

# 变频振动对尾吊大鼠失重性骨质疏松防治作用的研究

陶飞飞<sup>1</sup> 吴继功<sup>2\*</sup> 陶有平<sup>2</sup> 司泽兵<sup>2</sup>

1. 海门市人民医院骨科, 海门 226100

2. 解放军第306医院骨科, 北京 100101

中图分类号: R318 文献标识码: A 文章编号: 1006-7108(2016)11-1386-05

**摘要:** 目的 探讨变频振动对尾吊大鼠失重性骨质疏松模型的防治作用。方法 采用目前世界上广泛应用且技术已经成熟的鼠尾悬吊动物模型模拟失重环境,应用电磁振动台将振动强度为0.5 g(g为加速度)在不同频率45 Hz、90 Hz、变频(5~90 Hz)振动应力作用于3月龄SD雄性大鼠40只,随机分成5组,每组8只:对照组(非鼠尾悬吊组);45 Hz组、90 Hz组、变频(5~90 Hz)组,鼠尾悬吊非振动组,每次振动10 min,每天1次,每周5次,休息间隔为2天,共4周。所有对照组不进行振动治疗,但置于与振动治疗组相同噪音环境下。实验后用Micro-CT测量股骨远端骨量、自动化分析仪测定血生化指标以及Elisa试剂盒测定骨钙素。结果 振动刺激对失重性骨质疏松骨微结构的恢复及骨密度有明显的改善作用,变频振动对骨微结构的恢复及增加骨密度一定程度上要好于固定频率振动。结论 对尾吊大鼠28天的不同频率振动刺激使松质骨骨矿物质以及空间上的结构进行了重构,导致尾吊大鼠骨质疏松模型中骨量的增加,骨密度的提高,对失重性骨质疏松有一定的防治作用,为临床上防治微重力环境下骨丢失提供了实验依据。

**关键词:** 变频振动;尾吊;骨质疏松;微重力

## The therapeutic effect of frequency vibration on osteoporosis in tail-suspension SD rats subjected to simulated weightlessness

TAO Feifei<sup>1</sup>, WU Jigong<sup>2\*</sup>, TAO Youping<sup>2</sup>, SI Zebing<sup>2</sup>

1. Department of Orthopedics, Haimen People's Hospital, Haimen 226100, China

2. The 306th Hospital of PLA, Beijing 100101, China

Corresponding author: WU Jigong, Email: docwjg@163.com

**Abstract:** To study the therapeutic effect of frequency vibration on weightlessness-induced osteoporosis in the SD rats. **Methods** Weightlessness-induced osteoporosis model was established using the mature method that was widely applied in the world. Forty 3-month-old SD male rats received 0.5 g vibration at different frequencies (45 Hz, 90 Hz, and 5-90 Hz). The rats were randomly divided into 5 groups, with 8 rats in each group. They were control group (suspended only), 45 Hz group, 90 Hz group, 5-90 Hz group, and suspended without vibration group. The vibration lasted for 10 min, once a day, 5 days per week, and for 4 weeks. Rats in control group received no vibration but in the same noisy environment. Bone mass of the distal femur was measured using micro-CT. Blood biochemistry was measured with automatic analyzer. Osteocalcin was measured with ELISA method. **Results** Vibration stimulus is beneficial to the recovery of the microstructure of osteoporosis due to weightlessness and bone mineral density. The effect of variable frequency vibration is better than that of fixed frequency vibration. **Conclusion** Vibration reconstitutes cancellous bone mineral in this experiment, increases the bone mass and bone mineral density, prevents osteoporosis due to weightlessness, and provides the evidence for clinical prevention and treatment of weightlessness-induced bone loss.

**Key words:** Frequency vibration; Tail-suspension; Osteoporosis; Weightlessness

世界各国都加快了对太空探索的步伐,人类已经适应地球的重力环境,当航天员进入太空的失重

环境后,生理系统会产生适应性变化,其中骨骼系统会出现长期废用性改变,宇航员会出现骨量的丢失和肌肉的萎缩<sup>[1,2]</sup>,导致失重性骨质疏松,这就会使宇航员的危险性增加,无论在太空中还是最终返回地面。在太空飞行早期就会出现每月1%的骨量丢

基金项目: 全军医药卫生“十二五”科研课题(CWS12J140)

