行分析。

1.5 统计学分析

将实验的各数据用 SPSS 统计软件分析, 组间用单因素方差分析; 组内用配对 t 检验进行分析。 $P < 0.05$ 表示存在差异性, $P < 0.01$ 表示存在非常显著性差异。

2 结果

2.1 各组老龄大鼠一般情况

实验前各组大鼠体重无组间差异。实验后各组大鼠体重在运动初期均出现不同程度的下降, 在训练的后期有所上升。训练后各组体重与安静组体重用单因素方差进行对比, 发现实验各组大鼠体重均出现下降, 中负重组、大负重组的体重与安静组比较存在有非常显著的差异; 小负重组的体重与安静组相比其差异性不显著。在股四头肌的重量方面各组与安静组对比均有较明显的增加, 其中以大重量组和中等重量组的变化最为明显。

实验前各组大鼠牵拉重物的能力没有差异。10 周训练后, 对各组大鼠牵拉重物的数据用配对 t 检验进行分析: 小负荷组和大负荷组训练前后有显著性差异; 中负荷组前后有极显著性差异。训练后各组中, 中负荷组牵拉生物的能力比小负荷组相比增加较多, 存在非常显著的差异, 其他各组差异不显著。说明中负荷的训练效果较好。见表 1—2。

2.2 各组大鼠股四头肌细胞核数量比较

见图 1。在横切视野下, 观察 HE 染色中肌纤维内的肌核数量 (黑色箭头所指处为肌核) 进行比较, 结果发现: 与安静组相比中负重组和大负重组的变化较为明显, 经统计学分析存在非常显著的差异。见表 3。

2.3 各组大鼠股四头肌的新生细胞核数量

见图 2。用纵切的方式对骨骼肌进行观察, 便于对骨骼肌内核的数量情况有更深入的了解, 本研究用 BrdU 标记技术标记训练最后 10d 的骨骼肌中新生的细胞核, 在 400 倍下分区观察各视野下的骨骼肌的数量。负重运动各组与安静组用单因素方差分析进行比较: 抗阻训练各组内出现新生肌核的数量均高于安静组, 经统计分析均存在着非常显著的差异。而各运动组之间虽存在不同, 但没有达到显著性差异。这可能与样本量小有关。更为重要的是该实验用 BrdU 作为标记物, 将骨骼内“已存在”肌核与“新出现”的肌核进行区分, 骨骼肌内肌核的数量是可以增加的。见表 3。

2.4 电镜下观察新生细胞核的来源

电镜技术能更深入的对骨骼肌的细胞核的结构进行观察, 我们用纵切的方式对 BrdU 标记的骨骼肌进行观察。图 3 是骨骼肌细胞核的位置与结构, 其上没有胶体金颗粒, 表明该细胞核不是新生的细胞核。图 4 是用 BrdU 标记技术标记的骨骼肌内新生细胞核的电镜结构。由于其上有黑色的胶体金颗粒 (用免疫电镜技术), 表明它是在细胞分裂期有胸腺嘧啶的类似物 (BrdU) 参与了 DNA 的合成, 并进入了骨骼肌的内膜。图 5 是新生骨骼肌细胞核正穿透骨骼肌的内膜进入到骨骼肌的过程。其上的黑色胶体金颗粒所表示的含义与图 4 相同, 所不同的该细胞核正在穿透骨骼肌的内膜, 有一部分正在进入骨骼肌中, 该图记录了这一细胞核由外向内进行的过

表1 训练后各组大鼠的体重与股四头肌重量比较 (g)

	安静	小负重	中负重	大负重
实验后体重	643.3 ± 28.5	619.4 ± 26.4	603.9 ± 32.8 ^②	594.3 ± 22.4 ^②
股四头肌重量	8.2 ± 1.2	9.3 ± 0.9 ^①	10.6 ± 1.3 ^②	10.1 ± 1.4 ^②

