

# 自愿转轮运动对长爪沙鼠身体组成的影响

胡振东<sup>①②</sup> 姚雪<sup>③</sup> 王德华<sup>①\*</sup>

(①中国科学院动物研究所 农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室 北京 100101;  
②淮北煤炭师范学院体育系 安徽淮北 235000;③首都师范大学生命科学学院 北京 100037)

**摘要:**为研究自愿转轮运动对长爪沙鼠(*Meriones unguiculatus*)体重的影响,在以前工作的基础上,分析了自愿转轮运动及8周后体重、胴体重和体水,以及心、肝、脾、肺、肾、性腺(睾丸或卵巢)、消化道、腓肠肌、比目鱼肌、肾周脂肪垫和肠系膜脂肪垫等器官及组织的重量变化。结果发现,自愿转轮运动条件下长爪沙鼠胴体湿重、体水和心、肝、脾、肾、腓肠肌、消化道等器官重量增加。自愿转轮运动对比目鱼肌和器官脂肪垫重量的影响存在性别差异。自愿转轮运动使雄性长爪沙鼠器官的脂肪垫重量增加,但雌性降低;对雄性长爪沙鼠比目鱼肌重量没有影响,但雌性增加。以上结果表明,自愿转轮运动促进了长爪沙鼠的体重增长,改变了长爪沙鼠的身体组成。内脏器官和体水重量的增加是体重增加的主要原因。

**关键词:**自愿转轮运动;体重;身体组成;长爪沙鼠

中图分类号:Q955 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2007)05-01-07

## Effects of Voluntary Wheel Exercise on Body Composition in the Mongolian Gerbils

HU Zhen-Dong<sup>①②</sup> YAO Xue<sup>③</sup> WANG De-Hua<sup>①\*</sup>

(① *State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*; ② *Department of Physical Education, Huaibei Coal Industry Teachers College, Huaibei 235000*; ③ *College of Life Sciences, Capital Normal University, Beijing 100037, China*)

**Abstract:** In order to understand the effects of voluntary wheel exercise on body composition in male and female Mongolian Gerbils (*Meriones unguiculatus*), we determined the variations in body mass, body water content, carcass mass and the mass of liver, heart, lung, spleen, testis or ovary, digestive tracts, gastrocnemius, soleus, perirenal and mesenteric fat depots after 8-week voluntary wheel running exercise. Body mass, wet carcass mass, body water content, and the mass in heart, liver, spleen, kidneys, gastrocnemius, and gastrointestinal tract were significantly increased. There were significant sexual differences in the effects of voluntary wheel exercise on soleus and visceral fat depot mass. Visceral fat pad mass increased in males and, however, decreased in females. The mass of soleus kept relative stable in males and increased in females. Taken together, voluntary wheel running exercise stimulates the increase in body mass and the changes in body composition in both male and female gerbils. The increases in visceral organ mass and body water mass may be the main contributor to the changes in body mass.

**Key words:** Voluntary wheel exercise; Body mass; Body composition; Mongolian Gerbils (*Meriones unguiculatus*)

基金项目 国家自然科学基金项目(No. 30570230);

\* 通讯作者, E-mail: wangdh@ioz.ac.cn;

第一作者介绍 胡振东,男,副教授,从事生理学教学和研究工作, E-mail: huzhd2005@sina.com.

收稿日期:2007-02-13, 修回日期:2007-06-28

大多数动物都能在实验室自愿利用转轮进行运动,自愿转轮运动(voluntary wheel exercise)对动物的体重会产生不同影响<sup>[1]</sup>。有些研究发现,自愿转轮运动降低了动物的体重<sup>[2,3]</sup>。也有些研究发现,自愿转轮运动使动物的体重增加<sup>[4,5]</sup>。还有些研究发现,自愿转轮运动对动物的体重没有影响<sup>[6,7]</sup>。因此,自愿转轮运动对动物体重影响的结果并不一致,这可能与动物的属种、年龄和性别等不同,从而对动物身体各组成部分的影响不同有关。