\* 通讯作者: 吴继功, Email: docwjg@163.com

失<sup>[3]</sup>,并且在没有机械应力的刺激下骨矿物质的丢失是持续的<sup>[4]</sup>。因此,太空环境下对骨骼系统的保护至关重要,跑台运动、自行车功量计锻炼、抗阻力锻炼都被应用于对抗失重下骨量丢失和肌肉萎缩<sup>[5]</sup>,然而每天2.5h的锻炼并没有完全阻止骨量的丢失<sup>[6,7]</sup>。除了功能锻炼可以防治失重性骨质疏松,有动物研究和临床实验表明低幅高频的全身振动可以预防骨量的丢失,防止骨质疏松的发生。在老鼠、小鼠以及人的临床实验都证明振动应力刺激可以提高骨密度,增加骨量,同时提高肌肉的力量,以维持身体的平衡性<sup>[8-11]</sup>。

前期研究已证明固定频率振动刺激的成骨效应,然而机体在日常活动时骨骼系统通常接受不固定的频率刺激,进行综合可变的频率应力刺激,可能对成骨效应的影响更佳。但是回顾目前的研究结果,在变频情况下对于成骨效应的影响及其机理尚不明确,本实验的目的是采用目前世界上广泛应用且技术已经成熟的鼠尾悬吊动物模型,探讨变频振动刺激对失重性骨质疏松的防治作用,为失重状态下骨量丢失的防治提供理论和实验依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 电磁振动台

定制于东莞汇泰机械有限公司,主要包括振动台和控制箱两部分,噪音低,控制精准度高,频率控制液晶屏操作简单、方便。振动台可振动置于台上的动物和细胞,而控制器控制并检测振动强度及频率。电源电压 AC:220V ± 20% 5 ~ 400 Hz,振幅 p-p:0 ~ 5 mm,加速度范围:0 ~ 10 g。垂直振动和水平振动交替进行构成正弦波振动。

### 1.2 动物分组及造模

40只3月龄SPF级雄性SD大鼠(购于北京维通利华),体重246 g ± 18 g,实验前均接受3天的适应性生活,然后随机分成5组,每组8只:非鼠尾悬吊对照组(CON组),45 Hz组、90 Hz组、变频(5 ~ 90 Hz)组,鼠尾悬吊非振动组(TS组),大鼠单独分笼尾吊。采用尾部悬吊使大鼠始终保持头低位(约-30 °C),大鼠前肢着地,后肢不负重,不影响自由进食消毒颗粒

饲料和饮消毒水。CON组常规单笼饲养;5 ~ 90 Hz变频组、45 Hz、90 Hz振动组(其它振动参数一致)每天在同一时间分别置于振动台上给予10 min/d,5 d/周机械振动刺激,CON组、TS组给予相同实验条件,但不给予振动。实验周期为28天。

### 1.3 标本采集和骨代谢指标测定

大鼠悬吊4周后,水合氯醛(4 ml/kg)对大鼠进行麻醉后,经腹主动脉采集血液标本,常温离心后收集血清,采用日立7600全自动生化分析仪测定血清中钙(Ca)、磷(P)以及碱性磷酸酶(ALP)含量,并用ELISA试剂盒(美国Sigma)测定血清骨钙素(osteocalcin,OC)含量。大鼠麻醉前称量体重,然后取后肢右侧股骨,并剔除股骨附着的肌肉、韧带以及结缔组织,用生理盐水纱布包埋后置于-20 °C冰箱中保存。待所有标本取材完毕后一起进行检测和分析。

### 1.4 Micro CT分析股骨远端微结构

所有待测的右侧股骨标本于检测前6h从冰箱中取出,于室温下解冻。在vivaCT40(北京航天医学研究所提供,SCANCO MEDICAL公司,瑞士)上进行骨扫描,分析选择在股骨远端骨骺线中间1 mm处往下2 mm的区域,以股骨纵轴为垂直的扫描平面连续向远端扫描,间隔10.5 μm,扫描图像自动存入计算机内,通过设备自带的分析软件进行分析处理,得出3D骨密度(Bone Mineral Density, BMD)以及骨小梁结构形态参数骨体积分数(bone volume / total volume, BV / TV)、表面积体积比(bone surface / bone volume, BS / BV)、骨小梁厚度(trabecular thickness, Tb. Th)、骨小梁数量(trabecular number, Tb. N)、骨小梁分离度(trabecular separation / Spacing, Tb. Sp)。

