

# 口服补钙对甘肃鼯鼠钙磷代谢的影响

王剑 王栋 何建平\* 李金钢

(陕西师范大学生命科学学院 西安 710062)

**摘要:**利用原子吸收分光光度计、可见光分光光度计、全自动生化分析仪测定了2007年4~5月捕获的甘肃鼯鼠(*Myospalax cansus*)补钙组( $n=7$ )和对照组( $n=7$ )股骨钙、磷含量,血浆钙、磷浓度,分析口服补钙对甘肃鼯鼠钙、磷代谢的影响,初步探讨甘肃鼯鼠钙、磷吸收机制。结果表明,甘肃鼯鼠补钙后股骨钙、磷含量明显增加( $P<0.05$ ),血浆钙、磷浓度无明显变化( $P>0.05$ ),股骨钙、磷含量与钙、磷摄入量显著正相关( $P<0.01$ ),呈不饱和趋势,股骨钙、磷含量与血浆钙、磷浓度呈不显著负相关( $P>0.05$ )。说明甘肃鼯鼠骨骼对钙、磷有较高储留能力,推测甘肃鼯鼠对钙、磷的吸收可能是非依赖 $VD_3$ 的被动吸收途径。

**关键词:**甘肃鼯鼠;骨骼;钙磷代谢

中图分类号:Q591 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2010)04-46-06

## Effect of Oral Calcium Intake on Ca/P Metabolism in Gansu Zokor

WANG Jian WANG Dong HE Jian-Ping\* LI Jin-Gang

(College of Life Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

**Abstract:**The effect of calcium supplement in diet on the metabolism of Ca and P in Gansu Zokor (*Myospalax cansus*) was determined by comparison of calcium supplement group ( $n=7$ ) and control group ( $n=7$ ) during April to May, 2007. The contents of Ca and P in femur and plasma of Gansu Zokor were detected respectively by AAS (Atomic Absorption Spectrometry), SP (Spectrophotometry), and by Auto Biochemistry Analyzer. The results showed that the contents of femur Ca and P increased significantly ( $P<0.05$ ) after Ca supplementation in diet, and that significantly positive correlation between Ca/P absorption and the contents of femur Ca/P ( $P<0.01$ ) was found. However, the concentrations of plasma Ca and P did not change ( $P>0.05$ ), and there was negative correlation, although not significant ( $P>0.05$ ), between the concentration of plasma Ca/P and the contents of femur Ca/P after treatment. It is suggested that high efficiency of Ca/P retention in Gansu Zokor may rely on a  $VD_3$  independent passive pathway.

**Key words:**Gansu Zokor (*Myospalax cansus*); Skeletons; Ca/P Metabolism

钙、磷是动物骨骼生长发育和维持骨量不可缺少的主要矿物元素,对动物体新陈代谢和生长发育起重要作用,机体中99%的钙和86%的磷存储于骨组织和牙中<sup>[1]</sup>。钙是动物骨中含量最多的无机矿质元素,是构成动物骨的主要成分,绝大部分钙和磷形成骨中矿物盐的主体羟基磷灰石及无定形的胶体磷酸钙,与胶原结合共同沉积于骨骼和牙齿中,维持骨骼和牙

齿的正常力学性能<sup>[2]</sup>。此外,钙以少量的碳酸钙、柠檬酸钙等形式存在。目前对钙在骨骼中

基金项目 国家自然科学基金项目(No.30670360);

\* 通讯作者,E-mail: hejianping@snnu.edu.cn;

第一作者介绍 王剑,男,硕士研究生;研究方向:比较生理学;E-mail: wangjian0112@stu.snnu.edu.cn。

收稿日期:2009-11-16,修回日期:2010-04-30

的作用已达成共识,即钙是骨骼正常生长发育的前提,缺乏或过量都易导致骨骼发育异常<sup>[3]</sup>。同时,骨也是机体含磷最丰富的场所,磷在骨内含量仅次于钙,不仅是构成骨骼的主要无机成分,而且参与形成骨的无机与有机基质的每一过程<sup>[4]</sup>。骨骼钙、磷代谢是机体矿质代谢的重要组成,在骨骼与其他器官、组织间交流是实现机体矿质平衡的基本途径<sup>[5]</sup>,这一生命过程受神经、激素的调节。含钙物质进入动物体后,主要在肠道通过细胞途径和旁细胞途径吸收。细胞途径系主动吸收过程,需依赖维生素 D<sub>3</sub>、钙结合蛋白和相关酶的参与,是耗能过程;而旁细胞途径主要借助肠道和血浆中的钙浓度梯度,由高浓度一侧到达低浓度一侧,为被动转运途径<sup>[6-7]</sup>。

