

玛咖对力竭运动后老年模型大鼠肾脏线粒体呼吸功能及抗衰老能力的影响

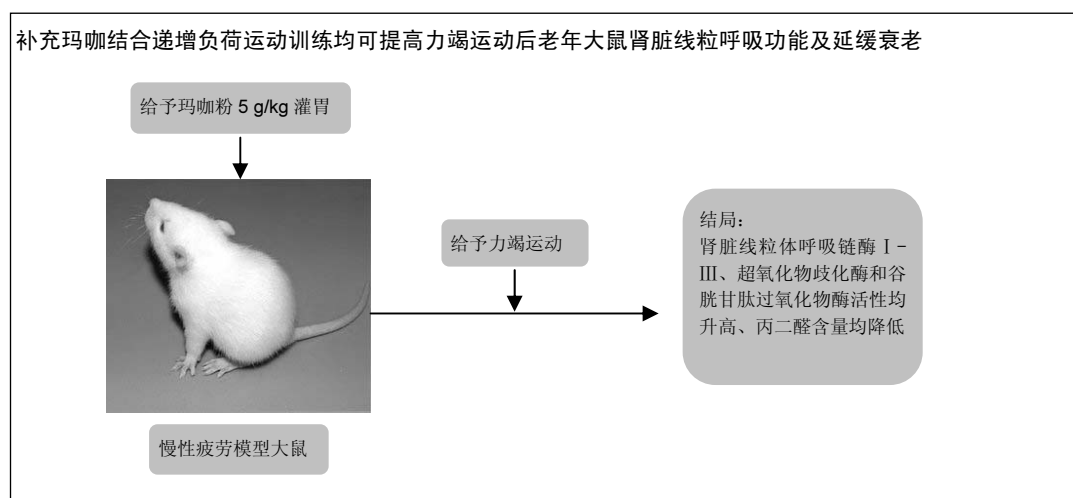
彭丽娜, 贾 鹏(廊坊师范学院体育学院, 河北省廊坊市 065000)

引用本文: 彭丽娜, 贾鹏. 玛咖对力竭运动后老年模型大鼠肾脏线粒体呼吸功能及抗衰老能力的影响[J]. 中国组织工程研究, 2016, 20(18): 2711-2716.

DOI: 10.3969/j.issn.2095-4344.2016.18.019

ORCID: 0000-0001-6969-9727(彭丽娜)

文章快速阅读:



彭丽娜, 女, 1983 年生, 河北省唐山市人, 汉族, 2009 于西北师范大学毕业, 硕士, 讲师, 主要从事运动性疲劳的发生机制及恢复手段研究。

通讯作者: 彭丽娜, 廊坊师范学院体育学院, 河北省廊坊市 065000

中图分类号: R318

文献标识码: B

文章编号: 2095-4344

(2016)18-02711-06

稿件接受: 2016-03-05

<http://www.crter.org>

文题释义:

呼吸链: 又叫电子传递链, 它的作用是接受代谢物脱下的氢经过一系列的传递体, 按一定顺序, 最终传递给氧原子生成水和逐渐释放 ATP 的过程。

玛咖: 是原产南美洲的一种十字花科植物, 叶子椭圆, 根茎形似小圆萝卜, 可食用, 是一种纯天然食品, 富含多种营养成分, 能延缓运动疲劳的发生, 延迟人体衰老。玛咖提取物包含 4 种生物碱、芥子油苷、多种维生素如蛋白质、氨基酸、多糖、矿物质和多种天然植物活性成分。