### 1.5 统计学分析

使用SPSS 16.0软件处理,以均数 ± 标准差表示,计量资料应用两组独立样本t检验比较均数差异,单因素方差分析和Dunnett-t检验比较多组均数差异。以P < 0.05为差异具有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 尾吊前后大鼠体重变化

表1 各组实验前实验后体重变化( $\bar{x} \pm s$ , g)

Table 1 The weight change of rats in each group before and after the experiment ( $\bar{x} \pm s$ , g)

体重	45 Hz组	90 Hz组	变频组	TS组	CON组
实验前	245.8 ± 7.9	245.8 ± 7.5	246 ± 6.8	246.3 ± 8.8	246.1 ± 10.8
实验后	306.2 ± 32.5	319.5 ± 36.1	337.2 ± 24.2*	308.87 ± 26.3 <sup>△</sup>	366.6 ± 34.3

注:与TS组比较,\*P < 0.05;与CON组比较,<sup>△</sup>P < 0.01;

Note: \* P < 0.05, compared with TS; <sup>△</sup> P < 0.01, compared with CON

由表1可知:实验前各组大鼠体重之间无明显差别。尾吊28天后,TS组体重明显低于CON组,差异有统计学意义( $P < 0.01$ );变频组、90 Hz组体重都高于TS组,变频组体重较TS组表现差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),90 Hz组并没有表现出要好于

SCG组( $P > 0.05$ ),45 Hz组体重低于TS组,差异并无统计学意义;变频组体重高于45 Hz组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。

## 2.2 大鼠血清骨转化标志物变化

表2 各组大鼠血清骨转化标志物测得值( $\bar{x} \pm s$ )

Table 2 Changes of serum biochemical markers of bone metabolism in different groups ( $\bar{x} \pm s$ , g)

	45 Hz组	90 Hz组	变频组	TS组	CON组
Ca (mmol/L)	1.46 ± 0.12	1.42 ± 0.15	1.48 ± 0.18	1.49 ± 0.13	1.68 ± 0.11
P (mmol/L)	1.20 ± 0.31	1.21 ± 0.24	1.41 ± 0.27	1.49 ± 0.37	1.76 ± 0.22
ALP (U/L)	180.1 ± 25.2*	139.0 ± 30.7	150.3 ± 27.6	140.8 ± 22.5	142.6 ± 23.1
OC (ng/ml)	1.020 ± 0.18	1.085 ± 0.09	1.028 ± 0.19	1.019 ± 0.14 <sup>Δ</sup>	1.279 ± 0.02

注:与TS组比较,\* $P < 0.01$ ;与CON组比较,<sup>Δ</sup> $P < 0.01$ ;

Note: \* $P < 0.01$ , compared with TS; <sup>Δ</sup> $P < 0.01$ , compared with CON

由表2可知:血清Ca、P各尾吊组与CON组虽然数值各异,但统计学分析并没有表现显著差异( $P > 0.05$ );从表中我们可以看出TS组和CON组ALP含量无明显区别,差异无统计学意义;各尾吊组之间比较结果显示:45Hz组较TS组有显著区别,差异有统计学意义( $P < 0.01$ );虽然变频组ALP含量高于TS组,90HzALP含量低于TS组,但差异都无统计学

意义( $P > 0.05$ ),45Hz组ALP含量要高于90Hz与变频组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。相较CON组,各尾吊组骨钙素均显著减小,差异有统计学意义( $P < 0.01$ );各振动治疗组之间未见明显区别( $P > 0.05$ )。

## 2.3 Micro CT分析股骨微结构及BMD结果

表3 各组股骨远端骨小梁结构形态参数及BMD对比( $\bar{x} \pm s$ ,  $n = 6$ )

Table 3 Trabecular microstructural parameters of the distal femurs ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n = 6$ )