①P<0.05;②P<0.01

表3 训练后各组大鼠骨骼肌内核的数量比较

	安静	小负重	中负重	大负重
横切视野下骨骼肌细胞内核的数量	2.4 ± 0.5	2.8 ± 0.6	3.1 ± 0.5 ^①	3.2 ± 0.6 ^①

①P<0.01

表2 训练前后各组大鼠的拉力负荷 (g)

组别	训练前	训练后
小负荷组	754.17 ± 32.31	853.3 ± 80.42 ^①
中负荷组	725.83 ± 57.30	956.6 ± 90.70 ^②
大负荷组	747.5 ± 93.20	925.00 ± 69.21 ^①

注:①P<0.05;②P<0.01

表4 各组大鼠骨骼肌内新生细胞核的数量 (× 400)

	安静	小负重	中负重	大负重
纵切视野下骨骼肌细胞内核的数量	2.1 ± 1.3	5.1 ± 2.6 ^①	6.7 ± 3.6 ^①	7.5 ± 4.2 ^①

①P<0.01

图1 HE染色情况 (× 400)

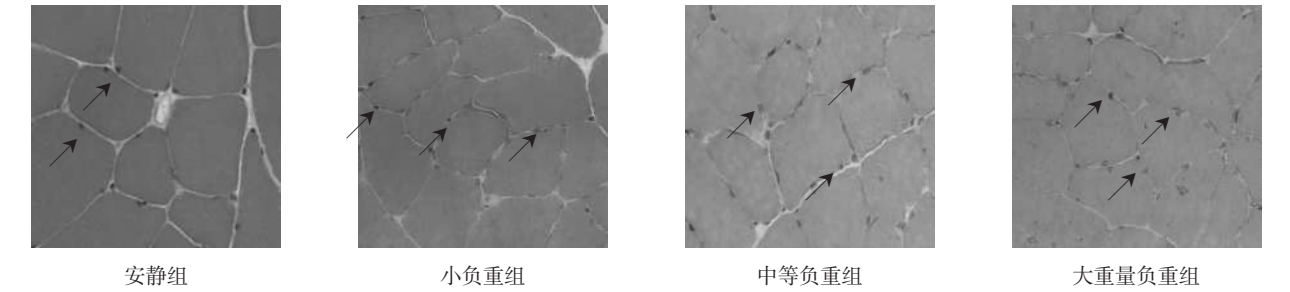


图2 各组新生细胞核情况

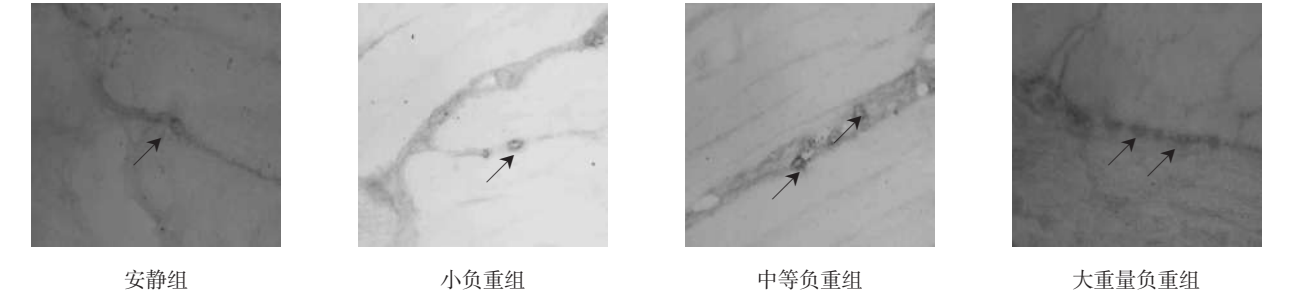


图3 正常肌核

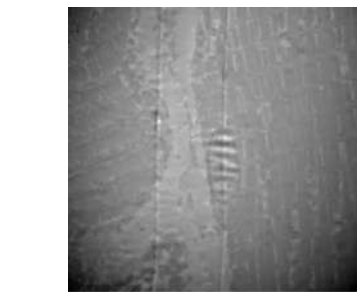


图4 新生细胞核

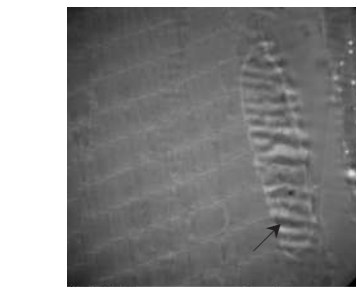
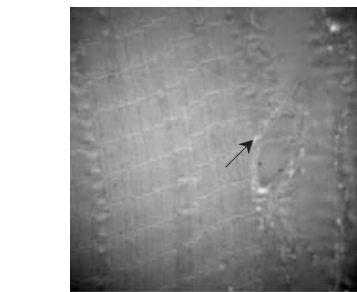


图5 正在穿透内膜的新生细胞核



程。由于电镜的放大倍数较大,对所观察的物体要求较小。将骨骼肌放在300目的镍网上进行观察,镍网的网格边缘也会影响观察,要对大鼠的骨骼肌进行很多切片才能找到一例。由于观察手段的限

制,不能对数量进行准确的研究,用医学中常用“0”表示没有、“1”表示存在,图5表示骨骼肌的新生肌核存在着由外界进入的可能,但由于数量非常少,电镜的观察方法存在着极大的偶然性。