摘要

背景: 研究表明, 玛咖可增强细胞的免疫功能, 提高线粒体呼吸链酶活性, 起到抗氧化抗衰老的作用。

目的: 观察玛咖对力竭运动后老年大鼠肾脏线粒体呼吸功能及抗衰老能力的影响。

方法: 将 10 月龄老年大鼠每日灌胃 1 次玛咖粉剂(5 g/kg), 同时进行递增负荷跑台运动, 每周 5 d, 同时设对照组、玛咖组和运动组作对照。训练 6 周后, 各组大鼠均进行力竭运动(35 m/min), 随后即刻腹腔注射 2%戊巴比妥钠麻醉大鼠取出肾脏, 差速离心提取线粒体, 分光光度计测定线粒体呼吸链酶活性。

结果与结论: ①线粒体呼吸链酶及抗氧化酶活性: 与对照组、玛咖组和运动组相比, 玛咖+运动组线粒体呼吸链酶 I-III、超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性均升高($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)、丙二醛含量均降低($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$); ②结果说明: 补充玛咖结合递增负荷运动训练均可提高力竭运动后老年大鼠肾脏线粒呼吸功能, 延缓衰老, 且补充玛咖与递增负荷运动具有协同效应。

关键词:

实验动物; 运动系统动物模型; 玛咖; 递增负荷; 力竭; 运动; 老年; 大鼠; 肾脏; 线粒体; 呼吸链酶; 抗衰老

主题词:

组织工程; 模型; 动物; 线粒体

Peng Li-na, Master,
Lecturer, College of
Physical Education,
Langfang Teachers
University, Langfang
065000, Hebei Province,
China

Corresponding author:
Peng Li-na, College of
Physical Education,
Langfang Teachers
University, Langfang
065000, Hebei Province,
China

Effects of Maca on kidney mitochondrial respiratory function and anti-aging capabilities in aged rats after exhausted exercise

Peng Li-na, Jia Peng (College of Physical Education, Langfang Teachers University, Langfang 065000, Hebei Province, China)

Abstract

BACKGROUND: Studies have shown that Maca can enhance immune cell function, improve mitochondrial respiratory chain enzymes, and play a role in anti-oxidation and anti-aging.

OBJECTIVE: To observe Maca effects on kidney mitochondrial respiratory function and anti-aging capabilities in elderly rats after exhausted exercise.

METHODS: 10-month-old elderly rats were intragastrically administrated Maca powder 5 g/kg, once a day, and did treadmill exercise, 5 days in a week. Rats were randomly divided into control group, Maca group and training group and Maca+training group. At 6 weeks after training, rats in each group did exhausted exercise (35 m/min), and immediately received intraperitoneal injection of 2% sodium pentobarbital. The kidney was obtained, and mitochondria were extracted by differential centrifugation. A spectrophotometer was used to measure mitochondrial respiratory chain activity.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) Mitochondrial respiratory chain enzyme and antioxidant enzyme activity: mitochondrial respiratory chain enzyme I-III, superoxide dismutase and glutathione peroxidase activities were higher in the Maca+training group than in the control group, Maca group and training group ($P < 0.05$ or $P < 0.01$), but malondialdehyde content was lower ($P < 0.05$ or $P < 0.01$). (2) Results suggested that the combination of supplement Maca and incremental exercise can improve mitochondrial respiratory function and delay aging in the kidney of aged rats after exhausted exercise. Moreover, supplemented Maca and incremental exercise have a synergistic effect.

Subject headings: Tissue Engineering; Models, Animal; Mitochondria

Cite this article: Peng LN, Jia P. Effects of Maca on kidney mitochondrial respiratory function and anti-aging capabilities in aged rats after exhausted exercise. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2016;20(18): 2711-2716.

