



# 下坡跑运动与重复运动对大鼠骨骼肌组织病理学影响研究

李可峰<sup>1,2</sup>, 吕晨曦<sup>1</sup>, 董贵俊<sup>1</sup>, 葛新发<sup>\*1</sup>

**摘要:** 为探讨重复运动后大鼠骨骼肌损伤适应过程中组织病理改变, 将大鼠分为正常对照组、下坡跑运动组、重复运动组并分别进行下坡跑运动及重复运动, 观察下坡跑运动及一周后重复运动后即刻、24 h、48 h、72 h、168 h 大鼠股四头肌病理切片的变化。结果表明: 重复运动组各时间段形态学变化较一次大强度下坡跑运动组有所减轻, 表现为下坡跑运动后 24 h 肌纤维不完全断裂, 损伤处细胞溶解, 48 h 病灶开始逐步清除, 至 168 h 后仍有部分病灶存在。重复运动后症状相应减轻, 48 h 后病灶清除速度明显加快, 168 h 后基本恢复到正常水平。这可能是损伤修复后肌纤维再生重建、肌节长度趋于均等化、增强了抗损伤能力的结果, 提示重复运动能有效加速骨骼肌损伤修复的速度, 加速骨骼肌对运动训练刺激的适应性。

**关键词:** 组织病理; 下坡跑运动; 重复运动; 骨骼肌

中图分类号: G804.5 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2015)03-0045-04

## Pathological Effects of Downhill Running and Repeated Exercise on Rat Skeletal Muscle

LI Kefeng<sup>1,2</sup>, LV Chenxi<sup>1</sup>, DONG Guijun<sup>1</sup>, GE Xinfu<sup>\*1</sup>

(Shandong Sports University, Jinan 250063, China)

**Abstract:** Rats were divided into control group, downhill running group and repeated exercise group in order to investigate the pathological changes of rat skeletal muscle in the process of repeated exercise. The three groups did downhill running and repeated exercise separately. The rat quadriceps pathological examinations were made at the instant, 24h, 48h, 72h and 168h after the downhill running and the repeated exercise one week later. The result shows that the morphological changes of the repeated exercise group in different periods are slightly reduced than those of the downhill running group after one high intensity exercise. Incomplete rupture of muscle fiber and cell lysis can be observed at 24h after the downhill running. The focal lesions start to be cleared gradually at 48h and part of the lesions still exists after 168h. The symptoms reduce accordingly after repeated exercise. The lesions disappear quickly after 48h and the normal level can be restored basically after 168h. This might be due to the reconstruction of muscle fiber after the injury. The length of sarcomeres is equalized and the ability of anti-injury is increased as a result. This suggests that repeated exercise could effectively speed up the recovery of skeletal muscle after injury and improve the adaptability of skeletal muscle to the stimulus of training.

**Key Words:** pathological mechanism; downhill running; repeated exercise; skeletal muscle

竞技体育的发展使得高水平竞争日趋白热化, 大强度训练已成为提高运动员体力、体能、运动成绩的重要手段, 随之而来的运动性骨骼肌微损伤在所难免<sup>[1-2]</sup>。大强度运动导致的骨骼肌损伤往往要通过骨骼肌肌节重塑从而能达到骨骼肌重建<sup>[3-5]</sup>, 而骨骼肌损伤后组织病理的变化, 直接决定着骨骼肌重建的速度。因此, 对于骨骼肌损伤后组织结构研究对于了解骨骼肌损伤修复具有一定的意义。目

前, 研究表明大强度运动导致骨骼肌肌节重塑, 而重复运动后肌肉损伤减轻<sup>[6]</sup>。因此对大强度运动和重复运动导致骨骼肌组织病理变化的研究对于了解重复运动加速骨骼肌损伤修复机制具有重要意义。本研究通过对 Wistar 大鼠进行下坡跑运动及一周后重复运动训练, 并在运动后即刻(0 h)、24 h、48 h、72 h、168 h 股四头肌组织病理变化进行研究, 试图发现下坡跑重复运动对运动损伤适应性变化过