3 讨论

3.1 抗阻训练前大鼠体重与股四头肌重量的变化

实验前对大鼠随机分组,使实验各组在体重等方面没有组间差异。对其进行10周的训练,在训练过程中毛色等外观无明显变化,饮食、饮水、睡眠正常,未出现过度厮打和断尾现象,训练后其体重发生了相应的变化。其中安静组体重最大,平均为643.3g,大于其他各组的平均体重,说明通过抗阻训练后大鼠的体重下降明显,拉力负荷越大,重量下降越多。实验后取湿的股四头肌称重,发现安静组股四头肌的重量最轻;低于中等负重和大重量负重组的重量。这可能与抗阻训练能导致骨骼肌的代谢旺盛,肌重量增加,进而消耗增加,从而减少老龄大鼠体内脂肪的堆积,使体重减轻。

同时,经过10周的训练,各组大鼠的牵拉能力都取得了显著的提高,经统计学分析都存在显著性差异,这说明牵拉式抗阻训练能有效提高大鼠的力量。但在提高程度上出现了中等负重大于小负荷负重;大负荷负重也小于中等负荷负重的特点。分析这一现象出现,可能与大鼠的年龄较大和体重下降过多有关。

3.2 抗阻训练后大鼠骨骼肌细胞核数目与新生肌核数量的联系

细胞核是细胞内最大、最重要的细胞器,细胞核是细胞的控制中心,在细胞的代谢、生长、分化中起着重要作用,是遗传物质的主要存在部位。骨骼肌是人类和哺乳动物体中重量最大的组织,约占体重的40%。但与其他组织最大的不同点在于骨骼肌是多核细胞。骨骼肌是高度分化的成熟细胞,骨骼肌的细胞核没有将遗传物质经复制传给子代的功能,其主要功能是为其控制的生物性状特征表现提供遗传信号,因而成为细胞代谢控制中心。

BrdU是胸腺嘧啶(T)的类似物,是DNA中的A-T碱基对(腺嘌呤-胸腺嘧啶)的一部分。可代替胸腺嘧啶在DNA合成期(S期)的作用,替代T的位置而进入正在合成的细胞核的DNA中。该物质只存在于DNA中,也就是只在细胞核内出现。因此用于标记新生的细胞核,在本实验中用来对新生的肌核进行标记。抗阻训练8周大鼠的最后10d,以每天25mg,浓度为50mg/ml背部肩胛骨间注射,其目的是

