

# 一种大鼠跑台抗阻训练模型的构建

蔺海旗<sup>1</sup>, 王震<sup>2</sup>, 林文弢<sup>3</sup>

(1.华南理工大学体育学院, 广州 510641; 2.广东青年职业学院, 广州 510550; 3.广州体育学院, 广州 510500)

**[摘要]** 目的 构建一种大鼠跑台抗阻训练模型。方法 选用19月龄的雄性SD大鼠40只, 通过测试确定跑台放置的角度和速度, 并根据大鼠尾部负重负荷及全血乳酸的变化来确定抗阻训练模型的运动方案。结果 大鼠在坡度35°跑台, 以15 m/min跑速进行抗阻训练, 运动效果较好。运动8~15 s时, 全血乳酸浓度均值为3.8~5.2 mmol/L。根据能量代谢和全血乳酸半时反应情况, 设定大鼠抗阻训练跑15 s、间歇30 s为一次训练。每组4次训练后全血乳酸浓度较为稳定; 每组间歇3 min, 每天3组, 全血乳酸浓度为4~5 mmol/L。结论 通过设置跑台的坡度、速度和大鼠尾部负重等参数, 建立了一种大鼠跑台抗阻训练模型。

**[关键词]** 大鼠; 抗阻训练; 动物跑台; 模型

**[中图分类号]** Q95-33; R-33 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1674-5817(2021)02-0143-05

## Establishment of a Resistance Training Model for Rats

LIN Haiqi<sup>1</sup>, WANG Zhen<sup>2</sup>, LIN Wentao<sup>3</sup>

(1. School of Physical Education, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China; 2. Guangdong Youth Vocational College, Guangzhou 510550, China; 3. Guangzhou Sports University, Guangzhou 510500, China)

Correspondence to: LIN Wentao, E-mail: gtwlin@126.com

**[Abstract]** **Objective** This study discusses the construction of a resistance training model for rats using a treadmill. **Methods** A total of 40 male SD rats aged 19 months were selected to determine the conditions for the establishment of a resistance training model. To this end, the angle and speed of the treadmill were measured, the changes of the rat tail load and lactic acid levels in their blood were tested. **Results** Rats underwent resistance training on the treadmill at an incline of 35° and a running speed of 15 m/min, the exercise regimen significantly improved. After exercising for 8-15 s, the average blood lactic acid concentration was 3.8-5.2 mmol/L. According to the energy metabolism and blood lactic acid half-time response, the resistance training of rats was performed as one training session for 15 s and 30 s intervals. After 4 training sessions in each group, the blood lactic acid concentration was relatively stable. The blood lactic acid concentration was 4-5 mmol/L after resistance training for 3 groups per day and 3 min intervals between groups. **Conclusion** A resistance training model in rats is established based on the incline, speed of the rat treadmill, and the tail load of rats.

**[Key words]** Rats; Resistance training; Treadmill; Model

抗阻训练是提高肌肉质量和体积的有效训练方法<sup>[1-4]</sup>。近年来抗阻训练研究多数以大鼠建模为主<sup>[5-8]</sup>。研究运动员力量训练所适应的生理机制、

机体康复和力量训练效果, 以及老年人力量训练的风险性和合理性时, 均采用抗阻训练作为研究手段。而且研究者常采用不同的实验方案, 模拟

**[基金项目]** 教育部人文社会科学研究青年基金项目(20YJCZH090); 广东省哲学社会科学“十三五”规划项目(GD19YTY01); 广东省教育科学“十三五”规划项目(2018GXJK001); 广州市哲学社会科学“十三五”规划2020年度项目(2020GZGJ37)