0 引言 Introduction

线粒体呼吸链酶的作用是接受氢原子或电子传递给氧最终形成 H_2O 和ATP, 为人体组织提供能量。线粒体呼吸链酶缺陷导致的线粒体病累及多个脏器(例如, 线粒体脑肌病、骨骼肌溶解等症状), 致残率高, 致死率高。

肾乃先天之本, 主骨生髓, 如果肾脏线粒体呼吸链酶失活容易引发糖尿病、心脏病等症状, 严重时导致猝死。玛咖富含多种营养成分^[1-3], 能延缓运动疲劳的发生, 延迟人体衰老^[4-7]。课题组前期研究成果表明, 玛咖可以提高大鼠骨骼肌线粒体呼吸链酶活性和抗氧化能力, 但存在组织差异性^[8], 目前, 玛咖结合递增负荷运动对于老年大鼠肾脏线粒体呼吸链酶活性的研究较少。

实验以老年大鼠为研究对象, 通过玛咖结合递增负荷跑台运动干预, 测试老年大鼠肾脏线粒体呼吸链酶的活性及相应的抗衰老指标, 探讨衰老发生的分子机制及相应的抗衰老手段, 为医务工作者合理地利用营养补剂结合训练手段延缓人体衰老作参考。实验打破了原来递增负荷中只增加速度而时间不变的训练模式, 更加突出

了小幅度增加速度也间接延长时间的运动模式, 更加适用于老年人的锻炼方式。

1 材料和方法 Materials and methods

1.1 设计 随机对照动物模型实验。

1.2 时间及地点 于2014年5月至2015年8月在廊坊师范学院完成, 部分实验在廊坊市第一人民医院生化实验室完成。

1.3 造模动物 选取10月龄健康雄性Wistar大鼠48只, 体质量 (350 ± 20) g, 由北京维通利华实验动物技术有限公司提供。将48只Wistar大鼠随机分成4组, 分别为对照组(不训练、无玛咖)、玛咖组(不训练、喂玛咖)、运动组(训练、无玛咖)和玛咖+运动组(训练、喂玛咖), 每组12只, 分笼饲养, 每笼6只, 自由饮水。

1.4 造模方法 根据以往研究建立慢性疲劳模型大鼠的方法^[9-10], 运动组和玛咖+运动组大鼠进行6周递增负荷跑台运动, 每周5 d, 1次/d。速度15, 18, 20, 25, 28, 30 m/min, 时间为20, 30, 35, 40, 45, 50 min。玛咖组和玛咖+运动组大鼠训练结束, 每日给予大鼠玛咖粉5 g/kg^[11](秘鲁AGRO公司, 配制方法: 将5.0 g玛咖

粉剂加纯净水至100 mL,配成0.05 g/mL质量浓度溶液)灌胃。大鼠经过6周训练后,所有大鼠于第7周的周一上午进行1次性力竭运动,速度是35 m/min^[9],对照组除外。

1.5 造模成功的检测标准 要对力竭运动后肾脏线粒体呼吸链酶活性进行研究,成功建立动物模型无疑是非常关键的。目前中国学者在建立动物跑台模型时所采用的运动方式、负荷强度、量并无统一标准。结合实验结果看,此次实验所采用的造模训练方案均引起了大鼠肾脏线粒体呼吸链酶活性显著提高,这说明实验所采用的造模训练方案整体是比较合理的。

1.6 肾脏线粒体缓冲液、悬浮液的配制 缓冲液配制 250 mmol/L蔗糖(相对分子质量342.29)10 mmol/L Tris-HCl(相对分子质量121.14)5 mmol/L EDTA(相对分子质量372.24);悬浮液配制: 280 mmol/L蔗糖(相对分子质量342.29)0.5 mmol/L的EDTA(相对分子质量372.24)10 mmol/L Tris-HCl(相对分子质量121.14), pH 7.4, 备用。

1.7 肾脏标本制备及线粒体的提取 力竭后即刻腹腔注射体积分数2%戊巴比妥钠麻醉大鼠,迅速取出肾脏组织,在预冷生理盐水中除去脂肪、筋膜等结缔组织后,冰浴中剪成碎块,并在按体积比1:5加入缓冲液匀浆,每次匀浆30 s,间隔30 s,反复3次,制成匀浆液。匀浆液在0-4℃下,离心600 r/min, 15 min,弃沉淀,取上清液;所得沉淀用适量缓冲液充分反复吹打悬浮后再离心12 000 r/min, 15 min,弃上清液,取沉淀,在4℃下,与250 mmol/L蔗糖混合后再离心12 000 r/min, 10 min,所得沉淀物即为肾脏线粒体小球^[12]。