标记训练最后阶段新生的细胞核。

大鼠骨骼肌内肌核数量呈现出安静组最低,小、中、大负荷组依次升高的趋势,这种趋势与骨骼肌内新生肌核的数量增加的趋势较为相似。这表明抗阻训练的负荷是诱因,能导致骨骼肌新生肌核增加,而且增加的幅度与运动负荷一致,即负荷越大,新生肌核也越多,进而使总肌核数量增加。在功能方面,肌核是细胞的控制中心,信使RNA能够通过核内的DNA向细胞质中的核糖体传出更的信息,核糖体以此为模板将多种氨基酸合成为蛋白质。骨骼肌的收缩成分是肌原纤维,肌原纤维的主要结构是肌动蛋白(构成细丝)和肌球蛋白(构成粗丝),二者约占其总量的65%。蛋白质的合成能力提高对于提高骨骼肌的收缩能力、增加肌肉的重量、改善肌肉丢失的进程是十分有益的。

3.3 大鼠骨骼肌新生细胞核的来源

传统理论认为骨骼肌是高度分化的成熟细胞,其是非常稳固的,其内部的细胞核本身不能进行自我复制与分裂。这也是长期以来人们很少关注骨骼肌细胞核数量的理由之一。上述的研究支持骨骼肌的细胞核是增加的,那么这些增加的细胞核的来源是哪里呢?

卫星细胞是干细胞的一种^[12-13],为单细胞,位于基膜与细胞质膜间。在骨骼肌损伤时发生分裂、再生,形成成肌原细胞,这些细胞相互融合生成肌管,参与肌纤维的修复^[14]。但是在没有损伤的状态下依然有5%的(休眠)卫星细胞存在于基膜与细胞质膜间,用光学显微镜无法区别肌核与卫星细胞。位于活体内的卫星细胞,其分裂受到一些因素的定向控制,分裂后的卫星细胞只会有部分保持分裂的能力,并回归到休眠状态,且处于骨骼肌的双层膜之间。

干细胞定向发育的特点:卫星细胞是干细胞的一种,干细胞有定向发育成特定组织的能力。干细胞在某些特定的条件下会向某些组织或器官定向发育,成为所在组织中的细胞。同样,卫星细胞分裂后,一旦由双层膜间进入骨骼肌的双层膜内,就成为了骨骼肌的细胞核,发挥与骨骼肌的细胞核相同的作用,这应该是干细胞的特点相一致的。从这一角度来考虑,分裂后的卫星细胞一旦进入骨骼肌就成为了骨骼肌的细胞一部分,也就是肌核,所以肌核的

增多,是卫星细胞进入造成的。所以我们的实验没有对进入到骨骼肌的卫星细胞核再进行区分,来确定其是卫星细胞还是骨骼肌的细胞核。我们认为一旦卫星细胞进入到骨骼肌的双层膜内,就成为肌组织的一部分,而不再是卫星细胞了。

我们用免疫电镜技术对骨骼肌进行观察,图4是已经完全处于肌细胞内的肌核图片,其上的黑点说明用胶体金标记的新生肌核。而图5是一例正在进入骨骼肌中的肌核。由于其处于两层膜间,并且细胞质(外膜)膜完整,而基膜(内膜)不完整,这是休眠的卫星细胞的位置,但其形态、大小与卫星处于一个微观数量级,并且外膜完整,内膜不完整,故我们认为这是由激活的分裂后的卫星细胞进入骨骼肌的动态过程。由此可以认为:运动诱导卫星细胞激活,进行分裂。分裂的卫星细胞一部分留在基膜与细胞质膜间处于休眠的状态或继续分裂,而另一部分卫星细胞以核的形式进入到骨骼肌纤维内部,成为肌核,从而使骨骼肌中肌核的数量增加,进而引起蛋白质等物质合成的加强,使骨骼肌肥大。

同时有资料显示 pax-7、多种生长因子、磷脂酰肌醇(-3)激酶、钙神经素、JAK2/STAT3和有丝分裂原活化蛋白激酶等物质^[15-17]参与对卫星细胞进行调控,使静息的卫星细胞激活进入分裂状态,为骨骼肌提供新核。由这些可以看出:虽然肌核在骨骼肌细胞内处于核心的位置,但仍有多种方式与路径对其进行调节,仍有上位调节机制在发挥作用。