收稿日期: 2015-03-03

基金项目: 山东省自然科学基金(ZR2013CM034), 国家体育总局重点研究领域攻关课题(2014B059)。

第一作者简介: 李可峰, 女, 副教授, 在读博士生。主要研究方向: 骨骼肌损伤修复的分子机制研究。

\* 通讯作者: 葛新发, 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要研究方向: 骨骼肌损伤机制。

作者单位: 1. 山东体育学院运动基础科学学院, 济南 250063; 2. 中国科学院电工研究所生物医学工程部, 北京 100190



程中骨骼肌组织病理的影响,分析重复运动对骨骼肌损伤修复过程中可能存在的机制。

## 1 材料与方法

### 1.1 动物饲养、分组及运动方案

成年雄性Wistar大鼠52只,许可证号:SCXK(鲁)20090001,所有大鼠实验前均未进行过跑台运动,动物饲养按照国家二级动物饲养标准进行。大鼠随机分为对照组(CK)、下坡跑运动组(A组)、一周后重复运动组(B组)。对照组不进行任何运动。A组运动方案采取大鼠进行下坡跑,速度18 m/min,坡度 $-16^{\circ}$ ,运动时间为30 min后休息5 min,再运动30 min,运动时间共60 min。B组采用两次下坡跑运动,速度18 m/min,坡度 $-16^{\circ}$ ,运动时间为30 min后休息5 min,再运动30 min,运动时间共60 min,两次下坡跑运动之间间隔一周。

### 1.2 取材方法

分别在下坡跑运动和重复运动训练后0 h、24 h、48 h、72 h、168 h用颈椎脱臼法使大鼠死亡,取股四头肌放入浓度为10%的中性缓冲福尔马林固定液中固定过夜。

### 1.3 病理切片标本制备及切片制作

取得新鲜大白鼠骨骼肌材料后,切成适当的小块 $1.0\sim 2.0\text{ cm}^3$ 大小,立即投入甲醛固定液中进行固定。随后用乙醇将组织内的水分脱掉,经二甲苯透明后,再浸入已融化的石蜡中进行浸透,包埋。用切片机切成 $5\sim 10\text{ }\mu\text{m}$ 的薄片,贴于载玻片上,脱蜡后进行HE染色。切片经脱水、透明后,于切片上滴加中性树胶和盖片进行封固后,贴标签备用。

### 1.4 病理切片光学显微镜指标观察

纵切面上骨骼肌细胞呈细长的纤维状、排列整齐无分支,胞质多呈强嗜酸性(为I型纤维),核小,位于肌膜下,染色较浅。横纹清晰、规则。横断面观察,细胞多呈不规则的圆形,直径大小不同,以强嗜酸性者为主,弱嗜酸性者较粗(为II型纤维),核小呈圆形。

## 2 研究结果

### 2.1 下坡跑运动后大鼠骨骼肌的组织病理学观察

#### 2.1.1 对照组大鼠骨骼肌组织学观察

HE染色后,观察发现正常对照组纵切面上骨骼肌细胞呈细长的纤维状、排列整齐无分支,胞质多呈强嗜酸性(为I型纤维),核小,位于肌膜下,染色较浅。横纹清晰、规则。横断面观察,细胞多呈不规则的圆形,直径大小不同,以强嗜酸性者为主,弱嗜酸性者较粗(为II型纤维),核小呈圆形(见图1)。