以往对钙、磷代谢的研究主要关注维生素 D 对钙、磷吸收的影响,而长期营严格地下生活的啮齿类动物,其生活环境缺少阳光,缺乏有效获得维生素 D<sub>3</sub> 的环境条件<sup>[8]</sup>,体内维生素 D<sub>3</sub> 水平较低<sup>[9]</sup>,机体钙、磷代谢过程不同于地面生活哺乳动物<sup>[10]</sup>。甘肃鼯鼠 (*Myospalax cansus*) 分布于黄土高原,营严格地下生活,很少得到阳光照射,自身难以合成维生素 D<sub>3</sub>。但有研究表明,甘肃鼯鼠骨内钙含量与地面鼠相比,并不减少<sup>[11]</sup>,推测甘肃鼯鼠体内钙代谢可能不依赖于维生素 D<sub>3</sub>,是受食物中钙含量调节。为此,实验设计甘肃鼯鼠口服补钙组与不补钙的对照组,通过测定其骨骼钙、磷含量,血浆钙、磷浓度及钙、磷摄入量,血清 VD<sub>3</sub> 含量,分析补钙对甘肃鼯鼠钙、磷代谢的影响,探讨甘肃鼯鼠钙、磷代谢的可能机制。

## 1 材料与方 法

**1.1 实验动物** 实验用成年甘肃鼯鼠 14 只(5 ♀ 9 ♂),2007 年 4~5 月捕自陕西省延安市,该地区海拔 970~1 150 m,年平均气温 7.7~11.6℃,年均降水量约 500 mm,黄土土层厚,土质松软,为典型的黄土高原丘陵、沟壑农区。实验动物均单笼饲养,以锯末作垫料,棉花作巢材,饲以胡萝卜。饲养温度(21±1)℃,光周期

14L:10D。实验时将其随机分成两组,即对照组 7 只(2 ♀ 5 ♂),体重(185±36)g;口服补钙组 7 只(3 ♀ 4 ♂),体重(194±29)g。补钙组每天在同一时间经灌胃补钙(葡萄糖酸钙,医用针剂,无锡市第七制药有限公司),按 100 mg/kg(葡萄糖酸钙/体重)灌注。

**1.2 样品预处理** 所有动物在实验开始前一周适应性饲以胡萝卜,实验期 3 周。实验期满后,动物经乙醚麻醉,心放血处死,同时收集血液。分离双侧股骨,除净肌肉、筋膜等组织,去离子水冲洗干净,置 60℃ 恒温箱中烘干,备用。

### 1.3 检测指标及方法

**1.3.1 体重及摄食量** 实验开始后,每天更换新鲜胡萝卜,记录供给量与剩余量,每 3 天称一次体重,并同时更换垫料。

**1.3.2 食物钙、磷含量** 随机选取饲养用胡萝卜 5 根,去离子水充分洗净、晾干,每根称取 5.000 0 g,置瓷坩埚,放入马弗炉,缓慢升温至 550℃,灰化 3~4 h,取出冷却,转入 100 ml 蒸馏烧瓶,加 5 ml 浓 HNO<sub>3</sub>,低温加热溶解灰化,体积控制在 1~2 ml,稍冷,转至 100 ml 容量瓶中,去离子水定容。TAS-986 型原子吸收分光光度计(北京普析通用仪器有限公司)火焰原子吸收法测定钙含量,仪器工作条件为:波长 422.7 nm,带宽 0.4 nm,灯电流 3.0 mA,负高压:318.5 V,燃气流量 1.2 L/min,燃烧器高度 5.0 mm;721 型分光光度计(上海精密科学仪器有限公司)磷-钒钼酸黄光分光光度法测定磷含量,波长为 425 nm。

