

益生元对饮用银化水模拟失重大鼠骨代谢与骨生物力学的影响

朱德兵 白树民 黄纪明 李志霞 洪建武

【摘要】 目的 研究饮用银化水对模拟失重大鼠骨代谢与骨生物力学的影响及益生元的调整作用。**方法** 40 只 SPF 级 SD 雄性大鼠随机分为地面对照组(GC)、模拟失重对照组(SC)、模拟失重饮用银化水组(SS)、银化水与益生元模拟失重组(SPS),实验期 21 d。EDTA 滴定法测定饲料钙表观吸收率和骨钙含量,双能 X 射线测右侧股骨密度,质构仪测右侧股骨生物力学指标。**结果** 骨代谢指标 SC 组显著低于 GC 组($P < 0.001$),SS 组也低于 SC 组($P < 0.05$),SPS 组高于 SS 组($P < 0.05$);SC 组骨结构力学和材料力学指标均显著低于 GC 组($P < 0.001$),SS 组材料力学指标低于 SC 组($P < 0.05$),SPS 组材料力学指标高于 SS 组($P < 0.05$)。**结论** 饮用 0.20 mg/L 银化水加重了模拟失重大鼠骨代谢的紊乱和骨材料力学的下降,而益生元可以缓解饮用银化水模拟失重大鼠骨代谢的紊乱和骨材料力学的下降。

【关键词】 银化水;模拟失重;表观吸收率;骨密度;骨钙含量;骨生物力学

Effects of prebiotics on bone metabolism and bone biomechanics in simulated weightless rats treated with silverionized drinking water ZHU Debing, BAI Shumin, HUANG Jiming, et al. Institute of Space Medico-Engineering, Beijing 100094, China

【Abstract】 Objective To study the effects of silverionized water on the bone metabolism and bone biomechanics in simulated weightless rats, and the effects of prebiotics on simulated weightlessness and drinking silverionized water in rats. **Methods** Forty male SD rats were randomly divided into ground control group(GC), simulated weightlessness control group(SC), simulated weightless group treated with silverionized water (SS), and simulated weightless group treated with silverionized water and prebiotics (SPS). The apparent absorption of calcium in food and the BMD, BMC, bone biomechanics of right femur were measured. **Results** The BMD, BMC and bone biomechanics of group SC were significantly lower than those of group GC, and those of group SS were lower than those of group GC, and those of group SPS were higher than those of group SS. Such were the cases with the material properties; besides, the structural propenties of group SC were also significantly lower than that of group GC. **Conclusion** Silverionized water has a negative effect on the bone metabolism and material properties in the simulated weightless rats, and prebiotics has a positive effect on those in the simulated weightless rats treated with silverionized water.

【Key words】 Silverionized water; Simulated weightlessness; Apparent absorption; BMD; BMC; Bone biomechanics

国外的研究表明,长期太空微重力条件可导致航天员的骨丢失,国内地面模拟失重实验也显示受试动物产生了骨代谢的紊乱^[1,2]。由于银离子具有良好的杀菌效力和持久的保存能力,所以是载人航天领域较为理想的一种饮水消毒剂。美俄早期载人航天使用银离子作为饮水消毒剂^[3],银离子在我国

载人航天饮水消毒中也将得到广泛的使用。有研究表明,长期饮用银化水会导致实验动物肠道微生态的失调^[4],而肠道微生态和钙的生物利用率有着密切的关系^[5,6]。因此,载人航天微重力条件下饮用银化水是否加重航天员的骨丢失及对骨生物力学的影响是一个值得研究的课题,目前国内外对此问题的报道较少。本研究主要是观察饮用银化水对模拟失重大鼠骨代谢与骨生物力学的影响,和益生元制剂

作为肠道微生态调节剂对饮用银化水模拟失重大鼠骨代谢与骨生物力学的调整作用。

材料和方法

1. 模拟失重模型的建立: 尾部悬吊大鼠, 使其后肢离地, 前肢着地可自由活动, 躯干与地面成 30° 角模拟失重。

2. 银化水和益生元制剂的制备: 电解银发生器制备含银量约为 20 mg/L 的电解银母液, 720A 型 PH/ISE 离子计(美国欧姆龙公司)标定银含量, 用纯净水稀释成 0.2 mg/L 的实验剂量, 此剂量为载人航天饮用水常用消毒剂量。在 SPF 级普通饲料基础上添加了 5% (W/W) 低聚异麦芽糖(纯度为 50% ~ 55%, 江门量子高科生物工程有限公司), 制成 SPF 级益生元制剂。

3. 实验动物分组: SPF 级 SD 雄性大鼠(由北京动物实验中心提供)40 只, 体重(120 ± 10) g, 随机平均分为 4 组: GC 组为正常对照组; SC 组为模拟失重对照组; SS 组为银化水模拟失重组; SPS 组为银化水与益生元模拟失重组。GC 组和 SC 组饮用纯净水; SS 组和 SPS 组饮用银离子含量为 0.2 mg/L 银化水; GC 组、SC 组和 SS 组进食 SPF 级普通饲料; SPS 组进食 SPF 级益生元制剂。