体重的变化主要体现在动物胴体、内脏器官或体脂、体水重量的改变上,研究自愿转轮运动对动物身体组成的影响,有助于更好地理解体重变化的机理。自愿转轮运动对不同小型啮齿动物身体组成的影响不同。Miyasaka 等<sup>[3]</sup>发现自愿转轮运动降低了大鼠的体重,以及心、肝、肾和胃的重量,增加了胰的重量,没有影响骨骼肌重量。Gattermann 等<sup>[5]</sup>发现,自愿转轮运动增加了金黄仓鼠(*Mesocricetus auratus*)的体重,同时增加了体水、体脂和肾、睾丸、附睾等器官的绝对重量,但相对重量(单位体重)未受影响,因此身体组成未受影响。也有研究发现,自愿转轮运动没有影响小鼠的体重,但心的重量增加<sup>[1,6]</sup>。

长爪沙鼠(*Meriones unguiculatus*)主要分布在内蒙古及其邻近地区的荒漠和半干旱地带。长爪沙鼠是一种抗旱能力强,具有独特生物学特性的“多功能”实验用动物资源<sup>[8]</sup>。研究发现,自愿转轮运动增加了雄性长爪沙鼠的体重和体脂含量<sup>[9]</sup>,雌性长爪沙鼠的体重增加,但体脂含量降低<sup>[10]</sup>。考虑到器官重量等对动物体重变化的影响较大,为此我们进一步分析了自愿转轮运动对长爪沙鼠身体组成的影响,以确定器官、身体组成的变化是否导致体重改变。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验动物

长爪沙鼠为 1999 年 5 月捕自内蒙古锡林郭勒盟太仆寺旗野生个体的室内繁殖后代,实验前单只饲养于鼠笼(30 cm × 15 cm × 20 cm)中。选取成年雌、雄长爪沙鼠各 16

只,体重范围雄性为 54.8 ~ 63.4 g [平均值 ± 标准误 (59.5 ± 0.7)g],雌性为 53.9 ~ 59.8 g [平均值 ± 标准误 (56.7 ± 0.6)g]。雌、雄长爪沙鼠均随机分为运动组和对照组,每组 8 只,单只饲养于鼠笼(30 cm × 20 cm × 19 cm)中,其中,运动组鼠笼内带一直径为 17 cm 的转轮(实验开始前将转轮锁定),动物在鼠笼内适应 2 周后,将运动组转轮解除锁定,动物可自愿进行转轮运动。运动持续 8 周。动物喂以标准鼠饲料块(北京科澳协力饲料有限公司生产),自由取食和饮水。环境温度为(23 ± 1)°C,光照为 16L:8D。详细描述见胡振东和王德华<sup>[9,10]</sup>。

### 1.2 实验方法

体重:体重用电子天平称量(±0.1 g)。体重变化 = 运动结束时体重 - 运动前体重。

内脏器官重量:8 周训练结束后,将动物处死,立即解剖取出心、肝、脾、肺、肾、性腺(睾丸或卵巢)和消化道等内脏器官,剔除器官附着的结缔组织和脂肪,在滤纸上吸干器官表面的血液后称重(±1 mg)。取出消化道,分离出胃、小肠、结肠和盲肠称重(此为消化道及内容物重,简称含内重)。然后将其纵向剖开,用生理盐水洗去内容物,置滤纸上吸干表面水分后称重(此为器官湿重)。将称重后的器官置于 60°C 烘箱中烘至恒重,得器官干重。内容物重量 = 含内重 - 器官湿重。

胴体重量:去除以上内脏器官后的动物重量为胴体湿重(包含各内脏器官剔除的结缔组织和脂肪)。肾周脂肪垫、肠系膜脂肪垫、腓肠肌、比目鱼肌从胴体上解剖分离后称重,然后再放回胴体。将胴体置于 60°C 烘箱中,烘至恒重,得胴体干重。

体水 = 胴体湿重 - 胴体干重。

内脏器官总重量包括心、肝、脾、肺、肾、性腺(睾丸或卵巢)和消化道重量。

总脂肪垫重量 = 肾周脂肪垫重量 + 肠系膜脂肪垫重量。

器官相对重量指相对于动物处死前体重的重量。

### 1.3 统计分析

数据采用 SPSS 13.0 for

Windows 软件包进行统计分析。体重变化及各器官重量进行双因素的协方差分析(运动 × 性别)以初体重为协变量。进一步对雌、雄运动组和各自对照组进行独立样本  $t$ -检验,以确定自愿转轮运动对雌、雄长爪沙鼠的不同影响。文内结果用平均值 ± 标准误表示,  $P < 0.05$  为差异显著。