**1.3.3 股骨钙、磷含量** 将烘干股骨粉碎并混匀,称 0.500 0 g,灰化,浓 HNO<sub>3</sub> 溶解,火焰原子吸收法测定钙,磷-钒钼酸黄光分光光度法测定磷,方法同胡萝卜钙、磷测定。

**1.3.4 血浆钙、磷含量** 收集 3~5 ml 血液,以 3 000 r/min 离心 15 min(TGL-16 G 离心机,上海安亭科学仪器厂),取血浆 0.5 ml,全自动生化分析仪(美国 Beckman CX,西安交通大学医学院第一附属医院)测其钙、磷含量。

**1.3.5 血清中维生素 D<sub>3</sub> 含量** 取血清 0.5 ml 置离心管中,加无水乙醇 1 ml,漩涡振荡 1 min,

3 000 r/min离心 5 min ,取上清并用氮气流吹干 ,残渣加无水乙醇 0.1 ml 溶解 ,高效液相色谱(HPLC) (日本岛津 LC-2010A) 检测。色谱条件:色谱柱 ,Inertsil ODS-35  $\mu\text{m}$  (150 mm  $\times$  4.6 mm);流动相 ,甲醇:乙腈(80:20);流速 1 ml/min;检测波长 265 nm;进样量 20  $\mu\text{l}$ 。

**1.4 数据统计** 测得数据用 SPSS 13.0、Origin 7.5 统计软件处理 ,以平均值  $\pm$  标准差 (Mean  $\pm$  SD) 表示 ,并进行差异显著性 *t*-检验、相关性及回归分析。数据统计计算公式分别为 ,体重增长率 = [(实验后体重 - 初始体重) / 初始体重]

$\times 100\%$  ,食物利用率 = (体重增加量 / 所食物量)  $\times 100\%$ 。

## 2 结果

**2.1 食物钙、磷含量** 实验用饲料胡萝卜钙含量为 (0.318  $\pm$  0.006) mg/g ,磷含量为 (0.165  $\pm$  0.004) mg/g。

**2.2 摄食量、体重增长率、食物利用率** 实验动物体重增长率与食物利用率见表 1。甘肃鼯鼠补钙组摄食量显著增加 ,但体重增长率和食物利用率与对照组相比无显著性差异。

表 1 甘肃鼯鼠实验前后体重、摄食量变化 (Mean  $\pm$  SD)  
Table 1 Changes in body weight and food intake of Gansu Zokor

	对照组 ( <i>n</i> = 7) Control group	补钙组 ( <i>n</i> = 7) Supplement group
体重增长率 Weight increasing rate (%)	13.225 $\pm$ 8.372 <sup>a</sup>	16.175 $\pm$ 8.349 <sup>a</sup>
摄食总量 Total food intake (g)	1 591.089 $\pm$ 567.337 <sup>a</sup>	2 213.499 $\pm$ 253.670 <sup>b</sup>
食物利用率 Food efficiency ratio (%)	1.261 $\pm$ 0.594 <sup>a</sup>	1.555 $\pm$ 0.885 <sup>a</sup>

每行中具有相同上标数据间无显著性差异 , *P* > 0.05。

Within each row , means sharing the same letter are not significantly different , *P* > 0.05.

**2.3 甘肃鼯鼠钙、磷摄入总量 ,股骨钙、磷含量及血浆钙、磷浓度** 补钙组钙、磷摄入总量明显高于对照组 ,补钙组股骨钙、磷含量明显高于对照组 (*P* < 0.05) ;两组血浆钙、血浆磷浓度有差异 ,但差异不显著 (*P* > 0.05) ;两组动物钙、磷摄入总量间差异与摄食总量差异一致 (表 2)。

**2.4 钙、磷摄入总量及血浆钙、血浆磷浓度相关分析** 甘肃鼯鼠股骨钙、磷含量与钙、磷摄入总量呈显著正相关 (0.01 < *P* < 0.05) ,相关性强 (*r* > 0.8) ,补钙组甘肃鼯鼠股骨钙、磷含量与磷摄入总量呈极显著正相关 (*P* < 0.01) (图 1、2 ,表 3)。

**2.5 血清中维生素 D<sub>3</sub> 含量** 在 HPLC 的检测

表 2 甘肃鼯鼠摄入钙、磷量及骨钙磷、血浆钙磷指标 (Mean  $\pm$  SD)

