

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.02.024

吕思敏, 黄志荣, 于琼, 等. 黑芝麻油卵磷脂溶液对自然生长老龄小鼠骨代谢的影响[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(2): 173-179.

LV S M, HUANG Z R, YU Q, et al. Effect of black sesame oil lecithin solution on bone metabolism in naturally growing aged mice[J].

Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(2): 173-179.

# 黑芝麻油卵磷脂溶液对自然生长 老龄小鼠骨代谢的影响

吕思敏<sup>1</sup>, 黄志荣<sup>2</sup>, 于琼<sup>2</sup>, 孙金影<sup>2</sup>, 崔燎<sup>3</sup>, 吴铁<sup>1,2</sup>✉

(1. 广东医科大学, 广东润和生物科技有限公司辅酶 Q10 联合研究中心, 广东 东莞 523808;

2. 广东医科大学 药学院, 广东 东莞 523808;

3. 广东医科大学 广东天然药物研究与开发重点实验室, 广东 湛江 524023)

**摘要:** 观察黑芝麻油卵磷脂溶液对自然生长老龄小鼠骨代谢的影响, 并与维生素 E 比较。8 月龄 SPF 级的昆明小鼠, 随机分为生理盐水组 (NS 组), 维生素 E 组 (VE 组), 黑芝麻油组 (Oil 组), 实验持续 10 周, 结束时, 处死小鼠, 取右侧股骨进行微计算机断层扫描技术 (Micro CT) 扫描, 左侧尺骨进行骨成分含量测定。结果表明: 与 NS 组相比, Oil 组骨钙和骨镁含量均显著增加, 结构模型指数 (SMI) 显著降低, 而骨体积分数 (BV/TV)、骨密度 (Density) 和骨小梁连接密度 (Conn-Dens) 均有所增加, 但差异无统计学意义; 与 VE 组相比, Oil 组骨钙和骨镁含量均显著增加; 三维图可见其骨小梁分布排列均匀紧密有序, 间隙较小, 且连续性较好。自然生长的老龄小鼠给予黑芝麻油卵磷脂溶液 10 周后, 小鼠股骨的骨量有增加, 微观结构得到改善, 提示有抗骨质疏松应用的潜力。

**关键词:** 黑芝麻油; 卵磷脂; 自然生长; 小鼠; 骨代谢; 微计算机断层扫描技术; 骨成分分析

**中图分类号:** R96; TS201.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2021)02-0173-07

**网络首发时间:** 2021-01-29 15:14:51

**网络首发地址:** <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20210129.1126.008.html>

## Effect of Black Sesame Oil Lecithin Solution on Bone Metabolism in Naturally Growing Aged Mice

LV Si-min<sup>1</sup>, HUANG Zhi-rong<sup>2</sup>, YU Qiong<sup>2</sup>, SUN Jin-ying<sup>2</sup>, CUI Liao<sup>3</sup>, WU Tie<sup>1,2</sup>✉

(1. Guangdong Medical University/Guangdong Runhe Biological Technology Co., Ltd., Coenzyme Q10 Research Institute, Dongguan, Guangdong 523808, China; 2. School of Pharmacy, Guangdong Medical University, Dongguan, Guangdong 523808, China; 3. Guangdong Key Laboratory for Research and Development of Natural Drugs, Guangdong Medical University, Zhanjiang, Guangdong 524023, China)

**Abstract:** To observe the effect of black sesame oil lecithin solution on bone metabolism in naturally grown aging mice and compare with vitamin E. 8-month-old SPF Kunming mice were randomly divided into

收稿日期: 2020-06-14

基金项目: 广东医科大学·广东润和生物科技有限公司共建辅酶 Q10 联合研究中心项目 (2XX14002)

Supported by: Guangdong Medical University-Guangdong Runhe Biotechnology Co., Ltd. Coenzyme Coenzyme Q10 Joint Research Center Project (No. 2XX14002)

作者简介: 吕思敏, 女, 1988 年出生, 硕士, 工程师, 研究方向为骨药理学。E-mail: lvsimin88@126.com.

通讯作者: 吴铁, 男, 1955 年出生, 硕士, 教授, 研究生导师, 研究方向为抗炎免疫与骨质疏松药理学。E-mail: wutie2@163.com.

normal saline group (NS group), vitamin E group (VE group), black sesame oil group (Oil group). The experiment lasted for 10 weeks. At the end of the experiment, the mice were sacrificed. The right femurs were taken for Micro CT scan, and the left ulna for bone component content determination. Compared with the NS group, the bone calcium and bone magnesium contents in the Oil group were significantly increased, and the SMI was significantly reduced, while BV/TV, Density and Conn-Dens were increased, but the difference was not statistically significant; compared with the VE group, The content of bone calcium and bone magnesium in the Oil group were significantly increased; the three-dimensional map showed that the bone trabeculae were arranged evenly and tightly, with small gaps and good continuity. After 10 weeks of naturally-growing old mice given black sesame oil, the bone mass and microstructure of the femur of the mice increased, suggesting the potential applications for anti-osteoporosis.