	45 Hz组	90 Hz组	变频组	TS组	CON组
BV/TV (%)	0.352 ± 0.028*	0.332 ± 0.022*	0.360 ± 0.039*	0.288 ± 0.039 <sup>Δ</sup>	0.484 ± 0.080
Tb. N (1/mm)	2.713 ± 0.578*	2.567 ± 0.406*	3.070 ± 0.35*	2.493 ± 0.253 <sup>Δ</sup>	4.171 ± 0.522
Tb. Th (mm)	0.211 ± 0.024	0.209 ± 0.010	0.213 ± 0.032	0.207 ± 0.030	0.218 ± 0.026
Tb. Sp (mm)	0.379 ± 0.062*	0.365 ± 0.052*	0.309 ± 0.016*	0.487 ± 0.086 <sup>Δ</sup>	0.265 ± 0.050
BS/BV (1/mm)	16.898 ± 1.205	17.109 ± 1.495	15.127 ± 2.037*	18.107 ± 1.631 <sup>Δ</sup>	15.349 ± 1.463
BMD (g/cm <sup>3</sup> )	0.256 ± 0.041*	0.237 ± 0.023	0.262 ± 0.045*	0.206 ± 0.025 <sup>Δ</sup>	0.319 ± 0.042

注:与TS组比较,\* $P < 0.05$ ;与CON组比较,<sup>Δ</sup> $P < 0.05$ ;<sup>▲</sup> $P < 0.01$

Note: \* $P < 0.05$ , compared with TS; <sup>Δ</sup> $P < 0.05$ , <sup>▲</sup> $P < 0.01$ , compared with CON

从表3中可以看出:相比CON组,TS组BV/TV、Tb. N要显著低于CON组,Tb. Sp、BS/BV明显高于CON组,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。相比TS组,各频率振动组BV/TV、Tb. N都高于TS组,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ );变频组BS/BV低于TS组( $P < 0.05$ ),虽然45Hz组、90Hz组BS/BV低TS组高于变频组,但无明显差别,无统计学意义( $P > 0.05$ );各频率振动组Tb. Sp明显低于TS组,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ );各频率振动组之间比较,变频组Tb. Sp明显低于45Hz组、90Hz组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。各组之间Tb. Th无明显差异( $P > 0.05$ )。

从表3中统计学分析可以看出:TS组BMD明

显低于CON组,差异有统计学意义( $P < 0.01$ );与TS组比较,45Hz组和变频组BMD要高于TS组,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ );虽然90Hz组BMD高于TS组,但差异无统计学意义( $P > 0.05$ );变频组BMD虽然也高于45Hz组、90Hz组,但未见明显差别( $P > 0.05$ )。结果表明振动刺激对失重性骨质疏松骨微结构的恢复及BMD有明显的改善作用,变频振动对骨微结构的恢复及增加BMD一定程度上要好于固定频率振动。

## 3 讨论

目前研究已经证实太空飞行失重状态下导致的骨量丢失。大量的动物和临床实验研究已经证实机

械振动可以刺激骨形成,减少骨丢失<sup>[12-16]</sup>,机械振动作为预防骨量丢失方法之一,是近年来的研究热点。Rubin 等研究发现低幅高频的振动刺激后肢卸载的尾吊老鼠可以提高其骨形成率,减少骨量丢失<sup>[17]</sup>。然而目前复杂多样的振动模型,机械振动刺激的骨形成并没有被足够的认识。很多研究已经表明了随着太空停留时间的延长骨量的丢失随着增加,NASA 早期已经开展相关研究对于太空飞行下机械振动预防骨量丢失和肌肉萎缩的工作,同时 NASA 已经证实地面模拟太空生物效应大鼠尾吊模型的在地面上研究的可行性。机械振动作为一种无创、非侵入、不良反应小新型的防治骨质疏松措施,为长期飞行的航天员骨量丢失的防治提供了有利条件。

很多的研究已经表明低幅高频的振动刺激对大鼠松质骨有很好的积极作用<sup>[18,19]</sup>。最近的研究也表明振动可以用来防止骨骼脆弱人群中脊髓损伤的风险<sup>[20,21]</sup>。此外,以往的研究表明在人类和动物模型 30~60Hz(0.1~2g) 给予全身振动能防止骨量的丢失,同时也证明振动刺激可以增加骨密度,提高肌肉的力量<sup>[22]</sup>。本研究探讨变频振动与定频振动刺激尾吊大鼠失重性骨质疏松模型,证明振动刺激可以提高骨密度,并且在一定程度上变频振动要好于定频振动刺激,这与以往的研究结果是一致的。我们的研究表明变频振动在失重性骨质疏松模型骨生物力学参数上是好于 45Hz 组、90Hz 组定频振动应力刺激。此外,生物力学参数和微观结构参数是密切相关的,本研究证明振动刺激不仅提高 BMD 而且还能影响骨的生物力学性能。我们的研究支持了先前的研究,微观结构参数可以用来预测小梁骨的生物力学性能<sup>[23]</sup>。同时,微观结构也可能被用来预测模拟微重力影响的生物力学特性。

