

大鼠负重爬梯抗阻训练实验装置的改进

李鹏飞*, 房国梁, 李良

(国家体育总局体育科学研究所 综合测试与实验中心, 北京 100061)

【摘要】 目的 探讨大鼠负重爬梯抗阻实验装置的改进, 观察改进装置的方法学、训练学和生物学效果。**方法** 36 只 SPF 级雄性 SD 大鼠随机分为安静对照组和训练组。对爬梯装置和负重装置进行分别改进后建立新的大鼠负重爬梯抗阻训练实验装置, 实验组大鼠用改进装置进行 8 周负重递增训练。观察改进后的训练装置操作效果; 动态观察实验组大鼠 8 周训练的平均最大负重变化; 比较负重爬梯训练对两组大鼠体重的影响。**结果** 改进后爬梯装置具有稳定性高、承重性好、易清洁的特性, 负重装置具有结实耐用、计算简易的特点, 实验员可单人操作完成训练全过程; 用改进装置训练大鼠 8 周后的平均最大负重可达 756 g; 用改进装置训练大鼠体重比安静对照组显著降低 ($P < 0.05$)。**结论** 改进的大鼠负重爬梯抗阻训练实验装置可为大鼠力量训练研究提供长期、反复的实验条件, 建议推广使用。

【关键词】 大鼠; 负重爬梯; 抗阻训练; 实验装置

【中图分类号】 Q95-33 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1005-4847(2017) 04-0450-06

Doi: 10. 3969/j. issn. 1005 - 4847. 2017. 04. 018

Improvement of the resistance exercise apparatus of climbing ladder with load on rats

LI Peng-fei*, FANG Guo-liang, LI Liang

(Integrated Test & Experimental Center, China Institute of Sport Science, Beijing 100061, China)

【Abstract】 Objective To improve the resistance exercise apparatus of climbing ladder with load on rats, and to observe the technological, athletic training and biological response to the improved experimental apparatus. **Methods** Thirty-six healthy SPF male Sprague-Dawley were randomly divided into control and exercise groups. The climbing ladder and weight bearing device were separately improved to develop a new resistance exercise apparatus of climbing ladder with load on rats. The exercise group took an 8-week incremental exercise program using this improved device. To observe the operation effect of this improved exercise apparatus. To observe the dynamic changes of average maximum load on SD rats from the exercise group during 8 weeks. To compare the effect of climbing ladder exercise with load on body weights of SD rats between the two groups. **Results** The improved climbing ladder was marked by the prioritization technique of architecture stabilization, weight bearing and easy cleaning. The improved bearing device has the advantages of being sturdy and durable, and simple method to calculating load. Moreover, the new experimental apparatus can be operated by one person during the exercise program. The average maximum load was successfully increased to 756 g after an 8-week exercise using the improved apparatus. Compared with the control group, the body weights of SD rats from the exercise group after training were significantly reduced ($P < 0.05$). **Conclusions** The improved resistance exercise apparatus of climbing ladder with load can provide a more endurable and repeatable process in the study of rat strength training and it is recommended to use this new device in future experimental research.

【Key words】 Rat; Climbing ladder with load; Resistance exercise; Experimental apparatus

Corresponding author: LI Peng-fei. E-mail: lipengfei@ciss.cn

[基金项目] 国家体育总局体育科学研究所基本科研业务费项目(编号: 基本 16-06、16-07)。

[通讯作者] 李鹏飞(1977-), 男, 高级实验师, 研究方向: 体育重点实验室测试与管理。E-mail: lipengfei@ciss.cn

众所周知,抗阻力量训练同有氧运动一样具有促进人体能量代谢和预防代谢性疾病的有益作用。在基础研究中,对实验动物开展模拟人类的力量训练,不言而喻具有一定难度。大鼠在骨骼肌结构和分子机理上与人体有很大相似度^[1],不少国外学者经常用大鼠开展抗阻力量训练实验装置和方法的研究,比如采用条件反射法、电刺激法、深水法等配合其他较复杂的装置诱导大鼠举起或背负重物进行抗阻训练^[2-4]。囿于这些装置或方法实验过程过于繁琐,应用报道并不十分理想。Lee 等^[5]于 2004 年首先报道了一种大鼠负重爬梯抗阻训练实验装置,该方法将负重物固定在大鼠尾部后让其攀爬一高倾斜角梯子,对抗自然重力和附加重物的双阻力,长期适应后,可以极大增加肢体力量,是目前相对较简易的大鼠抗阻力量训练实验装置。