Table 2 Femur Ca and P content ,plasma Ca and P concentration ,Ca and P intake of Gansu Zokor

	对照组 ( <i>n</i> = 7) Control group	补钙组 ( <i>n</i> = 7) Supplement group
Ca 摄入总量 Total Ca ingested (mg)	506.3 $\pm$ 180.5 <sup>a</sup>	1 195.5 $\pm$ 162.6 <sup>b</sup>
P 摄入总量 Total P ingested (mg)	261.9 $\pm$ 93.4 <sup>a</sup>	364.3 $\pm$ 41.8 <sup>b</sup>
股骨 Ca Femur Ca (mg/g)	161.6 $\pm$ 9.9 <sup>a</sup>	199.1 $\pm$ 42.0 <sup>b</sup>
股骨 P Femur P (mg/g)	79.0 $\pm$ 5.6 <sup>a</sup>	91.9 $\pm$ 16.3 <sup>b</sup>
血浆 Ca Plasma Ca (mmol/ml)	2.48 $\pm$ 0.17 <sup>ac</sup>	2.65 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>
血浆 P Plasma P (mmol/ml)	1.54 $\pm$ 0.80 <sup>ab</sup>	2.01 $\pm$ 0.77 <sup>bc</sup>

每行中具有相同上标数据间无显著性差异 , *P* > 0.05。

Within each row , means sharing the same letter are not significantly different , *P* > 0.05.

表 3 甘肃鼯鼠股骨 Ca、P 含量与 Ca、P 摄入量及血浆 Ca、P 浓度之间的相关系数

Table 3 Correlation coefficient between femur Ca ,P contents and Ca ,P intake , plasma Ca ,P concentrations in Gansu Zokor

	对照组 Control group (n = 7)		补钙组 Supplement group (n = 7)	
	股骨 Ca Femur Ca	股骨 P Femur P	股骨 Ca Femur Ca	股骨 P Femur P
Ca 摄入总量 Total Ca ingested	0.863 <sup>a</sup>	0.796 <sup>a</sup>	0.822 <sup>a</sup>	0.824 <sup>a</sup>
P 摄入总量 Total P ingested	0.863 <sup>a</sup>	0.796 <sup>a</sup>	0.896 <sup>ab</sup>	0.933 <sup>ab</sup>
血浆 Ca Plasma Ca	-0.460	-0.583	-0.510	0.130
血浆 P Plasma P	-0.177	-0.228	-0.576	-0.587

a. 显著相关  $0.01 < P < 0.05$ ; ab. 极显著相关  $P < 0.01$ 。

a. Showing significant correlation,  $0.01 < P < 0.05$ ; ab. Showing extremely significant correlation,  $P < 0.01$ .

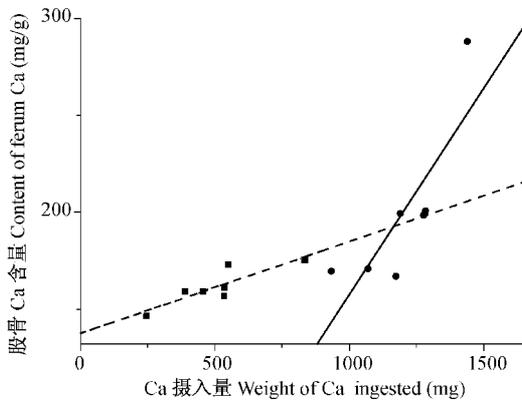


图 1 甘肃鼯鼠股骨 Ca 含量与 Ca 摄入量的回归分析 ( $n = 7$ )

Fig. 1 Regression analysis between femur Ca and Ca ingested

圆形、方形分别代表补钙组、对照组,实线与虚线分别为利用最小二乘法获得的补钙组、对照组股骨 Ca 含量与 Ca 摄入量线性拟合方程:  $Y = 0.212X - 54.093$   $R^2 = 0.676$  (补钙组),  $Y = 0.047X + 137.704$   $R^2 = 0.745$  (对照组)。

The data denoted by circles and squares are for supplement group and control group, respectively. The solid line and the dashed line are obtained by the least square linear method respectively represent supplement group and control group:  $Y = 0.212X - 54.093$   $R^2 = 0.676$  (supplement group),  $Y = 0.047X + 137.704$   $R^2 = 0.745$  (control group).