1.8 肾脏线粒体呼吸链酶活性、线粒体超氧化物歧化酶、线粒体谷胱甘肽过氧化物酶活性、丙二醛含量测定 室温下测定肾脏线粒体呼吸链酶活性。将10 μL线粒体蛋白加入到酶线粒体呼吸链酶I-IV反应缓冲液2 mL中,3 min内连续测定紫外线波长340, 600, 550, 550 nm处NADH, FADH₂, 细胞色素C还原酶与细胞色素C氧化酶吸光值的变化,以此表示肾脏线粒体呼吸链酶线粒体呼吸链酶I-IV的活性^[13]。

超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶活性、丙二醛含量测定,严格按照测试盒的操作程序进行(南京建成生物工程研究所)。考马斯亮蓝G250测定蛋白含量。

1.9 主要观察指标 各组线粒体呼吸链酶I-IV、线粒体谷胱甘肽过氧化物酶、超氧化物歧化酶活性及丙二醛

含量变化。

1.10 统计学分析 采用SPSS 19.0统计学软件进行数据分析,所有数据均用 $\bar{x} \pm s$ 表示,数据符合正态分布,组间数据差异比较采用单因素方差分析和LSD检验, $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

2 结果 Results

2.1 实验动物数量分析 大鼠64只依跑台适应情况,淘汰不能运动或运动时出现炎症者,最终保留48只进入结果分析。

2.2 模型创新性 实验设计从运动速度到运动时间都呈现小幅度递增趋势,改变了以往的递增负荷中只增加速度而时间不变的模式,更加突出了小幅度增加速度也间接延长时间的运动模式。

2.3 模型稳定性 小幅度增加速度也间接延长时间的运动模式,更加适用老年人的锻炼方式,把对于老年大鼠的动物训练模型转移到临床应用之上。

2.4 玛咖结合递增负荷运动对力竭运动后老年大鼠肾脏线粒体呼吸功能的影响 与对照组比较,玛咖组大鼠肾脏线粒体呼吸链酶I-IV活性均出现升高趋势。线粒体呼吸链酶与对照组比较,玛咖组大鼠肾脏线粒体呼吸链酶I-IV活性均出现升高趋势。线粒体呼吸链酶I, III活性提高30.61%和27.48%($P < 0.05$),线粒体呼吸链酶II提高42.63%($P < 0.01$),线粒体呼吸链酶IV活性提高了14.28%($P > 0.05$);与对照组比较,运动组线粒体呼吸链酶I, II活性分别提高24.66%和26.53%($P < 0.05$),线粒体呼吸链酶III提高了50.22%($P < 0.01$),线粒体呼吸链酶IV提高了11.09%($P > 0.05$);与对照组比较,玛咖+运动组大鼠肾脏线粒体呼吸链酶I, II, III活性分别提高58.82%, 60.99%和71.68%($P < 0.01$),线粒体呼吸链酶IV活性提高了29.88%($P > 0.05$)。与玛咖组比较,玛咖+运动组大鼠肾脏线粒体呼吸链酶I, IV活性均呈现升高趋势,线粒体呼吸链酶I, III活性提高了40.65%和60.95%($P < 0.01$),线粒体呼吸链酶II活性提高了31.99%($P < 0.05$);线粒体呼吸链酶IV活性提高了18.19%($P > 0.05$)。与运动组比较,玛咖+运动组线粒体呼吸链酶I, II, III活性分别提高45.34%, 46.89%和43.10%($P < 0.01$),线粒体呼吸链酶IV活性提高了12.03%($P > 0.05$)。见表1。