当然,任何实验方法的不断改良对于方法的推广使用也十分重要^[6, 7]。例如在 Lee S 实验原理基础上,国内学者在研制高度可调节食物饮水盒、双面可折叠攀爬装置和负重立体袋等方面也进行了有意义的探索^[8-10]。但目前该实验装置在诸如攀爬安全性、稳定性、承重性、负重计算、控制训练时间、单人操作和易清洁等方面仍不尽如人意,需要进一步改进。因此,为促进 Lee S 实验装置和方法在大鼠力量训练研究中的进一步应用,本研究旨在介绍对大鼠负重爬梯抗阻训练实验装置的改进方法,并探讨改进后的方法学、训练学及生理学效果。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 实验动物

选用 SPF 级雄性 SD 大鼠 36 只,6 周龄。均购于北京维通利华实验动物技术有限公司【SCXK(京)2012-0001】,由国家体育总局体育科学研究所动物实验室【SYXK(京)2011-0030】饲养。饲养期间给予 SPF 级繁殖鼠料(由维通利华公司提供)及自由饮水,12 h 循环灯光,湿度 40%~60%,室温 18~24℃。适应环境 1 周后,随机分为安静对照组和训练组,每组 18 只。训练组采用负重递增力量训练法,安静对照组不训练,称量两组的训练前、后体重。本实验经过本单位伦理委员会批准(批准号:2016-011)。

1.1.2 仪器

改进的大鼠负重爬梯抗阻训练实验装置(实用新型专利;专利号 ZL 2016 2 0203540.4),SL-N 电子天平(民桥,中国)。

1.2 方法

1.2.1 大鼠负重爬梯抗阻训练实验装置的改进

改进的大鼠负重爬梯抗阻训练实验装置包括爬梯装置和负重装置两部分。

爬梯装置结构示意图如图 1 所示:主梯长度 1.1 m 保证大鼠连续向上攀爬 8~12 次,宽 18 cm 适应大鼠活动,台阶间隔 2 cm,80°高倾斜靠墙固定竖直放置;底部设计一长方体起步平台,顶部笼子为中空方体结构供大鼠训练间隔休息,大小为 20 cm × 20 cm × 20 cm,正面为动物进入笼子的门;爬梯两侧安装护板,上部以两支支撑杆连接护板和笼子底部边缘位置,下部以三角形支撑板固定在起步平台上;整体采用金属材质,并对台阶和笼门处打磨粗糙处理。

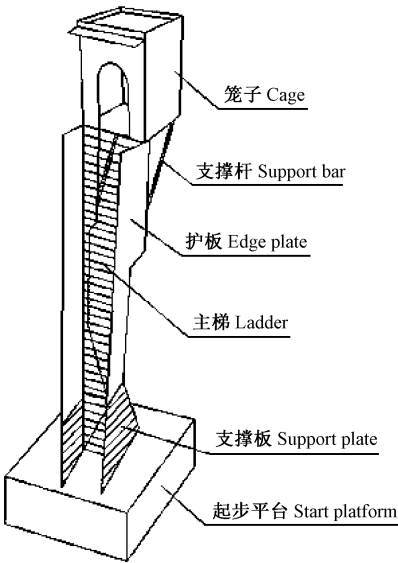
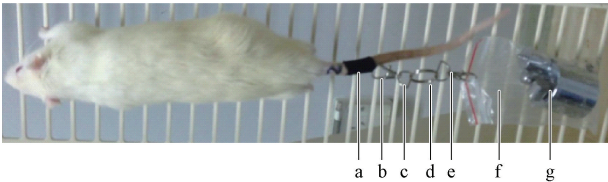


图 1 改进的大鼠爬梯装置结构示意图
Fig.1 Schematic diagram of the structure of the improved rat climbing ladder device