范围内 ( $10^{-9}$ ) 检测不到甘肃鼯鼠血清中  $VD_3$  含量,推测甘肃鼯鼠因其生活环境缺少阳光,机体无法合成  $VD_3$  或合成量很少,未达到 HPLC 的检测水平(图 3、4)。

### 3 讨论

钙、磷是哺乳动物生命活动的必需元素,不仅构成机体组成成分,而且参与机体神经肌肉

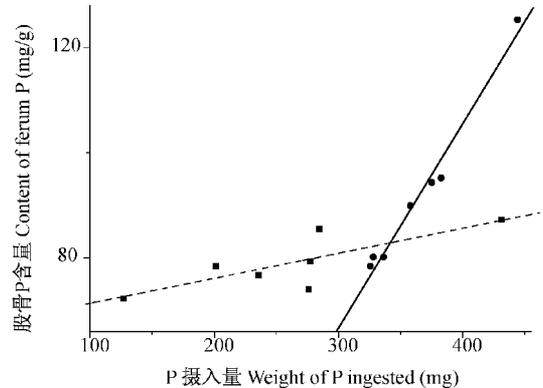


图 2 甘肃鼯鼠股骨 P 含量与 P 摄入量的回归分析 ( $n = 7$ )

Fig. 2 Regression analysis between femur P and P ingested

圆形、方形分别代表补钙组、对照组,实线与虚线分别为利用最小二乘法获得的补钙组、对照组股骨 P 量与 P 摄入量线性拟合方程:  $Y = 0.488X - 83.257$   $R^2 = 0.871$  (补钙组),  $Y = 0.048X + 66.548$   $R^2 = 0.634$  (对照组)。

The data denoted by circles and squares are for supplement group and control group, respectively. The solid line and the dashed line are obtained by the least square linear method respectively represent supplement group and control group:  $Y = 0.488X - 83.257$   $R^2 = 0.871$  (supplement group),  $Y = 0.048X + 66.548$   $R^2 = 0.634$  (control group).

兴奋、细胞信号转导、储能释能及免疫等多种生命活动,具有重要的生理调节功能。

钙、磷代谢是哺乳动物基础矿质代谢<sup>[12-13]</sup>,骨骼钙、磷代谢是其重要组成部分<sup>[14]</sup>。钙、磷在骨与其他器官、组织之间不断交换,调节整体矿质代谢,维持机体矿质稳态<sup>[15]</sup>。消化吸收食物中钙、磷,肾滤过及重吸收钙、磷,均可影响骨骼钙、磷代谢<sup>[16]</sup>。大多