2.5 玛咖结合递增负荷运动对力竭运动后老年大鼠肾脏抗衰老能力的影响 与对照组比较,玛咖组、运动组、玛咖+运动组大鼠肾脏线粒体谷胱甘肽过氧化物酶活性

表 1 玛咖结合递增负荷运动对力竭运动后老年大鼠肾脏线粒体呼吸功能的影响

[$\bar{x} \pm s$, $n=12$, mmol/(min·g)]

Table 1 Effects of Maca combined incremental exercise on kidney mitochondrial respiratory function in aged rats after exhausted exercise

组别	肾脏线粒体呼吸链酶			
	I	II	III	IV
对照组	6.423±1.158	10.429±0.111	4.349±1.332	7.706±1.509
玛咖组	9.257±0.356 ^a	18.178±0.217 ^b	5.997±1.667 ^a	8.990±2.114
运动组	8.525±1.203 ^a	14.195±0.206 ^a	8.737±1.279 ^b	9.667±3.243
玛咖+运动组	15.597±2.532 ^{bd}	26.731±10.102 ^{bc}	15.356±4.923 ^{bd}	10.989±3.064

表注: 与对照组比较, ^a $P < 0.05$, ^b $P < 0.05$; 与玛咖组比较, ^c $P < 0.05$, ^d $P < 0.05$ 。表 2 玛咖结合递增负荷运动对力竭运动后老年大鼠肾脏抗衰老能力的影响 ($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Effects of Maca combined incremental exercise on kidney anti-aging ability in aged rats after exhausted exercise

组别	谷胱甘肽过氧化物酶(U/mg)	超氧化物歧化酶(U/mg)	丙二醛含量(μmol/g)
对照组	45.24±2.35	38.32±11.56	22.65±0.29
玛咖组	66.57±1.98 ^a	51.84±10.13 ^a	30.94±0.56 ^a
运动组	69.46±4.75 ^a	59.90±12.07 ^a	28.51±1.59 ^a
玛咖+运动组	89.05±10.79 ^{bc}	70.13±10.90 ^{bc}	26.34±0.84

表注: 与对照组比较, ^a $P < 0.05$, ^b $P < 0.05$; 与玛咖组比较, ^c $P < 0.05$, ^d $P < 0.05$ 。

分别提高了32.04%, 34.87%和49.20%($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$); 与对照组比较, 玛咖组、运动组和玛咖+运动组超氧化物歧化酶活性分别升高26.08%, 36.03%和45.36%($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。玛咖组、运动组、玛咖+运动组大鼠肾脏线粒体丙二醛含量均高于对照组, 玛咖组、运动组分别提高了26.79%和20.55%($P < 0.05$), 玛咖+运动组丙二醛含量提高了14.01%($P > 0.05$)。与玛咖组比较, 玛咖+运动组谷胱甘肽过氧化物酶、超氧化物歧化酶活性分别提高了25.24%, 26.08%($P < 0.05$); 丙二醛含量下降了14.87%($P > 0.05$)。与运动组相比, 玛咖+运动组谷胱甘肽过氧化物酶活性提高了21.99%($P < 0.05$); 超氧化物歧化酶活性提高14.59%($P > 0.05$), 丙二醛含量下降了7.61%($P > 0.05$)。见表2。

3 讨论 Discussion

3.1 模型创新性、材料、方法的改进及应用价值 关于慢性疲劳模型, 赵俊等^[14]提到方剑乔采取 10, 15, 20, 24, 28 m/min 的速度每天运动 10 min, 随后第 7

周转至 28 m/min 速度运动直至力竭; 王洲等^[15]采用速度为 16 m/min, 总运动时间 90 min。田野等^[9]在递增负荷中采用速度为 15, 22, 27, 31, 35 m/min 速度运动 20 min 的模型。