负重装置如图 2 所示:运动胶布裁剪成合适尺寸环形缠绕在大鼠尾根;已知标准质量的数个砝码装在坚固自封袋中;运动胶布和自封袋的连接方法——把常用的胸牌挂绳钩上的绳子剪去后只留下挂钩部分(包括一个半椭圆环和一个弹力钩),两个挂钩的半椭圆环部分用不锈钢钥匙环连接,因此形成挂钩-钥匙环-挂钩的连接装置,训练时两个挂钩的弹力钩部分则可方便地分别钩在运动胶布和自封袋口。

1.2.2 负重递增力量训练方法

采用 Safarzade^[11]法,简述:第 1 轮训练初始负重为大鼠体重的 75%,然后每次递增 30 g 负重,直到大鼠完成 8 次训练或已无法完成整个爬梯高



注:a:运动胶布;b:弹力钩;c:半椭圆环;d:钥匙环;
e:挂钩(剪去胸牌挂绳);f:自封袋;g:标准砝码。

图2 新负重装置

Note. a: Kinesio taping; b: Elastic hook; c: Semielliptical loop;
d: Key ring; e: Elastic hook and loop (badge sling cut off);
f: Valve bag; g: Standard weight.

Fig.2 The new weight bearing device

度,大鼠能够成功完成爬梯高度的最大负重是该轮最大负重并记录;下一轮训练前4次爬梯,负重分别为上轮最大负重的50%、75%、90%和100%,后4次爬梯每次递增负重30 g,直到大鼠完成8次训练或已无法完成整个爬梯高度,以确定新的最大负重并记录。以此类推,每3 d训练一轮,总计8周18轮。

1.2.3 操作方法

训练时,实验员A和实验员B独立操作,分别完成从负重装置连接到训练大鼠攀爬梯子的整个过程;每人每轮训练9只大鼠,按标记顺序交替进行;两人负责实施整个训练计划。

1.3 统计分析

训练学和生物学实验数据以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,采用Excel和SPSS统计软件进行统计分析,以 $P < 0.05$ 为差异显著的标准。

2 结果

2.1 方法学效果-改进的大鼠负重爬梯训练实验装置与原装置比较

本实验室在模拟Lee S实验(图3)过程中发现几个问题:1)由于大鼠的易动性,如何保证大鼠在起始及攀爬梯子过程中始终保持向上前行而不掉头或从旁边跳下;2)如果爬梯材质和重心设计不好,随着大鼠训练体重和负重的增加,爬梯在训练过程中有翻倒的危险;3)大鼠在训练过程中大量的便溺物使爬梯湿滑,不仅增加向上攀爬的难度,也十分不易清洁并影响长期训练效果。最关键的一点,大鼠尾部负重装置和方法还较繁琐,应思考如何在训练组次的较短间歇内用更简便的方法在大鼠尾部快速安装负重装置并能准确计算负重量。

本实验对大鼠负重爬梯实验装置进行技术改进后,通过两位实验员的8周实验操作表明能很好克

服上面提到的方法操作问题。与原装置相比,改进型在攀爬安全性、稳定性、承重性、负重计算、控制训练时间、单人操作和易清洁等方面都有了很好改善,具有显著的实验操作优势,并获得了实用新型专利授权,具体在讨论中详细介绍。图4所示为本实验使用改进的负重爬梯装置训练大鼠。

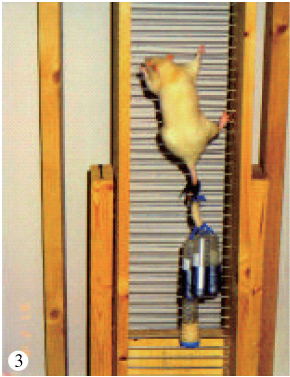


图3 Lee S报道的大鼠尾部负重爬梯

Fig.3 A photograph reported by Lee S of the ladder and weight suspension on the tail of a rat



图4 改进的负重爬梯实验装置训练大鼠

Fig.4 Exercise of a rat using the improved experimental device of climbing ladder with load