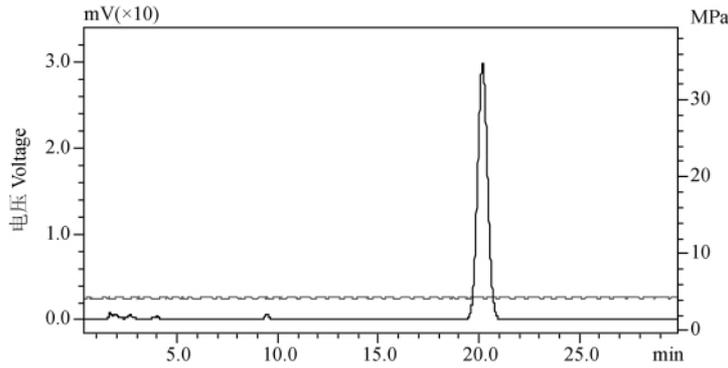


图3 VD<sub>3</sub> 标准品图

Fig. 3 Chromatograms of VD<sub>3</sub>

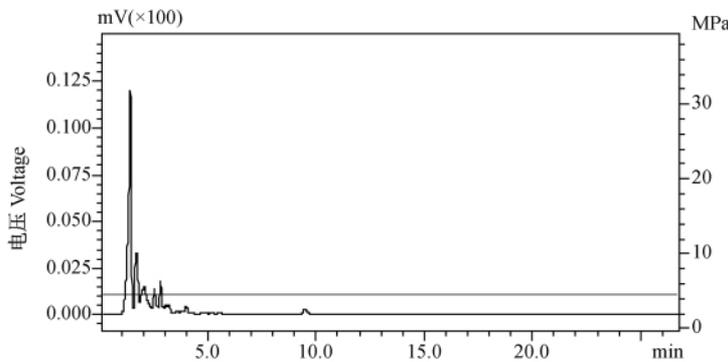


图4 甘肃鼯鼠血清中VD<sub>3</sub> 含量

Fig. 4 Chromatograms of VD<sub>3</sub> in serum on Gansu Zokor

数哺乳动物消化道吸收钙、磷,肾滤过及重吸收钙、磷主要通过  $1,25-(OH)_2VD_3$  介导的主动转运方式<sup>[17]</sup>,其钙、磷吸收率在一定范围内,随矿物质需求及食物中钙、磷含量增加而升高,是可饱和过程。若摄入过多的钙、磷,达到饱和后,多余的钙、磷就不能被有效吸收而随排泄物流失<sup>[18]</sup>。但对于长期营地下生活的啮齿动物,生活环境缺少阳光,机体无法合成  $VD_3$ ,这类动物的钙磷代谢的方式如何目前并不十分清楚。

已有研究表明,地下鼠长期适应洞穴生活,代谢能力随环境条件变化作出相应改变,如降低盲肠食物发酵率,增加肾小管重吸收等,稳定其体重变化<sup>[19-20]</sup>。Buffenstein 等及 Yahav 等研究指出,滨鼠科地下鼠纳米比亚隐鼠 (*Cryptomys damarensis*)、裸鼯鼠 (*Heterocephalus glaber*) 补钙后摄食量增加(为对照组的 1.8

倍),但对体重变化无明显影响,推测摄入的过量食物多被分解<sup>[8,20]</sup>。本研究结果表明,补钙组甘肃鼯鼠摄食量显著增加,但体重增长率和食物利用率增长差异不显著,说明甘肃鼯鼠体重不会因摄食量明显增加而有较大的改变,具有很好的稳定性,与以往报道相符合。

本研究结果表明,甘肃鼯鼠骨钙、磷含量随着食物中钙磷含量的升高而升高,但血浆钙、磷含量无显著性变化,骨骼钙、磷含量与食物钙、磷摄入量呈显著正相关 ( $P < 0.05$ ),且呈不饱和趋势,这与滨鼠科地下鼠纳米比亚隐鼠、裸鼯鼠等研究结果一致, Pitcher 等<sup>[21]</sup>对纳米比亚隐鼠的研究表明,其机体对钙的吸收率与食物含钙量之间呈显著的线性相关 ( $P < 0.01$ ),说明这种吸收具不饱和性。Buffenstein 等对裸鼯鼠研究也得出相同结果<sup>[8]</sup>。

本实验用 HPLC 检测甘肃鼯鼠血清  $VD_3$  含量,但在 HPLC 检测范围内 ( $10^{-9}$ ) 未检测到。这可能是由于甘肃鼯鼠营严格地下生活,生活环境缺少阳光,机体无法合成  $VD_3$  或合成量极少,不足以维持其体内的钙、磷代谢。据此推断,甘肃鼯鼠对食物中钙、磷吸收可能是通过非  $1,25-(OH)_2VD_3$  介导的不饱和途径,即旁细胞的被动吸收途径。Buffenstein 等对裸鼯鼠研究发现,补充  $VD_3$  虽增加其血浆  $VD_3$  浓度,但血浆钙、血浆磷浓度变化不明显,肠道吸收矿质效率无明显升高<sup>[8]</sup>。此外,对纳米比亚隐鼠离体小肠上皮细胞  $Ca^{2+}$  通道研究显示,即使培养环境中  $1,25-(OH)_2D_3$  浓度从  $10^{-12}$  nmol/L 增加到  $10^{-6}$  nmol/L,  $Ca^{2+}$  电流及细胞对钙的摄取均无显著增加<sup>[22]</sup>,说明  $VD_3$  对地下鼠钙、磷吸收没有明显的影响。甘肃鼯鼠是不是也具有这种特征还需要进一步的实验证明。

以上说明甘肃鼯鼠在缺乏  $VD_3$  来源的前提下能够维持自身矿质代谢平衡,是对长期黑暗地下生活的进化性适应。口服补钙引起磷摄入量的增加,说明其骨钙、骨磷的吸收有着不依赖  $VD_3$  的其他机制,这也是未来地下鼠类钙磷代谢研究的重点。