## 2 结果

**2.1 体重** 运动前雄性长爪沙鼠的体重显著高于雌性 ( $F_{1,28} = 10.3, P < 0.01$ ), 运动组体重与对照组无显著差异 ( $F_{1,28} = 0.104, P > 0.05$ )。自愿转轮运动 8 周后, 雄性长爪沙鼠运动组体重增长 ( $7.5 \pm 2.1$ )g, 对照组增长 ( $0.8 \pm 0.5$ )g, 雌性长爪沙鼠运动组体重增长 ( $5.8 \pm 2.0$ )g, 对照组增长 ( $0.2 \pm 0.7$ )g, 运动导致长爪沙鼠体重明显增加 ( $F_{1,27} = 17.7, P < 0.01$ ), 性别间无显著差异 ( $F_{1,27} = 2.9, P > 0.05$ )。运动与性别的交互作用不显著 ( $F_{1,27} = 0.02, P > 0.05$ ) (图 1)。

8 周自愿转轮运动显著增加了长爪沙鼠的

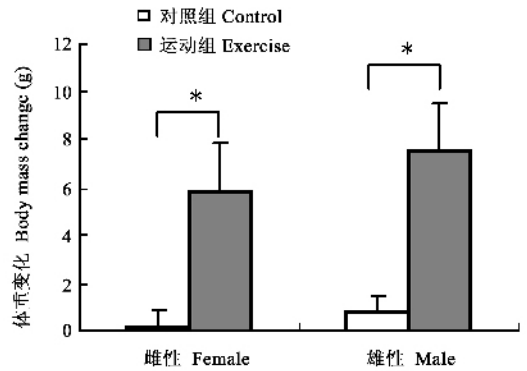


图 1 自愿转轮运动对长爪沙鼠体重增长的影响

Fig. 1 Effect of voluntary wheel exercise on the body mass gain in Mongolian Gerbils

\*  $P < 0.01$ .

胴体湿重(6%)和体水重量(7%),降低了胴体相对湿重,对胴体干重、胴体相对干重和体水相对重量无显著影响;雄性长爪沙鼠的体水显著高于雌性,胴体干重显著低于雌性。以上各参数的运动和性别的交互作用不显著(表 1),说明自愿转轮运动对胴体湿重、胴体干重和体水重量及其相对重量的影响无性别差异。

表 1 自愿转轮运动对长爪沙鼠胴体和体水重量的影响

Table 1 Effects of voluntary wheel exercise on carcass mass and body water content in Mongolian Gerbils

	雄性 Male		雌性 Female		ANCOVA					
	运动组 Exercise	对照组 Control	运动组 Exercise	对照组 Control	性别 Sex		运动 Exercise		性别 × 运动 Sex × Exercise	
					F	P	F	P	F	P
体重 Body mass (g)	66.8 ± 2.0	60.7 ± 0.8	62.0 ± 1.8	56.6 ± 1.3	2.6	ns	16.0	<0.01	0.1	ns
胴体湿重 Carcass wet mass (g)	51.4 ± 1.5	48.0 ± 0.7	48.3 ± 1.7	45.8 ± 1.1	0.6	ns	6.5	<0.05	0.3	ns
胴体干重 Carcass dry mass (g)	19.7 ± 1.3	17.4 ± 0.6	18.3 ± 1.3	18.9 ± 1.3	2.0	ns	1.0	ns	2.4	ns
体水 Body water (g)	31.7 ± 0.8	30.5 ± 0.7	30.0 ± 0.6	26.9 ± 0.5	12.2	<0.01	9.0	<0.01	2.0	ns
%	46.5 ± 1.3	49.2 ± 0.8	48.6 ± 1.1	47.8 ± 1.4	1.1	ns	1.1	ns	3.1	ns

ns 差异不显著 No significant.

**2.2 器官** 8 周自愿转轮运动显著增加了长爪沙鼠心(21%)、肝(21%)、脾(63%)、肾(14%)、腓肠肌(12%)和比目鱼肌(34.6%)的重量,以及内脏器官的总湿重(20%)和总干重(23%),对肺和性腺(睾丸或卵巢)重量无显著影响。雄性长爪沙鼠的心和肾重量,以及内脏器官的总湿重和总干重显著高于雌性。心、肝、脾、肺、肾、性腺和腓肠肌重量的运动及性别的交互作用不显著。比目鱼肌重量的运动和性别