2.2 训练学效果-SD大鼠进行8周爬梯负重训练的平均最大负重变化

图5显示,随着训练轮数的增加,训练组SD大鼠每轮的平均最大负重也在逐渐增加,如从第1轮的平均185 g逐渐增加到第18轮的平均756 g。但增加的幅度呈现出逐渐减缓的特点,即从近百克到几十克,再到十几克,最后到几克。这一特点和人体力量训练负荷渐增现象颇为相似,体现出本实验装置在抗阻力量训练重现和模拟上的实用价值和重要意义。

2.3 生物学效果-SD大鼠进行8周爬梯负重训练对体重的影响

表1显示,爬梯训练前,训练组大鼠体重与对照组相比差异无显著性。但经过8周负重爬梯训练

后,训练组大鼠体重比对照组显著降低($P < 0.05$),表明采用本实验训练装置对大鼠生物学指标有明显效应。

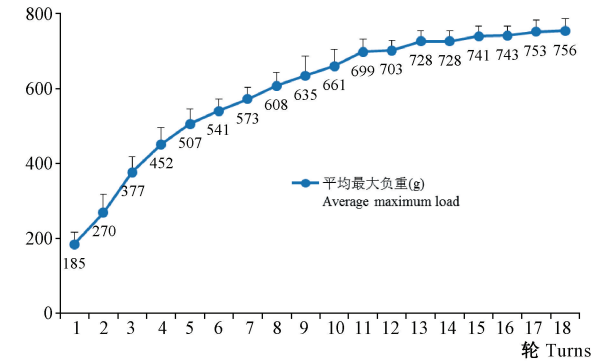


图5 SD大鼠进行8周爬梯抗阻训练的平均最大负重变化($\bar{x} \pm s, n = 18$)

Fig.5 Changes of average maximum load on the SD rats during an 8-week resistance exercise with climbing ladder

表1 爬梯负重训练对SD大鼠体重的影响($g, \bar{x} \pm s, n = 18$)

Tab.1 Effect of climbing ladder exercise with load on body weights of the SD rats		
组别 Groups	训练前体重 Body weights before training	训练后体重 Body weights after training
对照组 Control group	270.15 ± 18.67	545.49 ± 53.66
训练组 Exercise group	266.21 ± 25.64	475.97 ± 37.69*

注:与对照组比较,* $P < 0.05$ 。
Note. Compared with the control group, * $P < 0.05$.

3 讨论

抗阻力量训练(或抗阻训练)即在对抗阻力负荷的情况下重复完成某个力量性动作,它是改善人类骨骼肌功能的有效运动方式之一^[12]。研究表明,抗阻训练能使骨骼肌在支撑关节角度变化的过程中和在肌张力变化的情况下,完成骨骼肌的运动和维持功能,因此对骨骼肌功能是一个更全面的锻炼^[13]。但如何在实验动物身上模拟和重现人类抗阻训练,已经成为不小的实验难点。譬如国外报道的条件反射法大鼠举重训练装置,优点是光、声和气味刺激建立条件反射诱导动物举起重物,但实验环境不易控制,而且建立反射的步骤需要6个阶段,装置组件也接近20个^[2];再如电刺激大鼠举重装置,突出特点是举重装置设计了安全阀和休息阀,前者避免动物在举重深蹲动作中过度屈曲膝、踝关节,后者保证大鼠在休息时能放松下肢,但缺点是需要不断电刺激大鼠尾部使其重复伸腿以举起重物,

实验动物较痛苦^[3,14];还有一种深水负重装置是给大鼠穿上含负重的特制夹套,大鼠由于求生本能,在较深的水中必须用力跳出水面才能维持呼吸,但大鼠疲劳后容易产生强烈抵触情绪并有致死危险^[4,15]。另外,还有一些其他方法也都普遍存在训练负荷量和训练间歇不易设定、实验动物不能主动进行、实验所需时间较长、训练难度较大等不易克服的缺点^[16]。而Lee S报道的大鼠负重爬梯抗阻训练实验装置相比较而言就提供了一个更好的选择,该实验采用雄性大鼠负重攀爬的方式模拟人类负重跑的训练方式,本身包含了两种运动负荷形式—负重和攀爬,并构成两种阻力负荷,不但可以有效模拟人类力量训练方法中的负重跑这种形式,同时符合大鼠这种四足动物善于攀爬的天性,体现了大鼠全身综合的负重抗阻能力,能为大鼠负重训练方式和强度控制提供参考依据,并被多个实验模型所采用^[17-19]。