**Key words:** black sesame oil; lecithin; natural growth; mice; bone metabolism; micro CT; bone composition analysis

黑芝麻油是从黑芝麻中提炼出来的, 黑芝麻油中富含不饱和脂肪酸——油酸和亚油酸, 以及芝麻素、芝麻林素、芝麻酚、维生素 E 等抗氧化成分<sup>[1]</sup>。其中, 维生素 E 能维持细胞膜的完整性和正常功能, 不仅具有显著的抗氧化、增加免疫、延缓衰老、抗肿瘤及预防心血管疾病等功能, 而且还具有优良的促进骨形成、抑制骨吸收功效<sup>[2]</sup>。黑芝麻油中的亚油酸、棕榈酸等不饱和脂肪酸, 容易被人体吸收, 有助于消除动脉壁上的沉积物, 且不饱和脂肪酸在骨质疏松治疗和预防中的潜力逐渐显现<sup>[3]</sup>。而我们课题组研究发现<sup>[4]</sup>, 芝麻油在所用剂量下具有预防醋酸泼尼松致大鼠骨质疏松的作用, 另外于琼等<sup>[5]</sup>研究发现, 3 mL/kg/d 的黑芝麻油能良好的对抗环磷酰胺诱导的大鼠骨丢失模型中股骨微观结构和骨质量的退化。为研究黑芝麻油卵磷脂溶液对自然生长老龄小鼠骨代谢的作用, 本研究采用微计算机断层扫描技术 (Micro CT) 和骨微量元素分析, 以 8 月龄自然生长的小鼠作为空白对照, 并以清除自由基的维生素 E 作为阳性对照, 评价该黑芝麻油卵磷脂溶液的骨药理学作用。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

24 只 8 月龄昆明种 SPF 级小白鼠, 体质量为 (47.84±4.92) g, 雌雄各半; 南方医科大学实验动物中心 (动物质量合格证为: SCXK (粤)

2011-0015)。

黑芝麻油 (批号 20140120): 平舆康博汇鑫油脂有限公司; 卵磷脂 (批号: 714B024): 北京索莱宝科技有限公司; 维生素 E 软胶囊 (批号: JE40007): 广州星群 (药业) 股份有限公司; 生理盐水 (批号: 14082501): 东莞市普济药业有限公司; 羟脯氨酸测试盒: 南京建成生物工程研究所。

实验时用黑芝麻油配成 70 mg/mL 的黑芝麻油-卵磷脂油溶液; 实验时用 70 mg/mL 黑芝麻油-卵磷脂油溶液配成维生素 E-黑芝麻油-卵磷脂油溶液。

BT 25S 电子天平: 赛多利斯公司; 电热恒温电烤箱: 上海跃进医疗器械厂; 电感耦合等离子体发射光谱仪 (ICP): 美国 TJA 公司; Eppendorf 5415R 小型高速冷冻离心机: 德国 Eppendorf 公司; Micro CT 仪 (viva CT40): 瑞士 SCANCO Medical AG 公司。

### 1.2 实验方法

取上述小鼠按体重随机分为 3 组, 每组 8 只, (1) 生理盐水组 (NS 组): 给予生理盐水灌胃; (2) 黑芝麻油-卵磷脂油溶液 (Oil 组): 给予 70 mg/mL 的黑芝麻油-卵磷脂油溶液灌胃; (3) 维生素 E-黑芝麻油-卵磷脂油溶液 (VE 组): 给予 25 mg/mL 的维生素 E-黑芝麻油-卵磷脂油溶液灌胃。上述动物分笼饲养, 饲养条件相同, 自由饮水和摄食。灌胃计量为 10 mL/kg/d, 实验持

续 10 周。每周称体重 1 次, 并按体重调整给药的剂量。实验结束时, 小鼠进行颈椎脱臼处死, 取右侧股骨进行 Micro CT 扫描, 取左侧尺骨进行骨成分含量测定。