结合以上造模方案, 实验设计从运动速度到运动时间都呈现小幅度递增趋势, 改变了以往的递增负荷中只增加速度而时间不变的模式, 更加突出了小幅度增加速度也间接延长时间的运动模式, 并且结合实验结果看, 均引起了大鼠肾脏线粒体呼吸链酶, 抗氧化酶活性显著提高, 这说明实验所采用的造模训练方案整体是比较合理的, 可把对于老年大鼠的动物训练模型转移到临床实践之上。另外, 实验在实验仪器和测试手段上也有所改进。

3.2 玛咖结合递增负荷运动对力竭运动后老年大鼠肾脏线粒体呼吸功能的影响 研究表明, 长时间有氧运动训练可以增加线粒体呼吸链酶活性, 延缓衰老过程中线粒体功能的退行性变化^[16]。李洁等^[17-19]研究也表明, 长期运动训练可改善骨骼肌、心肌等线粒体呼吸功能。

实验结果显示, 经过 6 周递增负荷跑台运动, 力竭运动后老年大鼠肾脏线粒体呼吸链酶活性均有升高趋势, 说明长期有氧运动训练可改善肾脏线粒体呼吸链的适应性, 提高大鼠肾脏线粒体呼吸功能, 这与陈彩珍等的研究结果相似^[20]。

研究显示, 补充抗氧化剂和长期进行有氧运动可在一定程度上维持人体氧化与抗氧化的平衡, 改善线粒体功能, 预防线粒体老化^[21-22]。另一研究表明, 补充玛咖具有抗疲劳功能^[23]。

实验结果显示, 补充玛咖可提高老年大鼠力竭运动后肾脏线粒体呼吸链功能。且玛咖结合运动组大于玛咖组和运动组, 说明玛咖结合递增负荷运动训练在改善老年大鼠肾脏线粒体呼吸功能方面具有协同作用。其机制

可能是: 有氧训练可显著提高人体的有氧代谢水平, 提高人体线粒体基质酶及呼吸链酶活性, 提高氧化磷酸化功能, 增进人体有氧工作能力^[24-25]; 同时玛咖本身富含多种生物活性物质, 使线粒体呼吸功能得到稳固, 延缓人体疲劳, 提高运动能力^[26]。这与课题组以往研究结果相一致, 但存在组织差异性^[8]。

课题组前期研究选取 2 月龄大鼠骨骼肌作为研究对象, 从数据上看, 相同之处是补充玛咖、运动训练、玛咖结合运动训练均可以提高线粒体呼吸链酶活性, 但提高的程度不同, 酶活性的敏感部位也不相同。

以往研究显示, 玛咖组敏感部位在线粒体呼吸链酶 IV, 运动组敏感部位在线粒体呼吸链酶 II, 玛咖结合运动训练最敏感在线粒体呼吸链酶 IV; 实验玛咖组敏感部位在线粒体呼吸链酶 II, 运动组敏感部位在线粒体呼吸链酶 III, 玛咖结合运动训练最敏感在线粒体呼吸链酶 III。总之, 补充玛咖结合跑台运动训练可提高老年大鼠肾脏线粒体呼吸功能, 且玛咖与运动训练具有协同效应。

3.3 玛咖结合递增负荷运动对力竭运动后老年大鼠肾脏抗衰老能力的影响 研究表明, 力竭运动导致线粒体膜完整性受损, 大量自由基堆积, 细胞免疫系统功能下降, 造成人体衰老甚至死亡^[27]。

还有研究表明, 玛咖提取物能增强老龄小鼠血清、肝脏谷胱甘肽过氧化物酶、超氧化物歧化酶活性, 降低血清及肝脏中的丙二醛含量, 说明玛咖具有一定的抗衰老作用^[28]。实验结果显示, 递增负荷运动可以提高力竭运动后老年大鼠线粒体抗氧化酶活性, 同时脂质过氧化物含量也增多, 这一结果与课题组前期的研究成果相似^[8]。