**[作者简介]** 蔺海旗(1985—), 男, 博士研究生, 实验师, 研究方向: 运动健康促进。E-mail: sphqlin@scut.edu.cn

**[通信作者]** 林文弢(1957—), 男, 学士, 教授, 研究方向: 运动生物化学与健康促进。E-mail: gtwlin@126.com

人体抗阻运动规律,建立大鼠抗阻训练模型<sup>[9-13]</sup>。动物抗阻训练模型中常见有爬梯、跑台等方式,但爬梯抗阻模式时大鼠缺少运动的自主性,训练效果欠佳。同时,现有训练模型的运动量、负荷强度、间歇时间和运动频度等难以监控,影响抗阻训练研究的开展。因此,如何设计有效的抗阻训练模型是开展抗阻训练研究的首要任务,也是众多学者研究的焦点。本研究结合以往抗阻训练模型的优点与不足,利用跑台建立大鼠抗阻训练模型,以期抗阻训练研究提供简便、有效的训练手段和方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验动物

SPF级19月龄雄性SD大鼠40只,购自广东省医学实验动物中心[SCXK(粤)2018-0002],体质量为 $(780 \pm 30)$  g。所有大鼠分笼饲养于华南理工大学医学院 SPF级动物实验中心[SYXK(粤)2017-0178],每笼4只,温度25℃左右,湿度50%~60%,昼夜节律光照。适应喂养后,随机挑选8只进行跑台坡度、速度和负重3个参数的抗阻训练联合实验,其余随机分为对照组、抗阻训练1组、抗阻训练2组和抗阻训练3组,每组8只。本研究经华南理工大学伦理委员会核准(编号:2018SDL012)。

### 1.2 试剂与仪器

德国EKF Biosen C-line 血糖/乳酸分析仪购自盼乐(上海)贸易有限公司。乳酸分析仪的酶膜、标准液和缓冲液购自深圳市格林斯仪器有限公司。医用棉布基胶带、纱布、沙袋、棉绳,以及改良的动物实验跑台(型号:DB030)均购自北京智鼠多宝生物科技有限责任公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 构建大鼠跑台抗阻训练模型

负重爬坡运动是运动训练中常见的抗阻训练模式,运动过程中不仅要克服自身体质量,而且要克服额外的负重。基于负重爬坡运动模式的启发,设计跑台抗阻训练模型:利用可升降支柱将跑台支撑距离地面高度约1 m,调节跑台坡度,跑道粘贴防滑纱布;利用跑台自有的电动装置,调节旋钮,进行配速;根据大鼠尾部最大负重制

作相应百分比的沙袋,作为抗阻训练的负重物,抗阻训练时用棉绳系于大鼠尾部(图1)。根据抗阻训练实验方案的需求,确定运动训练强度、负荷量、训练周期和间歇时间等运动要素。

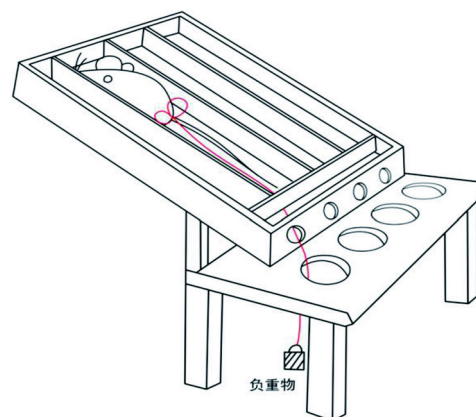


图1 大鼠跑台抗阻训练模型简图

Figure 1 Schematic diagram of resistance training model for rats using a treadmill

#### 1.3.2 大鼠跑台抗阻训练联合实验

在跑台坡度分别为20°、25°、30°、35°和40°,跑台速度分别控制在10、15、20、25、30、35和40 m/min的条件下,大鼠进行抗阻训练。观察大鼠的运动表现,以确定抗阻训练模型的适宜坡度和跑台速度。

#### 1.3.3 大鼠跑台抗阻训练负荷强度实验

在确定大鼠抗阻训练模型适宜坡度和跑速的基础上,分别进行1~6次,每次15 s,间歇30 s的斜坡跑;并在每次运动后90 s,用毛细血管于大鼠尾部取血10 μL,测试全血乳酸浓度,以确定每次适宜的组数及每组间歇时间。以大鼠尾部负重后仅能在跑台爬行为标准来确定大鼠最大负重量,并分别以各个大鼠最大负重的30%、70%作为负重量进行跑台抗阻训练,同时测试全血乳酸浓度以确定运动强度。