#### 2.1.2 下坡跑运动后大鼠骨骼肌组织病理切片变化情况

下坡跑运动后即刻,通过HE染色发现肌纤维形态、着色与对照组比较未见明显变化,说明下坡跑运动后即刻骨骼肌损伤尚未完全展示出来(见图2)。

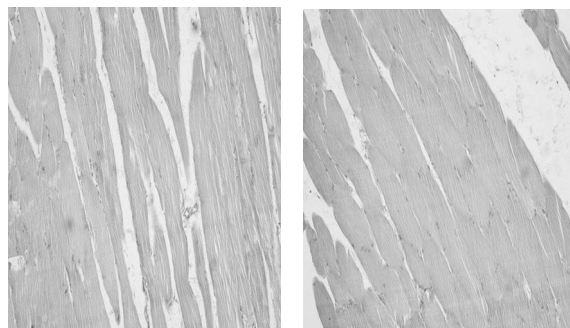


图 1 A

图 1 B

注:A为纵切面,B为横切面。

图 1 对照组大鼠骨骼肌组织学观察

Figure 1 Histological Observation of Rat Skeletal Muscle of the Control Group

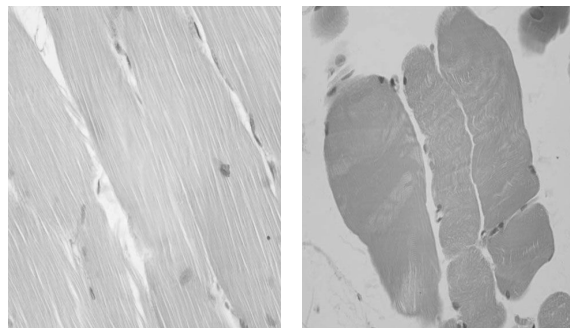


图 2 A

图 2 B

注:A为纵切面,B为横切面。

图 2 下坡跑运动后即刻大鼠骨骼肌组织病理切片变化

Figure 2 Pathological Changes of Rat Skeletal Muscle Tissue after Downhill Running

下坡跑运动后24 h组(A24):在纵切面上观察,可见局灶性损伤,损伤处肌纤维锐性断裂成小片段,多数断面整齐,断间端端连接紧密,损伤严重处断片排列紊乱结构模糊,血管扩张甚至出血(见图3)。

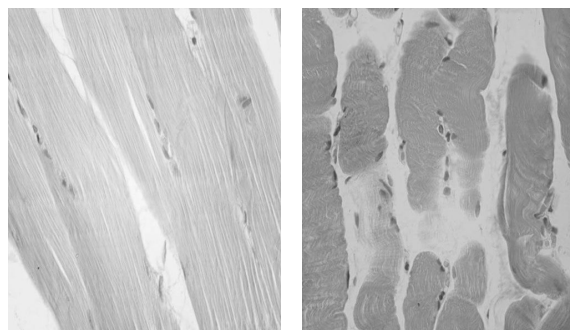


图 3 A

图 3 B

注:A为纵切面,B为横切面。

图 3 下坡跑运动后24 h大鼠骨骼肌组织病理切片变化

Figure 3 Pathological Changes of Rat Skeletal Muscle Tissue at 24h after Downhill Running

下坡跑运动后48 h组(A48):纵切面上可见肌细胞肿胀,节段性着色变浅,局灶性损伤扩大,血管扩张出血、溢



血现象明显,局部炎细胞多见。损伤处除锐性断裂外,断片排列紊乱、界线不清的溶解现象严重(见图 4)。

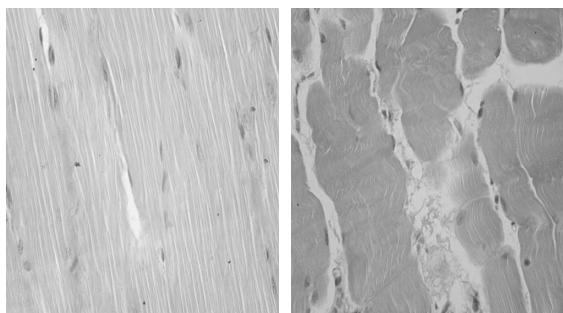


图 4 A

图 4 B

注:A 为纵切面,B 为横切面。

图 4 下坡跑运动后 48 h 大鼠骨骼肌组织病理切片变化  
**Figure 4 Pathological Changes of Rat Skeletal Muscle Tissue at 48h after Downhill Running**