还有实验证明, 玛咖醇提取物、生物碱和多糖可以提高人体抗氧化酶超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶活性, 快速清除自由基, 改善人体代谢能力, 具有良好的抗氧化抗衰老作用^[28-29]。

实验结果显示, 补充玛咖、玛咖结合运动均可提高老年大鼠力竭运动后肾脏线粒体抗氧化酶活性, 同时脂质过氧化物含量也增多, 但玛咖+运动组抗氧化酶活性的提高幅度大于玛咖组和运动组, 而丙二醛水平的增加量却小于玛咖组和运动组。其分子机制一方面是补充玛咖可以明显提高肾脏线粒体谷胱甘肽过氧化物酶和超氧化物歧化酶活性, 清除过量的丙二醛, 保护细胞膜结构和功能完整性, 增强人体细胞免疫功能, 力竭运动后老年大鼠肾脏线粒体抗氧化酶活性的提高可能与玛咖

本身含有多种生物活性物质有关^[30]。另一方面在长期递增负荷运动训练刺激下, 大鼠肾脏线粒体适应性增加了抗氧化酶的活性及对脂质过氧化物的耐受能力, 从而对延缓细胞及人体衰老起一定的积极作用。但实验的不足之处是玛咖的剂量不同, 造成影响效果可能会存在差异, 以后有待进一步探讨。

总之, 补充玛咖、运动训练、补充玛咖结合运动训练均可提高老年大鼠力竭运动后肾脏线粒体呼吸功能, 提高抗氧化能力, 降低脂质过氧化物含量, 增强人体耐受力, 延缓人体衰老。且补充玛咖结合运动训练具有良好的协同作用。

致谢: 感谢廊坊师范学院生理生化实验室人员及廊坊市第一人民医院化验科人员对本次实验的帮助。

作者贡献: 彭丽娜全面参与实验工作并负责论文的撰写。贾鹏参与动物饲养与数据整理。

利益冲突: 所有作者共同认可文章内容不涉及相关利益冲突。

伦理问题: 实验动物在体积分数 2% 戊巴比妥钠麻醉下进行所有的手术, 并尽一切努力最大限度地减少其疼痛、痛苦和死亡。实验过程中对动物的处置符合 2009 年《Ethical issues in animal experimentation》相关动物伦理学标准的条例。

文章查重: 文章出版前已经过 CNKI 反剽窃文献检测系统进行 3 次查重。

文章外审: 本刊实行双盲外审制度, 文章经国内小同行外审专家审核, 符合本刊发稿宗旨。

作者声明: 文章第一作者对研究和撰写的论文中出现的不端行为承担责任。论文中涉及的原始图片、数据(包括计算机数据库)记录及样本已按照有关规定保存、分享和销毁, 可接受核查。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

4 参考文献 References

- [1] 聂东升, 戚飞, 李颂. 玛咖对性功能影响及相关健康功效研究进展[J]. 中国性科学, 2013, 22(9): 10-13.
- [2] 王未, 毛日文, 赵婷. 玛咖营养成分分析[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(4): 285-286.
- [3] 蒋寒林. 外来物种玛咖主要化学成分研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014, 5: 23.
- [4] 许敏, 徐丽, 宋辉. 玛咖的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(7): 2775-2781.