### 1.3 观察指标及测定方法

#### 1.3.1 小鼠体重的观察

小鼠按每周称体重一次, 于实验结束前一天停止供应饲料, 进行禁食 12 h, 称重一次, 作为小鼠最后的体重<sup>[6]</sup>。

#### 1.3.2 Micro CT 对小鼠股骨的分析

小鼠右侧股骨除尽肌肉和附着组织后, 放入 Micro CT 仪进行 X 射线扫描。Micro CT 扫描条件如下: 能量/强度为 70 kVp, 114  $\mu$ A, 8 W, 整合时间为 200 ms, 图像矩阵为 2 048 $\times$ 2 048。以 0 $^\circ$  旋转进行 Micro CT 扫描。扫描结束后, 选取距离生长板远端 1.0 mm、层厚为 2.0 mm 的骨组织进行三维重建, 以最低阈值为 160 提取三维图像信息。使用仪器自带软件 (SCANCO Medical AG) 进行参数分析, 参数选取骨体积分数 (BV/TV)、骨小梁数量 (Tb.N)、骨小梁厚度 (Tb.Th)、骨小梁分离度 (Tb.Sp)、骨密度 (Density)、骨小梁连接密度 (Conn-Dens)、结构模型指数 (SMI) 及各向异性 (DA)<sup>[7]</sup>。

#### 1.3.3 小鼠羟脯氨酸、骨镁和骨钙含量的测定

精密称重小鼠左侧尺骨, 后置于烤箱于 80  $^\circ$ C 烘烤 72 h 后至恒重, 再次精密称重并记录数据。

之后将烘烤干的每一份骨组织标本放进 10 mL 安瓿瓶中, 分别加入 6 mol/L 的盐酸 5 mL, 然后酒精喷灯火烧密封安瓿瓶瓶口, 再于 108  $^\circ$ C 烤箱中消化 24 h, 之后取出过滤。量取 0.25 mL 尺骨原滤液, 加入蒸馏水稀释至 5 mL, 摇匀后为稀释液。将骨稀释液分成两份, 一份取 1 mL 骨稀释液, 按照羟脯氨酸试剂盒的方法, 测定吸光度, 计算羟脯氨酸的含量, 一份取骨稀释液用 ICP 仪测定骨镁、钙的含量, 再根据标准品含量和样品稀释倍数来计算镁、钙的含量<sup>[8]</sup>。

### 1.4 统计学分析方法

实验数据用  $\bar{x} \pm s$  表示, 采用 SPSS24.0 软件进行 ANOVA 单因素方差分析, 若 Levene 检验方差齐性, 则组间采用 LSD 检验; 若方差不齐, 则采用 welch 校正后再做方差分析, 组间采用 Dunnett's T3 多重检验。以  $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$  表示差异具有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 小鼠体重的变化

实验开始时, 各组间小鼠体重的差异均无统计学意义。实验结束时, NS 组小鼠体重比实验前降低 9.63%, VE 组小鼠体重比实验前降低 3.06%, Oil 组小鼠体重比实验前降低 9.85%, 说明实验后, 各组小鼠体重均比实验前有所降低。结果见表 1。

表 1 小鼠体重的变化  
Table 1 Changes in body weight of mice

组别	0 周/g	2 周/g	4 周/g	6 周/g	8 周/g	10 周/g	变化率/%
NS 组	47.24 $\pm$ 5.89	43.83 $\pm$ 5.82	43.33 $\pm$ 5.72	41.51 $\pm$ 6.04	42.85 $\pm$ 5.82	42.69 $\pm$ 4.09	-9.63
VE 组	48.06 $\pm$ 3.67	47.58 $\pm$ 4.05	47.21 $\pm$ 3.43	46.63 $\pm$ 2.92	46.54 $\pm$ 3.55	46.59 $\pm$ 3.25	-3.06
Oil 组	48.23 $\pm$ 5.54	45.23 $\pm$ 2.85	46.24 $\pm$ 3.69	44.74 $\pm$ 4.55	44.53 $\pm$ 4.87	43.48 $\pm$ 4.99	-9.85

### 2.2 小鼠骨成分的变化

与 NS 组相比, VE 组骨羟脯氨酸、骨镁和骨钙含量差别均无统计学意义, 说明维生素 E-黑芝麻油卵磷脂溶液不能改善自然生长老龄小鼠骨矿物质和有机质的丢失; Oil 组骨镁和骨钙含量均显著增加, 分别增加了 53.44% ( $P < 0.01$ )、58.04%

( $P < 0.01$ ), 说明黑芝麻油卵磷脂溶液可以抵抗骨矿物质的丢失。与 VE 组相比, Oil 组骨镁和骨钙含量均显著增加, 分别增加了 29.83% ( $P < 0.01$ )、42.31% ( $P < 0.05$ ), 说明黑芝麻油卵磷脂溶液增加骨矿物质的作用较维生素 E-黑芝麻油卵磷脂溶液强。结果见表 2。