下坡跑运动后 72 h 组(A72):与 48 h 相似,但细胞肿胀减轻、损伤灶缩小(见图 5)。

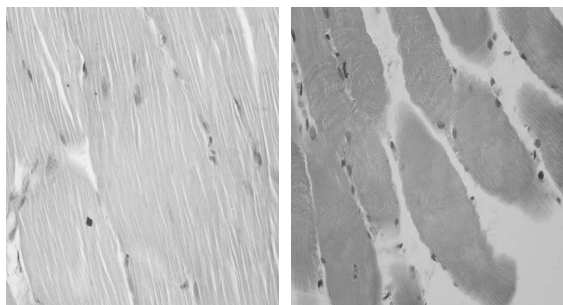


图 5 A

图 5 B

注:A 为纵切面,B 为横切面。

图 5 下坡跑运动后 72 h 大鼠骨骼肌组织病理切片变化  
**Figure 5 Pathological Changes of Rat Skeletal Muscle Tissue at 72h after Downhill Running**

下坡跑运动后 168 h 组(A168):运动后 168 h 与 72 h 相比,细胞肿胀进一步减轻、损伤灶缩小(见图 6)。

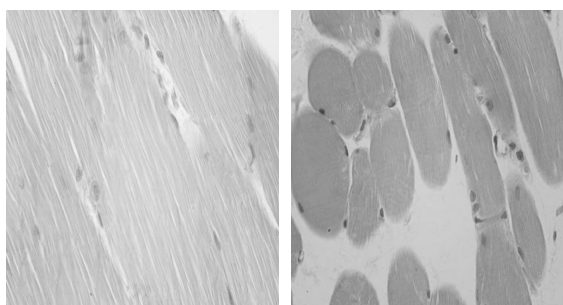


图 6 A

图 6 B

注:A 为纵切面,B 为横切面。

图 6 下坡跑运动后 168 h 大鼠骨骼肌组织病理切片变化  
**Figure 6 Pathological Changes of Rat Skeletal Muscle Tissue at 168h after Downhill Running**

2.1.3 重复下坡跑运动后大鼠骨骼肌组织病理切片变化情况

重复运动即刻组(B0):光镜下肌纤维形态、着色与对照组比较未见明显变化。细胞轻微肿胀、损伤灶小(见图 7)。

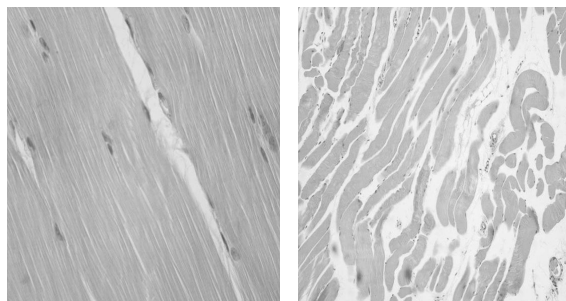


图 7 A

图 7 B

注:A 为纵切面,B 为横切面。

图 7 重复下坡跑运动后即刻大鼠骨骼肌组织病理切片变化  
**Figure 7 Pathological Changes of Rat Skeletal Muscle Tissue after repeated exercise**

重复运动后 24 h 组(B24):在纵切面可见局灶性损伤,损伤处肌纤维排列结构略显紊乱,未见明显血管扩张甚至出血。损伤程度较之 A24 减轻(见图 8)。

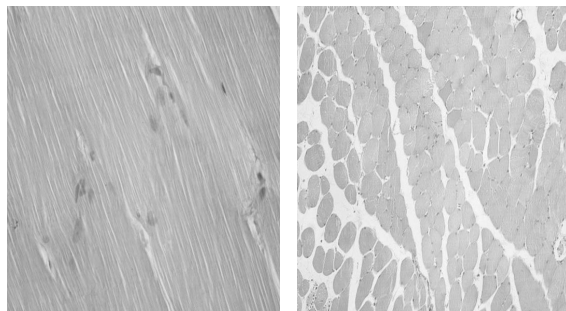


图 8 A

图 8 B

注:A 为纵切面,B 为横切面。

图 8 重复下坡跑运动后 24 h 大鼠骨骼肌组织病理切片变化  
**Figure 8 Pathological Changes of Rat Skeletal Muscle Tissue at 24h after repeated exercise**