### 1.4 统计学分析

采用SPSS 18.0统计学软件对各实验结果数据进行统计分析。所有实验结果数据均采用 $\bar{x} \pm s$ 表示。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 大鼠跑台抗阻训练的坡度与跑速

大鼠在不同的跑台坡度和速度下分别进行运

动，观察记录大鼠运动状态。由表 1 可见，跑台坡度为 30°、跑速 < 15 m/min 时，大鼠可自主跑动且无需驱赶；跑速为 20~25 m/min 时，大鼠需驱赶才能进行短时间的跑动；跑速 > 30 m/min 时，大鼠不能跟进跑台速度，无法进行有效运动。跑台坡度为 35°、跑速 ≤ 15 m/min 时，大鼠可自主跑动；跑速 ≥ 20 m/min 时，大鼠需驱赶才能进行运动。跑台坡度为 40°、速度 ≤ 15 m/min 时，驱赶下大鼠费力在跑台上跑动，伴有跳跃式奔

跑；在此坡度和速度下，额外增加负重时，大鼠将无法完成抗阻运动；速度 ≥ 20 m/min 时，多数大鼠自动从跑台上滑下，无法跑动，大鼠跑动效果很差。

根据抗阻训练实验的目的需求，即发展骨骼肌最大力量和爆发力，大鼠跑台抗阻训练模型的坡度和跑速需适宜。因此，综合考虑认为，跑台坡度 35°、跑速 15 m/min 为大鼠跑台抗阻训练模型较理想的坡度和速度。

表 1 不同坡度和跑速下大鼠运动状态  
Table 1 The motion state of rats under different inclines and running speeds

| 坡度  | 运动时间 /min | 跑速 / (m · min <sup>-1</sup> ) |    |    |    |    |    |
|-----|-----------|-------------------------------|----|----|----|----|----|
|     |           | 10                            | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 |
| 20° | 2         | ①                             | ①  | ②  | ③  | ④  | ⑤  |
|     | 3         | ①                             | ②  | ④  | ⑤  | ⑤  | ⑤  |
| 25° | 2         | ①                             | ①  | ②  | ③  | ④  | ⑤  |
|     | 3         | ①                             | ②  | ③  | ④  | ⑤  | ⑤  |
| 30° | 2         | ①                             | ②  | ③  | ④  | ⑤  | ⑤  |
|     | 3         | ①                             | ③  | ③  | ④  | ⑤  | ⑤  |
| 35° | 2         | ①                             | ②  | ③  | ④  | ⑤  | ⑤  |
|     | 3         | ②                             | ④  | ⑤  | ⑤  | ⑤  | ⑤  |
| 40° | 2         | ④                             | ⑤  | ⑤  | ⑤  | ⑤  | ⑤  |
|     | 3         | ⑤                             | ⑤  | ⑤  | ⑤  | ⑤  | ⑤  |

注：①轻松完成；②较费力完成；③费力完成；④驱赶完成；⑤驱赶不能完成。

2.2 大鼠跑台抗阻训练的运动方案

2.2.1 强度的确定

大鼠在跑台坡度 35°、跑速 15 m/min 条件下进行抗阻训练。通过测试抗阻训练运动后全血乳酸浓度的变化来确定训练强度。每次训练持续时间分别是 8、9、10、11、12、14、15、16 和 17 s，各运动时间后测试全血乳酸浓度。运动 8~15 s 时，全血乳酸浓度均值为 3.8~5.2 mmol/L；运动 16 s 和 17 s 后，全血乳酸浓度分别为 5.8 mmol/L 和 6.7 mmol/L。由此可见，每次训练 15 s 较为适宜，因为运动中全血乳酸浓度 < 5 mmol/L，表明骨骼肌主要以磷酸原系统供能为主，糖酵解供能比例较低<sup>[14]</sup>。同时，由于全血乳酸的半时反应时间为 30 s，确定大鼠抗阻训练跑 15 s、间歇 30 s 为一次训练。