本实验室在Lee S实验基础上对大鼠负重爬梯实验装置进行了进一步技术改进,主要是对爬梯装置进行了重新设计,并构建了新的负重装置。其中对爬梯装置的改进体现在以下几点:1)爬梯底部设计有起步平台(起步平台下方还可进一步安装刹车滑轮,便于爬梯移动及移动后再固定)。该平台的特殊之处在于,它与爬梯连接处的左右宽度与主梯一致但前后进深较窄,从而保证大鼠开始攀爬时只能双后肢站立支撑开始向上起步,而不能四肢全支撑在平面上防止产生惰性而不向上攀爬,即确保大鼠起步姿势为俯卧向上攀爬式。同时两侧的护板能防止动物掉落,在保护动物的同时确保训练时唯一途径只能是向上到顶端,而不会中途跳下或掉下致受伤;2)爬梯顶部支撑杆和底部支撑板的稳定加固措施使爬梯整体重心下移,抓地性更好、支撑性更强,也更适合对动物进行反复训练;3)使用金属材质及打磨处理台阶和笼门后,使大鼠负重攀爬时爪子能牢固抓紧不易打滑,相比其他材料更能抵抗动物便溺物腐蚀,训练后清洁也非常容易。实验表明,爬梯改进后能承受多只(2~3只)正常体重(300 g)或肥胖大鼠(600 g)同时训练而不摇晃,能承受单只大鼠最大负重800 g砝码(8周时长)训练而不翻倒。

介于大鼠训练时的不易抓取和攻击性,对其尾部进行负重时,我们认为应统筹考虑以下原则:材料简单易得、连接拆分方便、负重坚实耐用、负荷计算准确、单人操作完成、兼顾动物福利。在进行多种尝试后,本实验室建立了一新的负重装置,实践表明该

装置具有以下优点:首先,用治疗运动损伤常用的运动胶布(或称之为康复肌贴)环形缠绕在大鼠尾根,其特点是:材料简单经济,运动胶布缠绕及拆下方法简单,便于标记数字,大鼠皮肤对运动胶布无不适反应并符合善待动物的伦理要求,且绑缚十分牢固即使在负重时也不脱落,但在每天训练后一定要及时取下缠绕的肌贴;其次,把已知标准质量的砝码装在合适尺寸自封 PE 袋中,其特点是:材料简单易购,砝码装载及取出方法简单,训练时对负荷量的计算准确、省时(只需数砝码数量),且装载十分牢固攀爬时砝码不会掉落,但应尽量选用小号的自封 PE 袋以节省空间;最后,挂钩-钥匙环-挂钩的连接装置不仅所用材料简单易得,而且各部分连接及拆分十分方便快捷,整体连接构思巧妙合理,是严格控制训练间歇和节省每轮训练时长的最为关键环节。实验表明,实验员 A 和实验员 B 都可在十数秒内安全且快速地完成上述缠绕胶布、装砝码及整体连接的安装及拆卸,能够保证每轮训练间歇为 2 min 以及单人训练 9 只大鼠时单轮训练时间控制在 2 h 左右,所以两个实验员主观感觉每轮实验都并不十分疲劳,而且这样的负重计算简易、装置结实耐用,从而可为大鼠抗阻力量训练提供长期、反复的实验条件。

根据大鼠最大负重能力,参考负荷递增训练的相关负荷划分^[11, 20],本实验室以改进后的大鼠负重爬梯抗阻训练实验装置对 SD 雄性大鼠进行了 8 周负重递增力量训练,以观察改进型的训练和生物效应。实验表明,用改进装置对大鼠进行长期训练后:纵向比较时,训练组大鼠的平均最大负重量可逐步增加到 756 g,说明锻炼后大鼠力量素质增加,可以取得较满意的模拟训练效果;横向比较时,训练组大鼠的体重下降较大,与同时期不训练组相比具有显著统计学差异($P < 0.05$),初步说明锻炼后大鼠身体素质改善,具有显著的生理实验反应,从而为后续进一步探讨大鼠负重或抗阻能力随年龄变化的规律奠定了必要的工作铺垫,具备了继续深入开展机制研究的实验基础,建议推广使用。