的交互作用显著(表 2),说明自愿转轮运动对比目鱼肌重量的影响存在性别差异。经独立样本  $t$ -检验,自愿转轮运动对雄性长爪沙鼠的比目鱼肌重量没有影响 ( $P > 0.05$ ),但增加了雌性比目鱼肌重量(50%,  $t = 3.94, df = 14, P < 0.01$ )。除自愿转轮运动对肾和腓肠肌的相对重量无显著影响外,其余相对重量的结果与绝对重量的结果一致。

表 2 自愿转轮运动对长爪沙鼠器官重量的影响

Table 2 Effects of voluntary wheel exercise on organs mass in Mongolian Gerbils

	雄性 Male		雌性 Female		ANCOVA					
	运动组 Exercise	对照组 Control	运动组 Exercise	对照组 Control	性别 Sex		运动 Exercise		性别 × 运动 Sex × Exercise	
					F	P	F	P	F	P
心 Heart (mg)	324.0 ± 11.6	258.8 ± 8.0	258.4 ± 6.6	223.5 ± 11.5	28.8	<0.01	27.0	<0.01	2.3	ns
%	0.49 ± 0.01	0.43 ± 0.01	0.42 ± 0.01	0.40 ± 0.02	21.1	<0.01	7.4	<0.05	1.4	ns
肝 Liver (mg)	2 587.0 ± 157.2	2 155.4 ± 42.9	2 332.0 ± 121.4	1 897.5 ± 91.8	1.3	ns	16.9	<0.01	<0.1	ns
%	3.86 ± 0.15	3.55 ± 0.07	3.75 ± 0.15	3.35 ± 0.12	0.2	ns	8.2	<0.01	0.1	ns
脾 Spleen (mg)	70.9 ± 11.6	43.8 ± 5.2	56.3 ± 9.5	34.1 ± 2.1	3.5	ns	9.1	<0.01	0.1	ns
%	0.11 ± 0.022	0.07 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.06 ± 0.003	3.4	ns	7.9	<0.01	<0.1	ns
肺 Lung (mg)	427.5 ± 20.0	367.4 ± 29.8	354.6 ± 15.5	347.9 ± 13.0	4.0	ns	2.5	ns	1.6	ns
%	0.64 ± 0.029	0.60 ± 0.05	0.57 ± 0.02	0.62 ± 0.03	1.7	ns	<0.1	ns	1.5	ns
肾 Kidneys (mg)	709.8 ± 28.0	624.4 ± 7.9	615.6 ± 29.8	537.6 ± 18.0	17.7	<0.01	12.8	<0.01	<0.1	ns
%	1.07 ± 0.04	1.03 ± 0.02	0.99 ± 0.04	0.95 ± 0.04	11.5	<0.01	0.9	ns	<0.1	ns
睾丸/卵巢 Testis/Ovary	513.5 ± 126.5	436.5 ± 65.7	24.3 ± 3.6	15.6 ± 2.3	26.3	<0.01	0.4	ns	0.3	ns
%	0.74 ± 0.17	0.72 ± 0.11	0.04 ± 0.01	0.03 ± 0.004	30.0	<0.01	<0.1	ns	<0.1	ns
腓肠肌 Gastrocnemius	495.1 ± 16.5	450.1 ± 16.0	499.8 ± 21.0	436.9 ± 11.0	0.1	ns	10.2	<0.01	0.3	ns
%	0.74 ± 0.01	0.74 ± 0.03	0.81 ± 0.03	0.77 ± 0.02	0.9	ns	0.3	ns	0.7	ns
比目鱼肌 Soleus (mg)	33.0 ± 2.5	29.3 ± 2.2	35.9 ± 2.9	21.9 ± 2.1	0.8	ns	12.7	<0.01	4.3	<0.05
%	0.05 ± 0.004	0.05 ± 0.004	0.06 ± 0.004	0.04 ± 0.004	0.2	ns	6.6	<0.05	5.4	<0.05
内脏器官总湿重 Organ wet mass (g)	7.0 ± 0.4	5.9 ± 0.1	5.5 ± 0.2	4.5 ± 0.1	23.0	<0.01	17.1	<0.01	0.1	ns
%	10.4 ± 0.4	9.7 ± 0.2	8.8 ± 0.3	7.9 ± 0.2	29.9	<0.01	7.2	<0.05	0.2	ns
内脏器官总干重 Organ dry mass (g)	1.7 ± 0.1	1.4 ± 0.03	1.5 ± 0.1	1.2 ± 0.0	6.8	<0.05	22.9	<0.01	0.2	ns
%	2.5 ± 0.1	2.3 ± 0.1	2.4 ± 0.1	2.1 ± 0.05	5.2	<0.05	11.7	<0.01	<0.1	ns

ns 差异不显著 No significant.