表 2 小鼠尺骨干重, 湿重, 羟脯氨酸, 镁和钙含量的变化

Table 2 Variation of dry weight, wet weight, hydroxyproline, magnesium and calcium content of mouse ulna

组别	湿重/g	干重/g	羟脯氨酸/( $\mu\text{g/g}$ )	骨镁/(mg/g)	骨钙/(mg/g)
NS 组	0.17 $\pm$ 0.04	0.09 $\pm$ 0.01	28.75 $\pm$ 1.30	4.51 $\pm$ 1.39	68.38 $\pm$ 21.25
VE 组	0.19 $\pm$ 0.05	0.10 $\pm$ 0.02	29.86 $\pm$ 1.89	5.33 $\pm$ 1.24	75.94 $\pm$ 14.28
Oil 组	0.14 $\pm$ 0.05	0.08 $\pm$ 0.02	28.66 $\pm$ 1.14	6.92 $\pm$ 1.66 <sup>**##</sup>	108.07 $\pm$ 23.90 <sup>**#</sup>

注: 与 NS 组相比, \* $P$ <0.05, \*\* $P$ <0.01; 与 VE 组相比, # $P$ <0.05, ## $P$ <0.01。

Note: Compared with NS group, \* $P$ <0.05, \*\* $P$ <0.01; compared with VE group, # $P$ <0.05, ## $P$ <0.01.

### 2.3 小鼠 Micro CT 参数的变化

#### 2.3.1 小鼠 Micro CT 扫描三维重建图的变化

图 A 为 NS 组, NS 组骨小梁出现了断裂变短, 网状结构退化, 有较大的间隙出现在中央区域, 这表明老龄小鼠给予生理盐水 10 周后, 小鼠股骨的骨量减少, 骨微观结构受到破坏。B 为 VE 组, 骨小梁数目增加且变粗, 间隙变小, 连续性得到一定的恢复。C 为 Oil 组, 骨小梁分布排列紧密, 均匀有序且间隙较小, 连续性较好。以上结果表明维生

素 E-黑芝麻油卵磷脂溶液和黑芝麻油卵磷脂溶液均不同程度的增加自然生长老龄小鼠股骨的骨量, 微观结构均有不同程度的改善。结果见图 1~3。

#### 2.3.2 小鼠股骨 Micro CT 扫描参数的变化

与 NS 组相比, VE 组股骨 Micro CT 参数 BV/TV、Density 和 Conn-Dens 均显著增加, 分别增加了 77.78% ( $P$ <0.01)、71.24% ( $P$ <0.01)、8.91% ( $P$ <0.01), SMI 显著降低, 降低了 36.54% ( $P$ <0.01), 说明维生素 E-黑芝麻油卵磷脂溶液

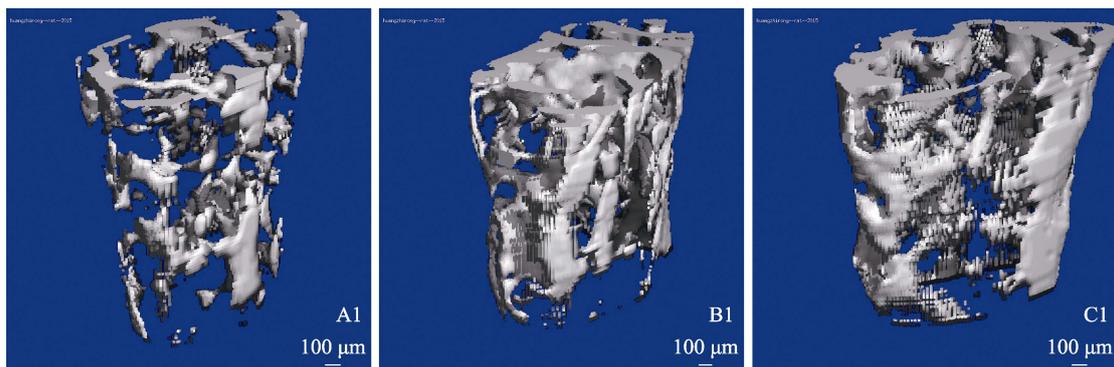


图 1 小鼠股骨 Micro CT 的三维重建图 (SEG 图)

Fig.1 Three-dimensional reconstruction image of mouse femur by Micro CT (SEG image)