为确定每组抗阻训练次数，分别测试大鼠抗阻训练前安静时以及分别进行 1~6 次训练后的全血乳酸浓度。由表 2 可见，大鼠跑 15 s、间歇

30 s，2 次训练后全血乳酸浓度开始升高，2~4 次训练后全血乳酸浓度较为稳定；训练 5 次后全血乳酸浓度大幅升高，超过 5 mmol/L，达到大鼠乳酸阈强度<sup>[5]</sup>。因此，基于抗阻训练的实验目的，每组训练次数以 4 次为宜。

2.2.2 负重量的确定

以大鼠尾部负重后能沿跑台爬行为标准，测试大鼠最大负重量。然后分别以大鼠最大负重

表 2 不同次数抗阻训练后大鼠全血乳酸的变化  
Table 2 Changes of blood lactic acid levels in rats after undergoing resistance training of different intensities

| 大鼠编号 | 训练次数 | 不同状态下血乳酸浓度 / (mmol · L <sup>-1</sup> ) |          |
|------|------|----------------------------------------|----------|
|      |      | 安静状态                                   | 15 s 跑之后 |
| 1    | 1    | 1.54                                   | 2.05     |
| 2    | 2    | 1.62                                   | 4.11     |
| 3    | 3    | 1.96                                   | 4.19     |
| 4    | 4    | 2.01                                   | 4.18     |
| 5    | 5    | 1.73                                   | 5.67     |
| 6    | 6    | 1.84                                   | 7.33     |

的 30%、70% 来进行跑台抗阻训练, 并检测全血乳酸浓度, 方案同确定强度的测试。由表 3 可见, 大鼠以最大负重的 30%、70% 进行尾部负重, 跑 15 s、间歇 30 s 为 1 次, 在跑完 4 次后全血乳酸浓度均接近 5 mmol/L, 而在 5 次训练后全血乳酸浓度均超过 5 mmol/L。结合骨骼肌能量

代谢特点<sup>[14]</sup>, 分别以最大负重的 30%、70% 训练 4 次时主要以磷酸原系统供能为主。可见, 大鼠跑台抗阻训练强度为跑 15 s 间歇 30 s 时, 负重量以大鼠尾部最大负重的中低强度为宜; 其他负重量可根据实验需要确定。表 3 结果进一步表明每组训练次数以 4 次为宜。

表 3 不同负重训练后大鼠血乳酸的变化

Table 3 Changes of blood lactic acid levels in rats after undergoing different weight training

| 次数 | 尾部最大负重/g | 30% 最大负重/g | 70% 最大负重/g | 以不同负重跑 15 s 后的血乳酸浓度/(mmol · L <sup>-1</sup> ) |          |
|----|----------|------------|------------|-----------------------------------------------|----------|
|    |          |            |            | 30% 最大负重                                      | 70% 最大负重 |
| 1  | 246      | 73.8       | 172.2      | 1.86                                          | 1.89     |
| 2  | 246      | 73.8       | 172.2      | 2.98                                          | 3.19     |
| 3  | 246      | 73.8       | 172.2      | 3.68                                          | 3.75     |
| 4  | 264      | 79.2       | 184.8      | 4.78                                          | 4.88     |
| 5  | 288      | 86.4       | 201.6      | 5.37                                          | 5.75     |
| 6  | 271      | 81.3       | 189.7      | 6.61                                          | 6.57     |

### 2.2.3 抗阻训练组数和间歇时间的确定

为确定本抗阻训练模型的训练组数和每组间歇时间, 进一步设置间歇时间分别为 1、3、5 min, 各训练 1~5 组后检测大鼠全血乳酸浓度。结果表明, 每组间歇 1 min, 抗阻训练 1、2、3、4、5 组后, 大鼠全血乳酸浓度均在 6.8 mmol/L 以上, 最高达 18 mmol/L。每组间歇 3 min, 抗阻训练 1、2、3 组后, 大鼠全血乳酸浓度逐渐升高, 最高为 5.35 mmol/L, 而第 4、5 组后全血乳酸浓度下降。每组间歇 5 min, 抗阻训练 1、2、3、4、5 组后大鼠全血乳酸浓度均为 4~5 mmol/L, 变化不大。因此, 大鼠跑台抗阻训练模型每天训练组数为 3 组, 每组间歇 3 min 为宜。