4 结论

抗阻运动能使老龄大鼠骨骼肌中的细胞核数量增加,增加的肌核能使骨骼肌蛋白合成能力提高,使骨骼肌体积增加、力量提高;不同强度的抗阻运动使骨骼肌中细胞核增加的数目不同;卫星细胞分裂并参与了骨骼肌细胞核增加过程。

参考文献

- [1] 李文惠,赵斌,闫万军.不同负荷间歇负重跑训练对老龄大鼠骨骼肌MG29蛋白的影响[J].体育科学.2010,9:73—81.
- [2] 黄丽敏,贾华,赵斌.衰老性肌肉丢失与机械生长因子相关研究的进展[J].武汉体育学院学报,2010,4:71—74.
- [3] Thornell LE,Lindstrom M, Rennault V, et al. Satellite cells and training in the elderly[J]. Scand J Med Scisports,2003,13:

48—55.

- [4] Grounds MD, Garrett KL, Beilharz MW. The transcription of MyoD1 and myogenin genes in thymic cells in vivo[J]. Exp Cell Res,1992,198(2):357—361.
- [5] Wozniak AC, Kong J, Bock E, et al. Signaling satellite-cell activation in skeletal muscle: markers, models, stretch, and potential alternate pathways[J]. Muscle Nerve,2005,31(3):283—300.
- [6] Kadi F,Eriksson A, Holmner S, et al. Cellular adaptation of the trapezius muscle in strength-trained athletes[J]. Histochem Cell Biol,1999,111(3):189—195.
- [7] Hikida RS, Walsh S, Barylski N,et al. Is hypertrophy limited in elderly muscle fibers? A comparison of elderly and young strength-trained men[J].Basic Appl Myol,1998,8:419—427.
- [8] Petrella JK, Kim JS, Cross JM, et al.Efficacy of myonuclear addition may explain differential myofiber growth among resistance-trained young and older men and women[J].Am J Physiol Endocrinol Metab, 2006,291(5):E937—E946.
- [9] Barone R, Bellafiore M, Leonardi V, et al. Structural analysis of rat patellar tendon in response to resistance and endurance training[J]. Scand J Med Sci Sports, 2009,19(6):782—789..
- [10] Homberger TA Jr, Farrar RP. Physiological hypertrophy of the FHL muscle following 8 weeks of progressive resistance exercise in the rat[J]. Can J Appl Physiol, 2004,29(1):16—31.
- [11] Lee S, Barton ER, Sweeney HL, et al. Viral expression of insulin-like growth factor-I enhances muscle hypertrophy in resistance-trained rats[J]. J Appl Physiol, 2004, 96(3):1097—1104.
- [12] 邵素霞,张雷,赵春芳,等.新生人鼠丹髓肌卫星细胞的原代培养及标记方法[J].基础医学与临床,2004, 24(1):79—82.
- [13] 周菲,秦永文,荆清,等.成年人鼠成肌细胞的原代培养[J].中华老年心脑血管病杂志,2001, 3(1) : 344—346.
- [14] Wozniak AC,Kong J, Bock E, et al. Signaling satellite-cell activation in skeletal muscle: markets, models,stretch, and potential alternate pathways[J] . Muscle Nerve, 2005,31(3):283—300.
- [15] Kastner S, Elias MC, Rivera AJ, et al. Gene expression patterns of the fibroblast growth factors and their receptors during myogenesis of rat satellite cells[J]. J Histochem Cytochem, 2000,48(8):1079—1096.
- [16] Pesall JE, McFarland DC, McMurtry,JP, et al. The effect of insulin-like growth factor analogs on turkey satellite cell and embryonic myoblast proliferation[J].Poult Sci, 2001, 80(7): 944—948.
- [17] Allell B, Harris, Kelly AM, et al. Satellite cell of skeletal muscle fibers[J].Biophys Biochem Clto1,2003,9:457—467.