血清 Ca、P、ALP、OC 水平的测定是评估骨代谢的重要标志。但血 Ca、P 的变化受诸多因素的影响,如骨肿瘤、甲状腺疾病都可影响钙磷代谢,本研究中各组间钙磷含量无明显差别( $P > 0.05$ )。失重状态下总钙量丢失是明确的,但由于机体负反馈的存在,钙磷动员增加以维持血清钙磷的稳态,因此血清钙磷在整体评价骨质疏松方面意义有限。ALP 被认为是评判成骨细胞活性的标志酶,ALP 大部分由成骨细胞生成,在肠系膜上皮细胞、肝细胞等也能少量生成,ALP 的升高一定程度上反应成骨效应的增强。早期 Lee 等人研究就发现 ALP 与 BMD 有显著相关,ALP 可作为 BMD 变化的一个预测因子<sup>[24]</sup>。

本研究中,45Hz 组 ALP 含量显著高于 TS 组、90Hz 组、变频组( $P < 0.05$ );变频组虽然高于 TS 组、90Hz 组,但差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),提示在大鼠骨质疏松模型中,45Hz 组骨代谢活跃,在一定程度上促进了成骨细胞的增生,表现血清 ALP 含量的增加。OC 是成骨细胞特异性分泌的小分子蛋白,长期以来,OC 被认为是经典的骨形成指标,但本研究各振动治疗组与对照组之间并未见明显区别( $P > 0.05$ )。

骨微结构包含骨小梁的数目、厚度、粗细、空间排列以及骨体积的相对含量等因素,有研究发现,除骨量外,骨小梁的结构变化对骨强度起着至关重要的作用。Micro CT 空间分辨率高,有利于观察骨微结构,是评价骨质量及预测骨强度的新兴技术,其形态测量分析软件可以提供大量骨小梁空间参数,在骨质疏松研究领域得到广泛应用<sup>[25]</sup>。本研究利用 Micro CT 对尾吊条件下不同频率振动刺激后股骨远端微结构进行分析,结果表明变频组、45 Hz 组能够显著改善骨微结构,增加骨量,从而改善尾吊后造成的骨量丢失,并且变频组要好于 45 Hz 组。骨密度结果分析表明变频组和 45 Hz 组振动刺激都不能恢复到正常重力水平,提示我们长期的太空飞行过程中,需要采取运动、药物、营养等相结合的综合防治,最大程度的降低失重环境下骨量的丢失,以保护宇航员的安全。

本研究结果表明对尾吊大鼠 28 天的不同频率振动刺激使松质骨骨矿物质以及空间上的结构进行了重构,导致尾吊大鼠骨质疏松模型中骨量的增加,骨密度的提高,对失重性骨质疏松有一定的防治作用,为临床上防治微重力环境下骨丢失提供了实验依据。

#### 【参 考 文 献】

- [1] Baldwin KM. Effect of spaceflight on the functional, biochemical, and metabolic properties of skeletal muscle. *Med Sci Sports Exerc*, 1996, 28: 983-987.
- [2] Fitts RH, Riley DR, Widrick JJ. Physiology of a microgravity environment invited review: microgravity and skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 2000, 89: 823-839.
- [3] Lang T, LeBlanc A, Evans H, et al. Cortical and trabecular bone mineral loss from the spine and hip in long-duration spaceflight. *J Bone Miner Res*, 2004, 19: 1006-1012.
- [4] Keyak JH, Koyama AK, LeBlanc A, et al. Reduction in proximal femoral strength due to long-duration spaceflight. *Bone*, 2009, 44: 449-453.
- [5] Clément G. The maintenance of physiological function in humans