8 周自愿转轮运动增加了长爪沙鼠胃 (11%)、小肠 (29%)、结肠 (19%)、盲肠 (41%) 和总消化道 (24%) 的重量, 以及盲肠的相对重量 (12%) 增加了小肠 (28%)、盲肠 (30%) 和总消化道 (27%) 的含内重, 以及消化道内容物重量 (30%)。雄性长爪沙鼠的总消化道及消化道各段的绝对重量和相对重量均显著高于雌性, 小肠的含内重也显著高于雌性。总消化道及消化道各段的绝对重量、相对重量和含内重, 以及消化道内容物重量的运动和性别的交互作用不显著 (表 3)。

8 周自愿转轮运动对长爪沙鼠肾周脂肪垫、肠系膜脂肪垫和总脂肪垫重量及其相对重量无显著影响。肾周脂肪垫、肠系膜脂肪垫和

总脂肪垫重量及其相对重量的性别差异不显著。肾周脂肪垫、肠系膜脂肪垫和总脂肪垫重量, 以及肾周脂肪垫、肠系膜脂肪垫和总脂肪垫 (表 4) 相对重量的运动和性别的交互作用显著。经独立样本 *t*-检验, 自愿转轮运动显著增加了雄性长爪沙鼠肾周脂肪垫、肠系膜脂肪垫和总脂肪垫的绝对重量及相对重量 (分别增加 176%、31%、63% 和 150%、17%、46%,  $P < 0.05$ ) 降低了雌性长爪沙鼠肠系膜脂肪垫和总脂肪垫的相对重量 (分别降低 22% 和 28%,  $P < 0.05$ ), 对雌性长爪沙鼠肾周脂肪垫、肠系膜脂肪垫和总脂肪垫的绝对重量及肾周脂肪垫的相对重量无显著影响 ( $P > 0.05$ ), 但运动组比对照组分别降低了 39%、14%、22% 和 44%。

表 3 自愿转轮运动对长爪沙鼠消化道重量的影响

Table 3 Effects of voluntary wheel exercise on digestive tracts mass in Mongolian Gerbils

	雄性 Male		雌性 Female		ANCOVA					
	运动组 Exercise	对照组 Control	运动组 Exercise	对照组 Control	性别 Sex		运动 Exercise		性别 × 运动 Sex × Exercise	
					F	P	F	P	F	P
胃 Stomach (mg)	562.5 ± 29.4	506.3 ± 31.4	453.6 ± 17.2	412.5 ± 7.2	10.7	<0.01	4.4	<0.05	0.1	ns
%	0.84 ± 0.04	0.83 ± 0.05	0.74 ± 0.04	0.73 ± 0.02	5.6	<0.05	<0.1	ns	<0.1	ns
含内重 (mg) Mass with content	1 915.0 ± 218.6	1 495.0 ± 80.9	2 161.5 ± 414.4	1 612.0 ± 159.4	0.3	ns	3.6	ns	0.1	ns
小肠 Small intestine	964.6 ± 125.6	823.9 ± 90.3	729.3 ± 68.0	494.3 ± 32.3	10.6	<0.01	4.5	<0.05	0.4	ns
%	1.42 ± 0.16	1.36 ± 0.15	1.19 ± 0.13	0.88 ± 0.06	9.6	<0.01	1.9	ns	1.1	ns
含内重 (mg) Mass with content	2 425.4 ± 164.8	1 966.6 ± 144.9	2 066.1 ± 105.9	1 549.8 ± 72.3	5.9	<0.05	14.3	<0.01	<0.1	ns
结肠 Large intestine	444.6 ± 9.8	371.3 ± 17.3	359.1 ± 17.5	303.0 ± 13.8	21.9	<0.01	18.0	<0.01	0.3	ns
%	0.67 ± 0.02	0.61 ± 0.03	0.58 ± 0.03	0.54 ± 0.03	11.9	<0.01	3.0	ns	<0.1	ns
含内重 (mg) Mass with content	1 043.6 ± 67.5	984.4 ± 69.4	979.0 ± 49.9	786.6 ± 55.8	3.4	ns	4.1	ns	1.1	ns
盲肠 Caecum	456.1 ± 92.6	301.0 ± 15.5	283.3 ± 20.2	222.9 ± 12.5	18.8	<0.01	14.6	<0.01	<0.1	ns
%	0.55 ± 0.03	0.50 ± 0.02	0.46 ± 0.04	0.40 ± 0.02	11.0	<0.01	4.2	<0.05	<0.1	ns
含内重 (mg) Mass with content	1 687.5 ± 123.6	1 391.1 ± 64.1	1 318.6 ± 121.1	927.8 ± 34.8	17.3	<0.01	12.8	<0.01	0.3	ns
总消化道 (mg) Total digestive tract	2 427.9 ± 138.3	2 002.4 ± 136.5	1 825.3 ± 104.3	1 432.6 ± 54.6	17.4	<0.01	9.0	<0.01	0.1	ns
%	3.64 ± 0.18	3.30 ± 0.22	2.97 ± 0.22	2.54 ± 0.12	14.3	<0.01	2.6	ns	0.6	ns
含内重 (mg) Mass with content	7 071.5 ± 376.0	5 837.1 ± 280.6	6 525.3 ± 615.3	4 876.1 ± 244.1	2.6	ns	12.0	<0.01	0.3	ns
内容物重 (mg) Content mass	4 731.2 ± 252.6	3 835.0 ± 174.2	4 700.0 ± 577.2	3 443.5 ± 240.6	0.2	ns	9.2	<0.01	0.3	ns