重复运动后 48 h 组(B48):纵切面上可见肌细胞肿胀,节段性着色变浅,局灶性损伤扩大,血管扩张出血,局部炎细胞多见。损伤处出现锐性断裂、断片排列紊乱、界线不清的溶解现象(见图 9)。

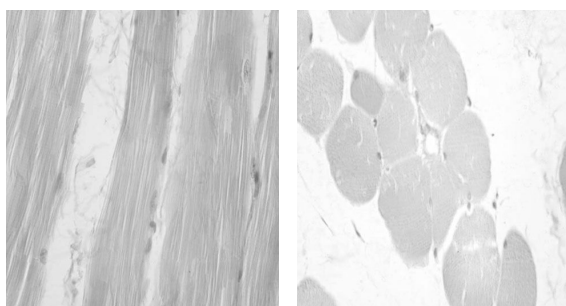


图 9 A

图 9 B

注:A 为纵切面,B 为横切面。

图 9 重复下坡跑运动后 48 h 大鼠骨骼肌组织病理切片变化  
**Figure 9 Pathological Changes of Rat Skeletal Muscle Tissue at 48h after repeated exercise**

重复运动 72 h 组(B72):与 48 h 相似,但细胞肿胀减轻、损伤灶缩小。损伤处出现锐性断裂,断片排列紊乱、界



线不清的溶解现象明显减轻(见图 10)。

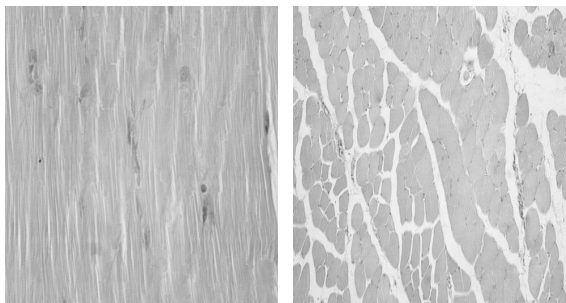


图 10 A

图 10 B

注:A 为纵切面,B 为横切面。

图 10 重复下坡跑运动后 72 h 大鼠骨骼肌组织病理切片变化  
Figure 10 Pathological Changes of Rat Skeletal Muscle Tissue at 72h after repeated exercise

重复运动 168 h 组(B168):与 72 h 相比,细胞肿胀进一步减轻、损伤灶缩小,细胞形态逐渐趋于正常(见图 11)。

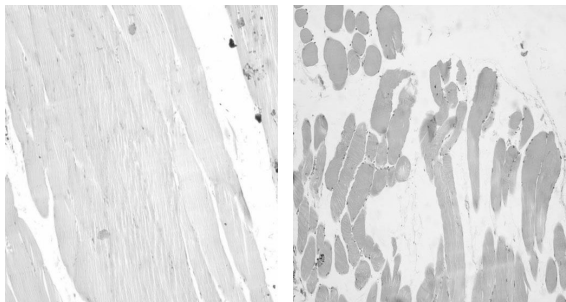


图 11 A

图 11 B

注:A 为纵切面,B 为横切面。

图 11 重复下坡跑运动后 168 h 大鼠骨骼肌组织病理切片变化  
Figure 11 Pathological Changes of Rat Skeletal Muscle Tissue at 168h after repeated exercise