参 考 文 献

- [1] 王慧敏, 都健, 裴丽娜, 等. 运动干预对胰岛素抵抗大鼠骨骼肌 IL-1 β 表达的影响 [J]. 中国实验动物学报, 2009, 17(6): 439–441.
- [2] Nicastro H, Zanchi NE, da Luz CR, et al. An experimental model for resistance exercise in rodents [J]. J Biomed Biotechnol, 2012, 2012: 457065.
- [3] Tamaki T, Uchiyama S, Nakano S. A weight-lifting exercise model for inducing hypertrophy in the hindlimb muscles of rats [J]. Med Sci Sports Exerc, 1992, 24(8): 881–886.
- [4] Renno AC, Silveira Gomes AR, Nascimento RB, et al. Effects of a progressive loading exercise program on the bone and skeletal muscle properties of female osteopenic rats [J]. Exp Gerontol, 2007, 42(6): 517–522.
- [5] 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.
- [6] 陈绍春, 潘伟生, 李明, 等. 神经行为学实验 Narrow-Alley Test 及 Corner Test 改良: Narrow-Alley Corner Test [J]. 中国实验动物学报, 2007, 15(6): 406–407.
- [7] 李铁倬, 张娜, 田枫. 一种简易小鼠尾静脉注射固定法——笼盖压制法 [J]. 中国比较医学杂志, 2016, 26(10): 81.
- [8] 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.
- [9] 唐量, 刘晨涛. 动物抗阻力训练装置的研制 [J]. 高校实验室工作研究, 2015, 4: 146–147.
- [10] 刘焕滨, 江文锦, 刘雪萍, 等. 实验大鼠负重装置的研制 [J]. 中国医药科学, 2014, 4(4): 29–31.
- [11] Safarzade A, Talebi-Garakani E. Short term resistance training enhanced plasma apoA-I and FABP4 levels in streptozotocin-induced diabetic rats [J]. J Diabetes Metab Disord, 2014, 13(1): 41.
- [12] Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults [J]. Med Sci Sports Exerc, 2009, 41(3): 687–708.
- [13] Correa CS, Baroni BM, Radaelli R, et al. Effects of strength training and detraining on knee extensor strength, muscle volume and muscle quality in elderly women [J]. Age (Dordr), 2013, 35(5): 1899–1904.
- [14] Dos Santos JL, Dantas RE, Lima CA, et al. Protective effect of a hydroethanolic extract from Bowdichia virgilioides on muscular damage and oxidative stress caused by strenuous resistance training in rats [J]. J Int Soc Sports Nutr, 2014, 11(1): 58.
- [15] Haraguchi FK, de Brito Magalhães CL, Neves LX, et al. Whey protein modifies gene expression related to protein metabolism affecting muscle weight in resistance-exercised rats [J]. Nutrition, 2014, 30(7–8): 876–881.
- [16] 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): 91–94.
- [17] De Souza MR, Pimenta L, Pithon-Curi TC, et al. Effects of aerobic training, resistance training, or combined resistance-aerobic training on the left ventricular myocardium in a rat model [J]. Microsc Res Tech, 2014, 77(9): 727–734.
- [18] Leite RD, Durigan Rde C, de Souza Lino AD, et al. Resistance training may concomitantly benefit body composition, blood pressure and muscle MMP-2 activity on the left ventricle of high-fat fed diet rats [J]. Metabolism, 2013, 62(10): 1477–1484.
- [19] Talebi–Garakani E, Safarzade A. Resistance training decreases serum inflammatory markers in diabetic rats [J]. Endocrine, 2013, 43(3): 564–570.
- [20] Wirth O, Gregory EW, Cutlip RG, et al. Control and quantitation of voluntary weight-lifting performance of rats [J]. J Appl Physiol, 2003, 95(1): 402–412.