ns: 差异不显著 No significant.

表 4 自愿转轮运动对长爪沙鼠器官脂肪垫重量的影响

Table 4 Effects of voluntary wheel exercise on organs fat pad mass in Mongolian Gerbils

	雄性 Male		雌性 Female		ANCOVA					
	运动组 Exercise	对照组 Control	运动组 Exercise	对照组 Control	性别 Sex		运动 Exercise		性别 × 运动 Sex × Exercise	
					F	P	F	P	F	P
肾周脂肪垫 (mg) Perirenal fat pad	338.3 ± 92.2	122.4 ± 35.8	144.4 ± 42.9	236.4 ± 73.0	0.5	ns	1.4	ns	7.4	<0.05
%	0.50 ± 0.13	0.20 ± 0.06	0.23 ± 0.07	0.41 ± 0.12	0.9	ns	0.6	ns	7.4	<0.05
肠系膜脂肪垫 (mg) Mesenteric fat pad	567.13 ± 53.0	433.5 ± 15.7	454.1 ± 25.9	526.6 ± 45.1	1.2	ns	1.1	ns	9.9	<0.01
%	0.84 ± 0.06	0.72 ± 0.03	0.73 ± 0.04	0.93 ± 0.06	3.8	ns	0.4	ns	13.0	<0.01
总脂肪垫 (mg) Total fat pad	905.4 ± 130.9	555.9 ± 46.7	598.5 ± 65.2	763.0 ± 106.8	0.9	ns	1.6	ns	10.6	<0.01
%	1.34 ± 0.16	0.92 ± 0.08	0.96 ± 0.10	1.34 ± 0.17	2.3	ns	0.1	ns	11.9	<0.01

ns: 差异不显著 No significant.

### 3 讨 论

研究发现,自愿转轮运动对长爪沙鼠的体重产生影响<sup>[9,40]</sup>,体重的变化体现在胴体、内脏器官、体水和体脂等重量的变化上。自愿转轮运动对不同动物身体各部分的影响不同。Gattermann 等<sup>[5]</sup>发现,52 周自愿转轮运动显著增加了金黄仓鼠的体重,体水、体脂和内脏器官重量也增加。Chang 等<sup>[2]</sup>发现,7 周自愿转轮运动降低了大鼠的体重和器官脂肪垫重量,但增加了心和肾等器官重量。在本研究中,8 周自愿转轮运动促进了长爪沙鼠的体重增长,增加了体水和心、肝、肾、脾、消化道等内脏器官重量。虽然自愿转轮运动增加了长爪沙鼠的胴体湿重,但胴体干重未受影响,因此胴体湿重的增加主要是体水重量的增加。器官脂肪垫重量在一定程度上反映了动物体脂含量的变化。自愿转轮运动对脂肪垫重量的影响存在性别差异,运动增加了雄性长爪沙鼠肾周脂肪垫和肠系膜脂肪垫重量,降低了雌性长爪沙鼠肾周脂肪垫和肠系膜脂肪垫重量,与整体的体脂含量结果一致<sup>[9,40]</sup>。可见,自愿转轮运动条件下,长爪沙鼠体重的增加主要是体水和内脏器官重量的增加。同时,体重的增加还与消化道内容物的增加有关。