### 2.2.4 每周训练次数的确定

根据抗阻训练的原理, 力量训练一般是隔日训练, 抗阻训练每周安排 3~4 次为宜<sup>[15]</sup>。具体可根据实验设计需求, 确定每周训练的次数。

### 2.2.5 大鼠跑台抗阻训练模型的确定

结合上述实验结果, 确定本研究大鼠跑台抗阻训练模型方案: 跑台坡度 35°, 跑速 15 m/min; 总体训练时间(含训练、休息)为 37 min; 尾部负重量以最大负重量的中低强度为宜, 其余按需确定; 跑速 15 m/min 训练 15 s、休息 30 s 为 1 次, 4 次/组, 3 组/d, 每组间歇 3 min; 隔日训练。

## 3 讨论

抗阻训练是有效改善机体肌肉和骨骼系统功能的运动方式之一<sup>[1-2]</sup>。作为一种非药物治疗的康复运动策略与手段, 抗阻训练已被用于改善老年人葡萄糖耐量和全身胰岛素敏感性<sup>[16]</sup>。而且无论是运动员力量训练、疾病康复, 还是少年、中年、老年人增强身体机能, 较为有效的手段均是抗阻力量训练, 但该训练需要有一定的科学性和严密的训练计划。

大鼠抗阻训练是研究肌肉骨骼功能改善机制的主要方式<sup>[5-8]</sup>, 但大鼠抗阻训练与人体实际运动相比, 存在不同之处。如何利用动物实验模拟、重现人体的抗阻训练是实验的难点。目前常见的大鼠抗阻训练模型主要有尾部负重爬高、身体负重跳跃/蹲起、神经肌肉电刺激及操作制约训练等四类<sup>[3]</sup>, 而国内较为常用的是动物跑台尾部负重跑和尾部负重爬梯、爬网格模型。研究者开发了动物抗阻训练设备和系统, 利用操作性条件反射系统, 由声音和光建立条件反射, 致使大鼠举重, 但该训练条件不易控制, 步骤多且繁琐, 难以实现<sup>[17]</sup>。而神经肌肉电刺激举重抗阻模型是通过不间断持续电刺激实验动物尾部以使大鼠伸腿举重<sup>[18]</sup>, 大鼠非常痛苦, 一定程度上违背伦理道德。

目前, 大鼠抗阻训练模型存在仪器设备要求

苛刻、模型操作复杂、训练过程不易监控、费时费力、训练时大鼠应激过大、缺乏主动性等难以克服的缺点,致使实验研究时难以定量运动的强度、次数、组数以及每组间歇时间等,进而影响研究效果。鉴于此,本研究采用改良的实验动物跑台构建大鼠跑台抗阻训练模型。实验结果显示,本研究的大鼠跑台抗阻训练模型具有一定的优点:大鼠跑台训练技术成熟,易于操作,同时大鼠进行跑台爬坡运动更贴近鼠类的生活习性,抵触情绪较小,很好地解决了大鼠运动时的主动性,以及运动量和强度等因素无法控制的难点。

大鼠跑台抗阻训练模型的建立对于增龄性肌肉骨骼系统研究具有重要意义。而且大鼠尾部负重抗阻力量训练能促进大鼠骨骼肌蛋白质的合成,维持肌肉质量。本研究从大鼠训练过程中进行行为学观察和实验证实,利用跑台成功建立抗阻训练模型,适用于抗阻训练的实验研究<sup>[19-20]</sup>。本研究中,大鼠跑台抗阻训练模型要求尾部包裹固定负重物的操作者具有较丰富的经验,能够很好地控制纱布包裹大鼠尾部的松紧程度,以防止尾套包裹过紧或过松:过紧易使尾部供血不足,损伤尾部;过松则粘贴不牢易脱落,影响造模成功率。另外,抗阻训练模型跑台坡度的设定应是大鼠能够在跑台上跑动的最大坡度,跑速为小鼠能够承受的最大速度。跑台坡度和速度的设置需结合大鼠跑动时的行为学观察表现来综合考虑。运动训练时要有足够的休息时间:组间休息不足,肌肉疲劳不能维持预定的训练量和负荷,影响训练效果;而每组间歇3~5 min能有效维持组间训练强度<sup>[6]</sup>。