注: A1:NS 组, B1:VE 组, C1:Oil 组; SEG 图反映骨小梁的数量

A1: NS group, B1: VE group, C1: Oil group; SEG chart reflects the number of trabecular bone

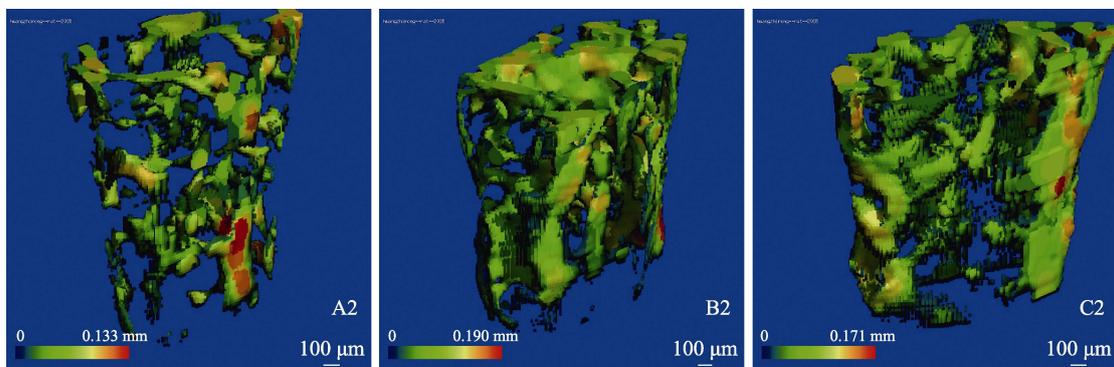


图 2 小鼠股骨 Micro CT 的三维重建图 (TH 图)

Fig.2 Three-dimensional reconstruction image of mouse femur by Micro CT (TH image)

注: A2:NS 组, B2:VE 组, C2:Oil 组; TH 图反映骨小梁的厚度, 绿到红反映了骨从薄到厚

A2: NS group, B2: VE group, C2: Oil group; TH chart reflects the thickness of trabecular bone, green to red reflects the bone from thin to thick

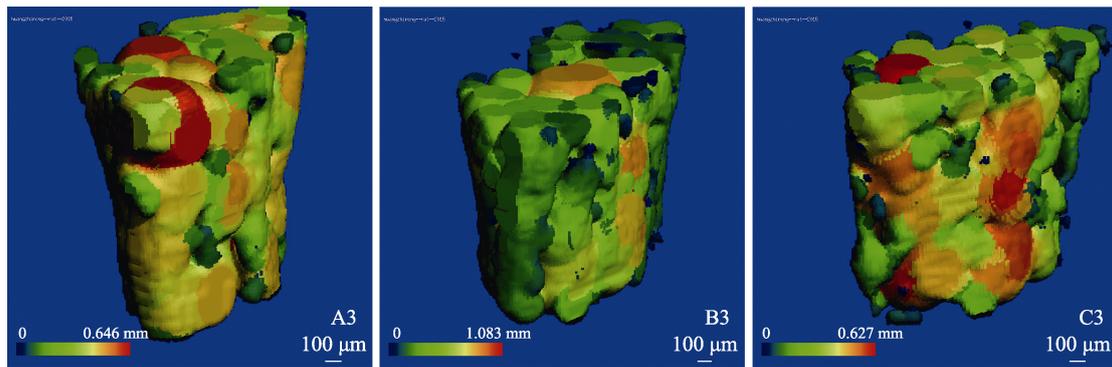


图 3 小鼠股骨 Micro CT 的三维重建图 (SP 图)

Fig.3 Three-dimensional reconstruction image of mouse femur by Micro CT (SP image)

注: A3: NS 组, B3: VE 组, C3: Oil 组; SP 图反映骨小梁的分离度, 绿到红反映了骨分离度从小到大

A3: NS group, B3: VE group, C3: Oil group; SP diagram reflects the separation of trabecular bone, green to red reflects the separation of bone from small to large

可以增加正常生长老龄小鼠股骨的骨密度, 骨小梁由杆状结构转变为板状结构; Oil 组 Conn-Dens 显著增加 138.77% ( $P < 0.01$ ), BV/TV、Density 有所增加, 分别增加了 33.33%、31.27%, 但差异无统计学意义, 说明黑芝麻油卵磷脂溶液可以改善骨小梁的微观结构, 骨微观结构得到一定的改善。结果见表 3 和表 4。