## 参 考 文 献

- [1] 赵爽,刘源. 钙磷摄入对骨代谢及骨组织形态影响的研究进展. 中国比较医学杂志, 2009, 19(3): 76-79.
- [2] 张元勋,张勇平,董永彭,等. 股骨头松质骨中无机元素的 PIXE 分析. 核技术, 1995, 18(7): 419-424.
- [3] 毛萌,谭建三,李志铭,等. 人体钙营养. 北京:人民卫生出版社, 1998, 5-12.
- [4] 夏志道,赵玉芬. 骨代谢的磷化学. 中国骨质疏松杂志, 1998, 4(2): 71-73.
- [5] Christopher N B E. Calcium and osteoporosis. Nutritio, 1997, 13(7/8): 664-686.
- [6] 付强,刘源. 钙、磷与维生素 D 对动物骨代谢的影响研究进展. 中国比较医学杂志, 2006, 16(8): 502-505.
- [7] Bronner F, Pansu D. Nutritional aspects of calcium absorption. J Nutr, 1999, 129: 9-12.
- [8] Buffenstein R, Skinner D C, Yahav S, et al. Effect of oral cholecalciferol supplementation at physiological and supraphysiological doses in naturally vitamin  $D_3$  deficient subterranean damara mole rats (*Cryptomys damarensis*). J Endocrinol, 1991, 131(2): 197-202.
- [9] Buffenstein R, Sergeev I N, Pettifor J M. Absence of calcitriol-mediated nongenomic actions in isolated intestinal cells of the damara mole-rat (*Cryptomys damarensis*). Gen Comp Endocrinol, 1994, 95(1): 25-30.
- [10] Buffenstein R, Laundry M T, Pitcher T, et al. Vitamin  $D_3$  intoxication in naked mole-rats (*Heterocephalus glaber*) leads to hypercalcaemia and increased calcium deposition in teeth with evidence of abnormal skin calcification. Gen Comp Endocrinol, 1995, 99: 35-40.
- [11] 王栋,何建平,李金钢,等. 甘肃鼯鼠骨骼 5 种常量无机元素的测定. 动物学杂志, 2006, 41(3): 110-113.
- [12] 刘忠厚. 骨矿与临床. 北京:中国科学技术出版社, 2006, 24-26.
- [13] 黄雯. 钙磷代谢及肾脏对钙磷平衡的调节. 中国血液净化, 2004, 3(4): 175-177.
- [14] 伍汉文. 钙磷代谢研究进展的几个方面. 中华医学杂志, 1989, 69(10): 596-598.
- [15] 俞淑敏,沈时霖. 钙磷代谢的调节. 中国实用儿科杂志, 1999, 14(10): 583-584.
- [16] 朱宪彝,朱德民,郭世绂,等. 代谢性骨病学. 天津:天津科学技术出版社, 1989, 48-104.
- [17] Boyle W J, Simonet W S, Lacey D L. Osteoclast differentiation and activation. Nature, 2003, 423(6397): 337-342.
- [18] 孙晓红,詹国瑛,孙建琴. 补钙对大鼠峰值骨量形成和预防骨质疏松的作用. 营养学报, 2001, 23(1): 40-43.
- [19] Urison N T, Buffenstein R. Kidney concentrating ability of a subterranean xeric rodent, the naked mole-rat (*Heterocephalus glaber*). J Comp Physiol, 1994, 163(8): 676-81.
- [20] Yahav S, Carlston A, Buffenstein R. Changes in food intake with ambient temperature alter hindgut fermentation in the damara mole-rat (*Cryptomys damarensis*). Comp Biochem Physiol Comp Physiol, 1993, 104(2): 357-60.
- [21] Pitcher T, Buffenstein R, Keegan J D, et al. Dietary calcium content, calcium balance and mode of uptake in a subterranean mammal the Damara mole-rat. J Nutr, 1992, 122(1): 108-114.
- [22] Buffenstein R, Sergeev I N, Pettifor J M. Vitamin D hydroxylases and their regulation in a naturally vitamin D-deficient subterranean mammal, the naked mole rat (*Heterocephalus glaber*). J Endocrinol, 1993, 138(1): 59-64.