- [5] 周意,栾洁,刘玉香.玛咖多糖对果蝇的抗衰老作用[J].中国实验方剂学杂志,2015,20(18):151-154.
- [6] 高玉秋,李彬,王彦武.玛咖片缓解体力疲劳功能的实验研究[J].中国食物与营养,2014,20(8):76-77.
- [7] 柳琴,程贝.西藏玛咖对小鼠抗疲劳作用的初步研究[J].中国药师,2015,18(3):511-513.
- [8] 彭丽娜.高原野生植物玛咖结合6周跑台运动训练对大鼠骨骼肌线粒体呼吸链酶活性及抗氧化能力的影响[J].营养学报,2016(待出刊).
- [9] 田野,高铁群.大鼠运动性疲劳模型的建立[J].北京体育大学学报,1995,18(4):49-53.
- [10] 郑澜,陆爱云.运动性疲劳动物模型的研究[J].中国体育科技,2003,39(2):20-23.
- [11] 姜立科,董浩,张仁堂.玛咖功能作用及开发利用研究进展[J].中国食物与营养,2015,21(6):69-71.
- [12] Zwicker K, Dikalov S, Matuschka S. Oxygen Radical Generation and Enzymatic Properties of Mitochondria in Hypoxia/Reoxygenation. *Arzneimittelforschung*. 1998; 48(6):629-636.
- [13] Vyatkina G, Bhatia V, Gerstner A, et al. Impaired mitochondrial respiratory chain and bioenergetics during chagasic cardiomyopathy development. *Biochim Biophys Acta*. 2004;(1689):162-173.
- [14] 赵俊,邹任玲,胡秀枋.大鼠跑台训练模型方法研究进展[J].动物医学进展,2014,35(9):101-105.
- [15] 王洲,刘庆新,贾蕊.大鼠跑台运动模型建立的研究进展[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2006,34(3):138-140.
- [16] 桑琛,程珂玲,王迪.有氧运动对衰老大鼠血清中抗氧化酶和过氧化脂质的影响[J].江苏大学学报(医学版), 2007, 17(2):128-130.
- [17] 李洁,张军.补铁对运动性贫血大鼠心肌线粒体呼吸链功能的影响[J].西安体育学院学报,2015,32(3):346-351.
- [18] 刘银银.有氧运动对老龄大鼠心肌线粒体能量代谢及自由基代谢的影响[D].西北师范大学硕士论文集, 2014: 21-26.
- [19] 谈文博.适度运动对增龄大鼠骨骼肌线粒体能量代谢及自由基代谢的影响[D].西北师范大学硕士论文集, 2014: 15-20.
- [20] 陈彩珍,卢健.有氧运动协同抗氧化剂对老年小鼠肾脏线粒体质量和量的影响[J].成都体育学院学报,2005,31(1): 89-92.
- [21] 王博.外源性补充硫酸亚铁对运动大鼠骨骼肌线粒体呼吸链酶活性及自由基代谢的影响[D].兰州:西北师范大学, 2010.
- [22] 申屠平平,魏霞蓁,王振林.沙棘脂肪酸对老龄雌性大鼠线粒体功能影响的研究[J].国际沙棘研究与开发, 2011,9(2): 1-5.
- [23] 孙晓东,唐辉,杜萍.丽江玛咖的营养成分分析及多糖体外的抗氧化作用[J].光谱实验室,2013,30(5):2365-2371.
- [24] 李爽,李燕舞,王蕾.“健脾”中药对急性运动大鼠线粒体呼吸链复合体的影响[J].成都体育学院学报,2013,39(5): 91-94.
- [25] 付玉,王文迪,许苏旸.线粒体生物学性状及细胞衰老和运动的影响[J].中国组织工程研究,2012,16(11): 2063-2066.
- [26] 余龙江,张永忠,金文闻,等.玛咖醇提取物对小鼠的抗衰老作用[J].中草药,2006,37(1):81-83.
- [27] 童晓青,贺亮,刘本同.不同颜色玛咖营养成分分析[J].食品工程,2015,9(3):57-61.
- [28] 朱学良,罗彤,叶伟.玛咖多糖的抗疲劳作用研究[J].中国食品工业,2010,15(11):33-36.
- [29] 文金隆,何芳雁,韩春妮.云南引种玛咖对小鼠非特异性免疫、抗疲劳、耐缺氧功能的影响[J].云南中医学院学报, 2012,35(5):4-7.
- [30] 尹子娟,杨成金.玛咖的营养成分及功效研究进展[J].云南农业科技,2012,(5):61-64.