表 3 小鼠股骨 Micro CT 扫描参数的变化

Table 3 Variation of Micro CT scan parameters of mouse femur

组别	BV/TV/L	Tb.N/(L/mm)	Tb.Th/mm	Tb.Sp/mm
NS 组	0.09±0.03	1.87±0.46	0.08±0.01	0.58±0.14
VE 组	0.16±0.05**	2.15±0.80	0.09±0.02	0.53±0.16
Oil 组	0.12±0.07	1.99±0.98	0.08±0.01	0.62±0.25

注: 与 NS 组相比, \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ 。

Note: Compared with NS group, \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ 。

表 4 小鼠股骨 Micro CT 扫描参数的变化

Table 4 Variation of Micro CT scan parameters of mouse femur

组别	Density (mgHA/ccm)	Conn-Dens (L/mm <sup>3</sup> )	SMI/L	DA/L
NS 组	78.02±21.35	11.40±8.99	2.08±0.66	2.12±0.81
VE 组	133.60±39.20**	21.65±3.57**	1.32±0.26**	2.43±0.61
Oil 组	102.42±59.13	27.22±15.94**	1.50±0.43	2.63±0.84

注: 与 NS 组相比, \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ 。

Note: Compared with the NS group, \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ 。

### 3 结论

#### 3.1 维生素 E 对自然生长 8 月龄小鼠骨代谢的作用

本实验中, 开始用药前, 各组间小鼠体重差异无统计学意义, 实验结束时, VE 组小鼠体重比实验前有所降低, 说明随着实验时间增加, 维生

素 E-黑芝麻油卵磷脂溶液可使自然生长老龄小鼠体重稍有降低。与 NS 组相比, VE 组骨羟脯氨酸、骨镁和钙骨含量差别均无统计学意义, 说明维生素 E-黑芝麻油卵磷脂溶液不能改善自然生长老龄小鼠骨矿物质和有机质的丢失。从 Micro CT 三维图可看出, VE 组骨小梁数目增加且变粗, 间隙变小, 连续性得到一定的恢复。与 NS 组相比, VE 组股骨 Micro CT 指标的 BV/TV 和 Density 均显著增加, SMI 显著降低, 说明维生素 E-黑芝麻油卵磷脂溶液可以增加正常生长老龄小鼠股骨的骨密度, 骨小梁由杆状结构转变为板状结构。

维生素 E 作为抗氧化剂, 可增加谷胱甘肽过氧化物酶的活性, 增强机体清除自由基的能力; 可减轻运动中抗氧化酶所受的自由基损伤, 减缓疲劳出现, 从而提高运动的能力; 还可以直接控制线粒体内过氧化氢的产生<sup>[9-10]</sup>。此外, 维生素 E 的衍生物普遍参与质膜的组成, 可增强肌纤维膜、线粒体膜和肌浆网膜的完整性和稳定性, 防止肌浆网内  $Ca^{2+}$  的大量溢出引发的骨骼肌损伤<sup>[11]</sup>。而氧化应激与骨之间具有明确的生物联系, 自由基可降解骨基质, 降低骨形成活性; 活化并促进破骨细胞的分化, 激活骨吸收; 抑制成骨细胞的分化, 诱导单核细胞迁移并将单核细胞分化为破骨细胞, 从而导致骨重建的解偶效应<sup>[2,12]</sup>。张益嘉等<sup>[3]</sup>研究发现, 维生素 E 通过清除自由基, 解除体内产物对成骨细胞的抑制, 同时减少自由基对骨胶原分子的破坏使骨有机质恢复, 从而恢复骨量。另外, 研究发现<sup>[13]</sup>, 维生素 C 和 E 与不抽烟

的绝经后妇女骨吸收指标 I 型胶原羧基末端肽水平呈负相关,可以抑制骨吸收。贾岩波等<sup>[14]</sup>研究表明,维生素 E 可通过促进 bcl-2 的表达和抑制 Caspase-3 的表达来抑制骨细胞凋亡,从而缓解激素所致的骨损伤。此外,有报道<sup>[15]</sup>,通过基因操作获得不吸收维生素 E 的小鼠,结果发现它们的破骨细胞比正常的要小,无法顺利吸收骨骼,起到抗骨质疏松作用。本研究结果显示,维生素 E 可使自然生长小鼠的骨密度增加,结构模型指数减少,说明其对自然生长小鼠所引起的骨丢失有一定的预防作用。这可能是因为维生素 E 可通过抑制自由基,防止骨的变性,使得骨吸收减少,起到防止自然衰老导致的骨量减少,说明维生素 E 在骨骼生长发育中发挥了积极作用。