自愿转轮运动影响动物的体重、胴体重和内脏器官重量,但不一定影响动物的身体组成。Gattermann 等<sup>[5]</sup>发现,自愿转轮运动增加了金黄仓鼠的体重、体水、体脂和内脏器官的绝对重量,但体水、体脂和内脏器官的相对重量没有变化,因此自愿转轮运动没有改变金黄仓鼠的身体组成。在本研究中,8 周自愿转轮运动降低了长爪沙鼠胴体相对湿重,增加了心、肝和脾等内脏器官的相对重量,因此自愿转轮运动改变了长爪沙鼠的身体组成。

自愿转轮运动对不同内脏器官的影响不同。许多研究发现,无论动物的体重是增加、降低或没有影响,自愿转轮运动都增加了动物的心重量<sup>[1,2,6,11~13]</sup>。有些研究发现,自愿转轮运动增加了动物的肾重量<sup>[2,5]</sup>。Miyasaka 等<sup>[3]</sup>发

现,自愿转轮运动降低了大鼠肝重量,并认为可能是运动引起肝储存的脂肪和糖原参与代谢造成的。也有研究发现,自愿转轮运动对动物的肝重量没有影响<sup>[2,14]</sup>。在本研究中,8 周自愿转轮运动增加了长爪沙鼠的心、肝、肾和脾重量,对肺和性腺(睾丸或卵巢)重量没有影响。心是血液循环的动力器官,脾具有贮血作用,循环功能的增强有利于运动过程中肌肉的营养需求,以及保持内环境的稳定。肾作为重要的排泄器官,对代谢废物的排除具有重要意义。自愿转轮运动增加了长爪沙鼠的肝重量,说明运动过程中动物没有增加动用肝储存的物质,且在食物充足的情况下,可能增加了能源物质的储存,这可能与自愿转轮运动是一种比较温和的运动<sup>[3,45]</sup>有关。

消化道是动物消化和吸收的器官,也是身体的重要组成部分。消化道的形态结构直接影响动物对能量和营养的获取效率,消化道形态的改变在动物适应能量消耗增加等方面占有重要地位<sup>[16]</sup>。有研究发现,自愿转轮运动增加了长爪沙鼠的能量摄入,但消化效率没有改变<sup>[9,40]</sup>。在本研究中,8 周自愿转轮运动增加了长爪沙鼠的消化道重量、消化道含内重和内容物重量,但对消化道的相对重量没有影响。内容物重量的增加与长爪沙鼠能量摄入的增加是一致的。长爪沙鼠消化道的重量和容积的增加,可以满足运动对增加摄食量的需求。消化道相对重量未受影响可能是消化效率没有改变的原因之一。

自愿转轮运动对肌肉也产生影响。有些研究发现,自愿转轮运动增加了小鼠的比目鱼肌重量<sup>[6]</sup>,增加了大鼠腓肠肌和比目鱼肌重量<sup>[12,17]</sup>。在本研究中,自愿转轮运动增加了长爪沙鼠腓肠肌的重量和雌性长爪沙鼠比目鱼肌的重量,但没有影响雄性长爪沙鼠比目鱼肌的重量。自愿转轮运动对比目鱼肌重量的影响存在性别差异,这可能与雌性动物的运动量大于雄性<sup>[18]</sup>有关。

总之,自愿转轮运动促进了长爪沙鼠的体重增长和内脏器官的一些适应性变化,使长爪

沙鼠能更好地应对运动增加的代谢需求。本研究结果表明,运动导致的长爪沙鼠体重的增加主要是内脏器官、体水和消化道内容物重量的增加导致的,体脂重量的变化并非是影响体重变化的主要原因。自愿转轮运动改变了长爪沙鼠的身体组成。