需要说明的是,如何结合实际研究需要,合理调整运动训练周数、次数、组数、间歇时间等,进而有效控制运动量和强度,改良大鼠跑台抗阻训练模型构建的其他因素,尽可能地降低研究过程中存在的偏倚,这些均有待进一步研究探讨。

#### 参考文献:

- [1] KOO J H, KANG E B, CHO J Y. Resistance exercise improves mitochondrial quality control in a rat model of sporadic inclusion body myositis[J]. *Gerontology*, 2019, 65(3):240-252. DOI:10.1159/000494723.
- [2] BARBOSA M R, SHIGUEMOTO G E, TOMAZ L M, et al. Resistance training and ovariectomy: Antagonistic effects in mitochondrial biogenesis markers in rat skeletal muscle[J]. *Int J Sports Med*, 2016, 37(11):841-848. DOI:10.1055/s-0042-107247.
- [3] 胡敏, 邹亮畴, 刘承宜, 等. 大鼠抗阻训练模型的归类与分析[J]. *广州体育学院学报*, 2009, 29(5):91-96. DOI:10.13830/j.cnki.cn44-1129/g8.2009.05.001.
- [4] ATO S, KIDO K, SASE K, et al. Response of resistance exercise-induced muscle protein synthesis and skeletal muscle hypertrophy are not enhanced after disuse muscle atrophy in rat[J]. *Front Physiol*, 2020, 11:469. DOI:10.3389/fphys.2020.00469.
- [5] 闫万军, 赵斌, 刘丰彬, 等. 负重跑训练对老龄大鼠肌肉丢失的影响[J]. *中国体育科技*, 2009, 45(4):120-124. DOI:10.16470/j.csst.2009.04.001.
- [6] MARQUETI R C, DURIGAN J L Q, OLIVEIRA A J S, et al. Effects of aging and resistance training in rat tendon remodeling[J]. *FASEB J*, 2018, 32(1):353-368. DOI:10.1096/fj.201700543r.
- [7] 林文弢, 王震, 翁锡全, 等. 抗阻训练对衰老大鼠线粒体介导腓肠肌细胞凋亡通路相关因子表达影响的研究[J]. *中国运动医学杂志*, 2014, 33(10):994-997. DOI:10.16038/j.1000-6710.2014.10.011.
- [8] 王震, 林文弢, 翁锡全, 等. 抗阻训练对老龄大鼠腓肠肌  $Ca^{2+}$  及线粒体膜电位的影响[J]. *广州体育学院学报*, 2014, 34(2):85-88. DOI:10.13830/j.cnki.cn44-1129/g8.2014.02.024.
- [9] WILLARDSON J M. A brief review: Factors affecting the length of the rest interval between resistance exercise sets[J]. *J Strength Cond Res*, 2006, 20(4):978-984. DOI:10.1519/R-17995.1.
- [10] SABIDO R, HERNÁNDEZ-DAVÓJ L, CAPDEPON L, et al. How are mechanical, physiological, and perceptual variables affected by the rest interval between sets during a flywheel resistance session?[J]. *Front Physiol*, 2020, 11:663. DOI:10.3389/fphys.2020.00663.
- [11] 冯钰, 程泽鹏, 史仍飞. 骨骼肌肥大动物模型的研究进展[J]. *中国体育科技*, 2017, 53(6):79-84. DOI:10.16470/j.csst.201706009.
- [12] 任飞, 胡敏, 潘慧文, 等. 一种新型大鼠抗阻训练模型的建立[J]. *实验动物科学*, 2011, 28(1):52-53, 59. DOI:10.3969/j.issn.1006-6179.2011.01.016.
- [13] 苏艳红, 袁乾坤, 肖蓉, 等. 抗阻训练对增龄大鼠骨骼肌线粒体功能的影响[J]. *中国应用生理学杂志*, 2020, 36(2):165-170, 175. DOI:10.12047/j.cjap.5861.2020.037.
- [14] 林文弢. 运动生物化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2019.