### 3.2 黑芝麻油对自然生长 8 月龄小鼠骨代谢的影响

本实验结束时, Oil 组小鼠体重比实验前有所降低,说明随着实验时间增加,黑芝麻油卵磷脂溶液可使自然生长老龄小鼠体重稍有降低。与 NS 组相比, Oil 组骨镁和骨钙含量均显著增加,说明黑芝麻油卵磷脂溶液可以抵抗骨矿物质的丢失。与 VE 组相比, Oil 组骨钙和骨镁含量均显著增加,说明黑芝麻油卵磷脂溶液增加骨矿物质的作用较维生素 E 强。从 Micro CT 三维图可看出, Oil 组的骨小梁分布排列紧密,均匀有序且间隙较小,连续性较好,表明黑芝麻油卵磷脂溶液可在一定程度上增加自然生长老龄小鼠股骨的骨量,微观结构得到改善。与 NS 组相比, Oil 组 Conn-Dens 显著增加,而 BV/TV、Density 均有所增加,但差异无统计学意义,说明黑芝麻油卵磷脂溶液可以改善骨小梁的微观结构,骨微观结构得到一定的改善。

黑芝麻含有多种人体必需氨基酸,含有的维生素 E 和维生素 B<sub>1</sub> 能加速人体代谢功能;含有的铁和维生素 E 可预防贫血、活化脑细胞、消除血管胆固醇;含有的不饱和脂肪酸,有延年益寿作用<sup>[16]</sup>。黑芝麻油来源于黑芝麻,从实验结果显示黑芝麻油同样可以预防自然生长致小鼠骨丢失,而增加骨钙、骨镁的效果比维生素 E 更显著,黑芝麻油预防自然生长致小鼠骨丢失的机制可能与

必需脂肪酸有关,可以通过增加维生素 D 的活性,加强机体吸收肠道的钙,减少肾钙的排出,从而使钙沉积在骨骼,以增强骨的强度。另外,黑芝麻油含有大量如亚油酸、亚麻酸等多种必需脂肪酸,有利于钙的吸收和促进骨的重吸收,还可促进骨的形成<sup>[3]</sup>,这都有利于预防骨质疏松。因此推测,黑芝麻油可通过清除自由基,增强机体抗氧化的能力,从而消除自然生长对小鼠骨代谢的不利影响。而其机制可能是黑芝麻油中含有维生素 E 和不饱和脂肪酸等与成骨细胞、破骨细胞活性的调控有关,但具体机制有待下一步研究。

### 3.3 小结

自然生长老龄小鼠给予生理盐水 10 周后,小鼠股骨的骨量减少,微观结构受到破坏。黑芝麻油卵磷脂溶液虽不能明显增加自然生长老龄小鼠股骨的骨量,到可以增加骨钙和骨镁的含量,并且可以改善股骨微观结构,提示具有抗骨质疏松的良好应用前景。

### 参考文献:

- [1] 张锦玉, 关立克. 黑芝麻油对大白耳兔血脂的调节作用[J]. 吉林医学, 2007, 28(1): 19-20.  
ZHANG J Y, GUAN L K. Accommodation effects of black sesame oil on blood lipid in rabbit with atherosclerosis[J]. Jilin Medicine, 2007, 28(1): 19-20.
- [2] 雷泽, 付正启, 木晓云, 等. 补充维生素 E 有益骨健康[J]. 中国骨质疏松杂志, 2010, 16(9): 709-712.  
LEI Z, FU Z Q, MU X Y, et al. Vitamin E supplementation improves bone health[J]. Chin J OSTEOPOROS, 2010, 16(9): 709-712.
- [3] 张益嘉, 吴铁, 崔燎, 等. 月见草油与维生素 E 对衰老模型小鼠骨丢失的影响[J]. 中国老年学杂志, 2009, 29(9): 1060-1062.  
ZHANG Y J, WU T, CUI L, et al. Protective effects of evening primrose oil and Vitamin E On OSSEOUS changes in the aging mice induced by D-galactose[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2009, 29(9): 1060-1062.
- [4] 赵华, 苏华, 吴铁. 芝麻油对醋酸泼尼松致骨质疏松症大鼠的防治作用[J]. 食品科技, 2009, 34(8): 63-67.  
ZHAO H, SU H, WU T. Preventive and therapeutic effects of sesame oil on glucocorticoid-induced osteoporosis in rats[J]. Food Science and Technology, 2009, 34(8): 63-67.
- [5] 于琼, 吕思敏, 崔燎, 等. 黑芝麻油对环磷酰胺诱导大鼠股骨骨丢失的影响[J]. 营养学报, 2015, 37(4): 361-365.  
YU Q, LV S M, CUI L, et al. Effects of black sesame oil on bone loss of femur induced by cyclophosphamide in rat[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2015, 37(4): 361-365.