致谢 感谢中国科学院动物研究所生理生态学研究组全体成员在实验过程中给予的帮助和对文稿的修改,特别感谢张学英在文稿修改和数据统计等方面给予的帮助。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Allen D L ,Harrison B C ,Maass A ,et al. Cardiac and skeletal muscle adaptations to voluntary wheel running in the mouse. *J Appl Physiol* 2001 **90**( 5 ):1 900 ~ 1 908.
- [ 2 ] Chang L T ,Kras K ,Suzuki K ,et al. Voluntary running in male S5B/PIRas rats fed high fat or high carbohydrate diets. *Physiol Behav* 1995 **57**( 3 ):501 ~ 508.
- [ 3 ] Miyasaka K ,Ichikawa M ,Kawanami T ,et al. Physical activity prevented age-related decline in energy metabolism in genetically obese and diabetic rats ,but not in control rats. *Mech Ageing Dev* 2003 **124**( 2 ):183 ~ 190.
- [ 4 ] Conn C A ,Mial S ,Borer K T. Food restriction postpones ,not prevents ,exercise-induced growth in hamsters. *Growth Dev Aging* 1993 **57**( 3 ):193 ~ 204.
- [ 5 ] Gattermann R ,Weinandy R ,Fritzsche P. Running-wheel activity and body composition in golden hamsters( *Mesocricetus auratus* ). *Physiol Behav* 2004 **82**( 2-3 ):541 ~ 544.
- [ 6 ] Momken I ,Lechene P ,Ventura-Clapier R ,et al. Voluntary physical activity alterations in endothelial nitric oxide synthase knockout mice. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* ,2004 **287**( 2 ):H914 ~ H920.
- [ 7 ] Coutinho A E ,Fediuc S ,Campbell J E. Metabolic effects of voluntary wheel running in young and old Syrian golden hamsters. *Physiol Behav* 2006 **87** 360 ~ 367.
- [ 8 ] 丁贤明 钱宝珍.长爪沙鼠在生物医学中的应用及其生理生化研究进展.中国比较医学杂志,2006 **16**( 5 ):313 ~ 318.
- [ 9 ] 胡振东 王德华.自愿转轮运动对雄性长爪沙鼠体重和能量代谢的影响.兽类学报,2007 **27**( 2 ):123 ~ 129.
- [ 10 ] 胡振东 王德华.自愿转轮运动条件下雌性长爪沙鼠的体重、能量代谢和血清瘦素含量的变化.中国运动医学杂志,2007( 刊印中).
- [ 11 ] Samorajski T ,Rolsten C ,Przykorska A ,et al. Voluntary wheel running exercise and monoamine levels in brain ,heart and adrenal glands of aging mice. *Exp Gerontol* ,1987 **22**( 6 ):421 ~ 431.
- [ 12 ] Gulve E A ,Rodnick K J ,Henriksen E J ,et al. Effects of wheel running on glucose transporter ( GLUT4 ) concentration in skeletal muscle of young adult and old rats. *Mech Ageing Dev* , 1993 **67**( 1-2 ):187 ~ 200.
- [ 13 ] Zachwieja J J ,Hendry S L ,Smith S R ,et al. Voluntary wheel running decreases adipose tissue mass and expression of leptin mRNA in Osborne-Mendel rats. *Diabetes* ,1997 **46**( 7 ):1 159 ~ 1 166.
- [ 14 ] Finley C M ,Gorman M R ,Tuthill C R ,et al. Long-term reproductive effects of a single long day in the Siberian hamster ( *Phodopus sungorus* ). *J Biol Rhythms* ,1995 **10**( 1 ):33 ~ 41.
- [ 15 ] Ichikawa M ,Fujita Y ,Ebisawa H ,et al. Effects of long-term , light exercise under restricted feeding on age-related changes in physiological and metabolic variables in male Wistar rats. *Mech Ageing Dev* 2000 **113**( 1 ):23 ~ 35.
- [ 16 ] Derting T L ,Bogue E B. Responses of the gut to moderate energy demands in a small herbivore ( *Microtus pennsylvanicus* ). *J Mamm* ,1993 **74** :59 ~ 68.
- [ 17 ] Kimura M ,Tateishi N ,Shiota T ,et al. Long-term exercise down-regulates leptin receptor mRNA in the arcuate nucleus. *Neuroreport* 2004 **15**( 4 ):713 ~ 716.
- [ 18 ] Cortright R N ,Chandler M P ,Lemon P W ,et al. Daily exercise reduces fat ,protein and body mass in male but not female rats. *Physiol Behav* ,1997 **62**( 1 ):105 ~ 111.