从组织学切片变化情况,重复运动的各个时间段的切片形态学变化均比下坡跑运动组有所减轻。重复运动组损伤减轻,可能是经过了一次力竭训练,损伤修复后的肌肉增强了抗损伤能力的结果。其机理可能与侧支循环建立、腺苷的产生、肌细胞能量需求减少、ATP 依赖钾通道激活、前列腺环素释放、提高清除氧自由基的能力、减少脂质过氧化物的形成等因素有关。

### 3 结语

目前随着国内外竞技体育日趋激烈的竞争,大运动量、重复训练已经成为教练员训练计划中不可或缺的训练手段,从而导致的骨骼肌损伤也成为运动损伤中常见的类型<sup>[2]</sup>,这极大地影响运动员运动能力及运动寿命。因此,探讨大运动量及重复运动带来的机体适应性变化、了解骨骼

肌病理变化特征及康复手段一直是运动医学领域中重要的研究课题<sup>[7]</sup>。本研究中,通过对下坡跑运动后即刻组进行观察发现,运动后 24 h 出现明显的损伤性变化表现为肌纤维不完全断裂,损伤处细胞溶解;48 h 后局部出现大量中性白细胞等炎症细胞,说明坏死病灶已经开始逐步清除。重复运动后,24 h 损伤情况未发现明显血管扩张甚至出血,病症减轻;48 h 后出现大量炎症细胞,较一次运动数量明显增多,说明病灶清除速度明显加快<sup>[5]</sup>,至 72 h 损伤病灶已经明显缩小。

综上所述,重复运动组各时间段形态学变化均比下坡跑运动组有所减轻,可能是经过了一次力竭训练,损伤修复后肌纤维再生后进行适当重建,同时肌节长度趋于均等化,增强了抗损伤能力的结果<sup>[8]</sup>,说明运动性骨骼肌微损伤未必是一种完全的病理过程,可能是介于生理与病理的中间过程——“先解离而后才重新建构”,是骨骼肌对运动训练刺激的适应及调控<sup>[6,9]</sup>,说明重复运动能有效加速骨骼肌损伤修复的速度,加速骨骼肌对运动训练刺激的适应性。

### 参考文献:

- [1] 张海平,高岩.维生素 E 对离心运动大鼠骨骼肌超微结构的影响[J].中国组织工程研究与临床康复,2009,13(7):1313-1315.
- [2] 张翔,张学林,许寿生.运动与骨骼肌超微结构变化[J].中国运动医学杂志,2010,29(1): 109-113.
- [3] Pappas CT,Bhattacharya N,Cooper JA,et al. (2008). Nebulin interacts with CapZ and regulates thin filament architecture within the Z-disc. *Mol Biol Cell*, 19(5):1837-47.
- [4] Feasson L,Stockholm D,Freyssenet D,et al. (2002). Molecular adaptations of neuromuscular disease-associated proteins in response to eccentric exercise in human skeletal muscle. *J Physiol*. 543(Pt 1):297-306.
- [5] 张海平,宋吉锐.一次力竭离心运动对大鼠肱三头肌超微结构影响的研究[J].上海体育学院学报,2008,32(5):44-47.
- [6] 田野,马鹏鹏,郭时杰,等.连续运动后延迟性肌肉损伤的适应性研究[J].中国运动医学杂志, 2003,22(2):138-142.
- [7] Butterfield TA,Herzog W. (2006). Magnitude of muscle strain does not influence serial sarcomere number adaptations following eccentric exercise. *Pflugers Arch*, 451(5):688-700.
- [8] Panchangam A,Clafin DR,Palmer ML,et al. (2008). Magnitude of sarcomere extension correlates with initial sarcomere length during lengthening of activated single fibers from soleus muscle of rats. *Biophys J*, 95(4):1890-901.
- [9] 金其贯,刘霞,李淑艳,等.反复离心运动致骨骼肌超微结构变化的实验研究[J].西安体育学院学报,2010,27(4):454-456.

(责任编辑:何聪)