- [6] 吕思敏, 于琼, 司徒永立, 等. 含辅酶 Q<sub>10</sub> 和洛伐他汀的红曲提取物对大鼠胫骨形态的骨计量学观察[J]. 中国骨质疏松杂志, 2016, 22(11): 1469-1475.  
 LV S M, YU Q, SI-TU Y L, et al. Effect of red yeast rice extract components containing coenzyme Q<sub>10</sub> and lovastatin on histomorphometry of the tibia in rats[J]. Chin J Osteoporos, 2016, 22(11): 1469-1475.
- [7] 吕思敏, 黄志荣, 于琼, 等. 辅酶 Q<sub>10</sub> 及其伴侣饮料对轻度衰老期小鼠股骨和尺骨的影响[J]. 中国临床药理学与治疗学, 2018, 23(3): 290-295.  
 LV S M, HUANG Z R, YU Q, et al. Effects of coenzyme Q<sub>10</sub> chaperone drinks on femur and ulna in the mild aging mice[J]. Chin J Clin Pharmacol Ther, 2018, 23(3): 290-295.
- [8] 吕思敏, 于琼, 司徒永立, 等. 含辅酶 Q<sub>10</sub> 的红曲胶囊对去卵巢合并 D-半乳糖大鼠股骨的影响[J]. 中国药理学通报, 2016, 2(9): 1253-1259.  
 LV S M, YU Q, SI-TU Y L, et al. Protective effect of red yeast rice capsule containing coenzyme Q<sub>10</sub> on osteoporosis in rats induced by ovariectomy combined with D-galactose[J]. Chinese Pharmacological Bulletin, 2016, 2(9): 1253-1259.
- [9] 吴翊馨, 张海平, 高岩, 等. 口服 Vitamin E 对离心运动后大鼠骨骼肌损伤的影响[J]. 中国实用护理杂志, 2013, 29(27): 11-14.  
 WU Y X, ZHANG H P, GAO Y, et al. Effects of oral vitamin E on skeletal muscle injury in rats after eccentric exercise[J]. Chinese Journal of Practical Nursing, 2013, 29(27): 11-14.
- [10] 孔维佳, 韩月臣, 王莹, 等. 维生素 E 和辅酶 Q<sub>10</sub> 对大鼠内耳组织线粒体 DNA4834bp 缺失突变的预防作用[J]. 中华耳鼻喉科杂志, 2004, 39(12): 707-711.  
 KONG W J, HAN Y C, WANG Y, et al. Protective roles of vitamin E and coenzyme Q<sub>10</sub> in the inner ear mitochondrial DNA 4834 bp deletion mutation of rats[J]. Chin J Otorhinolaryngol, 2004, 39(12): 707-711.
- [11] HAJIANI M, GOLESTANI A, SHADFTABDZI A, et al. Dose-dependent modulation of systemic lipid peroxidation and activity of anti-oxidant enzymes by vitamin E in the rat[J]. Redox Rep, 2008, 13(2): 60-66.
- [12] MAGGIO D, BARABANI M, PIERANDREI M, et al. Marked decrease in plasma antioxidants in aged osteoporotic women: results of a cross-sectional study[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2003, 88(4): 1523-1527.
- [13] 孟迅吾. 应重视原发性骨质疏松症防治的基础措施[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2012, 5(2): 77-82.  
 MENG X W. Attention to the basic intervention of primary osteoporosis[J]. Chin J Osteoporosis & Bone Miner Res, 2012, 5(2): 77-82.
- [14] 贾岩波, 刘万林, 任逸众. 维生素 E 干预激素性股骨头坏死早期细胞凋亡的研究[J]. 中华实验外科杂志, 2014, 31(2): 375-377.  
 JIA Y B, LIU W L, REN Y Z. Vitamin E intervention on early cell apoptosis of steroid-induced femoral head necrosis[J]. Chinese Journal of Experimental Surgery, 2014, 31(2): 375-377.
- [15] 蓝建中. 维生素 E 过量摄取易致骨质疏松[J]. 工会博览, 2012(18): 67.  
 LAN J Z. Excessive intake of vitamin E can easily lead to osteoporosis[J]. Trade Union Expo, 2012(18): 67.
- [16] 康寿苑. 黑芝麻防骨质疏松[J]. 老年教育: 长者家园, 2012(10): 59.  
 KANG S Y. Black sesame seeds prevent osteoporosis[J]. Elderly Education: Home for the Elderly, 2012(10): 59. 
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://llyspkj.ijournal.cn/ch/index.aspx>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。