- during spaceflight. *Int J Sports Med*, 2005, 6:185-198.
- [ 6 ] Cavanagh PRGKO, Gopalakrishnan R, Kuklis MM, et al. Foot forces during exercise on the International Space Station. *J Biomech*, 2010, 43:3020-3027.
- [ 7 ] Trappe SCD, Gallagher P, Creer A, et al. Exercise in space: human skeletal muscle after 6 months aboard the International Space Station. *J Appl Physiol*, 2009, 106: 1159-1168.
- [ 8 ] Flieger J, Karachalios T, Khaldi L, et al. Mechanical stimulation in the form of vibration prevents postmenopausal bone loss in ovariectomized rats. *Calcif Tissue Int*, 1998, 63:510-514.
- [ 9 ] Oxlund BS, Ortoft G, Andreassen TT, et al. Low-intensity, highfrequency vibration appears to prevent the decrease in strength of the femur and tibia associated with ovariectomy of adult rats. *Bone*, 2003, 32:69-77.
- [10] Rubin C, Xu G, Judex S. The anabolic activity of bone tissue, suppressed by disuse, is normalized by brief exposure to extremely low-magnitude mechanical stimuli. *FASEB J*, 2001, 15:2225-2259.
- [11] Wenger KH, Freeman JD, Fulzele S, et al. Effect of whole-body vibration on bone properties in aging mice. *Bone*, 2010, 47: 746-755.
- [12] Christiansen BA, Silva MJ. The effect of varying magnitudes of whole-body vibration on several skeletal sites in mice. *Ann Biomed Eng*, 2006, 34:1149-56.
- [13] Judex S, Lei X, Han D, et al. Low-magnitude mechanical signals that stimulate bone formation in the ovariectomized rat are dependent on the applied frequency but not on the strainmagnitude. *J Biomech*, 2007, 40:1333-9.
- [14] Rubinacci A, Marenzana M, Cavani F, et al. Ovariectomy sensitizes rat cortical bone to whole-body vibration. *Calcif Tissue Int*, 2008, 82:316-26.
- [15] Thomsen JS, Morukov BV, Vico L, et al. Cancellous bone structure of iliac crest biopsies following 370 days of head-down bed rest. *Aviat Space Environ Med*, 2005, 76:915-22.
- [16] Verschuere SM, Roelants M, Delecluse C, et al. Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study. *J Bone Miner Res*, 2004, 19: 352-9.
- [17] Rubin C, Xu G, Judex S. The anabolic activity of bone tissue, suppressed by disuse, is normalized by brief exposure to extremely low-magnitude mechanical stimuli. *FASEB J*, 2001, 15:2225-9.
- [18] Castillo AB, Alam I, Tanaka SM, Levenda J, Li J, Warden SJ, Turner CH. Low-amplitude, broad-frequency vibration effects on cortical bone formation in mice. *Bone*, 2006, 39: 1087-1096.
- [19] Tan Ch, Ma Ch, Li Zhi KZ, et al. Study on 45 Hz whole body vibration in preventing the rats bone substances loss induced by tail suspended. *Chin J Rehabil Med*, 2009, 24:200-203.
- [20] Alizadeh-Meghrizi M, Masani K, Popovic MR, et al. Whole-body vibration during passive standing in individuals with spinal cord injury: effects of plate choice, frequency, amplitude, and subject's posture on vibration propagation. *PM&R*, 2012, 4: 963-975.
- [21] Asselin P, Spungen AM, Muir JW, et al. Transmission of low-intensity vibration through the axial skeleton of persons with spinal cord injury as a potential intervention for preservation of bone quantity and quality. *J Spinal Cord Med*, 2011, 34: 52-59.
- [22] Prisby RD, Lafage-Proust MH, Malaval L, et al. Effects of whole body vibration on the skeleton and other organ systems in man and animal models: what we know and what we need to know. *Ageing Res Rev*, 2008, 7:319-329.
- [23] Cory E, Nazarian A, Entezari V, et al. Compressive axial mechanical properties of rat bone as functions of bone volume fraction, apparent density and micro-ct based mineral density. *J Biomech*, 2010, 43:953-960.
- [24] Lee YH, Rho YH, Choi SJ, et al. Predictors of bone mineral density and osteoporosis in patients attending a rheumatology outpatient clinic. *Rheumatol Int*, 2003, 23(2):67-9.
- [25] Mulder L, Koolstra JH, de Jonge HW, et al. Architecture and mineralization of developing cortical and trabecular bone of the mandible. *Anat Embryol (Berl)*, 2006, 211(1):71-78.

(收稿日期:2016-05-28;修回日期:2016-06-29)

## 更正说明

发表于本刊2016年第10期的第一篇文章《肌肉、骨骼与骨质疏松》,中文题目应为《肌肉、骨骼与骨质疏松专家共识》。

特此说明!

《中国骨质疏松杂志》编辑部  
2016年11月10日