4. 骨代谢指标的测定: 实验的第 20 天取大鼠 24 h 粪便, 粪钙和饲料钙用 EDTA 滴定法测定, 饲料钙表观吸收率(%) = (每日钙摄入量 - 每日粪钙排出量) / 每日钙摄入量 $\times 100\%$ 。第 21 天处死大鼠, 取右侧股骨, 骨密度用双能 X 射线骨密度检测仪(美国 LUNAR 公司)测定, 骨钙含量用 EDTA 滴定法测定。

5. 骨生物力学指标的测定: 将右侧股骨置于质构仪(QTS-25 型)上进行 3 点弯曲实验, 加载速度为 15 mm/min , 跨距为 15 mm 。记录载荷-变形曲线, 从曲线上读出骨结构力学指标最大载荷和弹性载荷, 而后根据公式计算骨材料力学指标最大应力和弹性应力^[7]。

6. 统计学处理: 计算结果以均数 $\pm$ 标准差形式表示, 各组均数的比较用 EXCEL 软件 T-Test 统计函数进行统计分析, 检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

结 果

1. 各组大鼠饲料钙表观吸收率的比较: 见图 1。

由图 1 可知, 模拟失重 20 d 后, SC 组大鼠饲料钙的表观吸收率显著低于 GC 组 ($P < 0.001$), SS 组大鼠饲料钙的表观吸收率也低于 SC 组 ($P < 0.05$),

SPS 组大鼠饲料钙的表观吸收率高于 SS 组 ($P < 0.05$)。结果表明饮用银含量 0.2 mg/L 银化水加重了模拟失重大鼠饲料钙表观吸收率的下降, 而益生元具有减轻饮用银化水模拟失重大鼠饲料钙表观吸收率下降的作用。

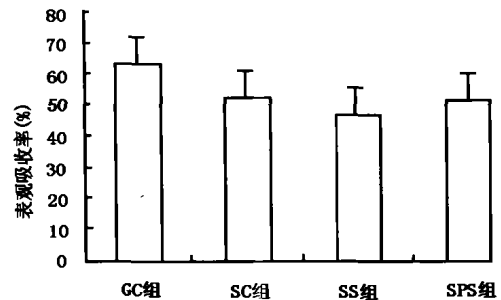


图 1 各组大鼠饲料钙表观吸收率

2. 各组大鼠骨密度测定结果: 见图 2。

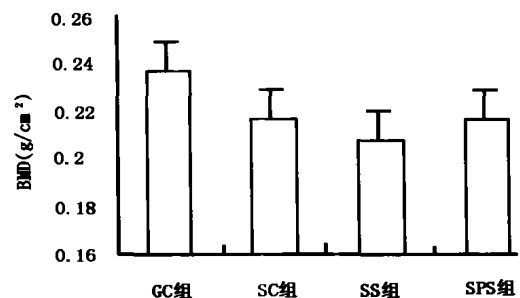


图 2 各组大鼠骨密度值

由图 2 可知, 模拟失重 21 d 后, SC 组大鼠股骨密度显著低于 GC 组 ($P < 0.001$), SS 组大鼠股骨密度也低于 SC 组 ($P < 0.05$), SPS 组大鼠股骨密度高于 SS 组 ($P < 0.05$)。结果表明饮用银含量 0.2 mg/L 银化水加重了模拟失重大鼠股骨密度的下降, 而益生元具有减轻饮用银化水模拟失重大鼠股骨密度下降的作用。

3. 各组大鼠骨钙含量的测定结果: 见图 3。

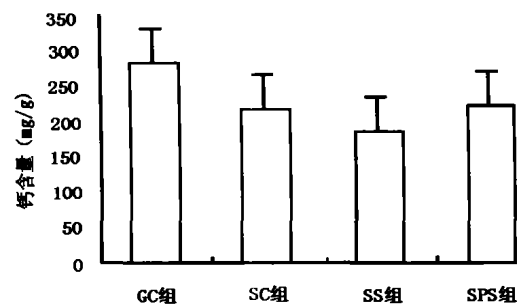


图 3 各组大鼠骨钙含量

由图 3 可知,模拟失重 21 d 后,SC 组大鼠股骨骨钙含量显著低于 GC 组 ($P < 0.001$),SS 组大鼠股骨骨钙含量也低于 SC 组 ($P < 0.05$),SPS 组大鼠股骨骨钙含量高于 SS 组 ($P < 0.05$)。结果表明饮用银

含量 0.2 mg/L 银化水加重了模拟失重大鼠股骨钙的丢失,而益生元具有减轻饮用银化水模拟失重大鼠股骨钙丢失的作用。

4. 各组大鼠骨生物力学结果:见表 1。

表 1 各组大鼠骨生物力学的比较

组别	最大载荷(g)	弹性载荷(g)	最大应力(N/mm ²)	弹性应力(N/mm ²)
GC 组	2440.8 ± 89.6	1599.0 ± 98.8	50.6 ± 1.9	32.4 ± 2.0
SC 组	1587.6 ± 51.8 [*]	1051.7 ± 76.4 [*]	34.6 ± 1.1 [*]	22.8 ± 1.6 [*]
SS 组	1581.9 ± 61.5	1026.5 ± 84.3	33.6 ± 1.4 [#]	21.4 ± 1.7 [#]
SPS 组	1592.5 ± 73.5	1046.6 ± 65.3	34.9 ± 1.9 [△]	23.3 ± 1.8 [△]

注:SC 组和 GC 组比较^{*} $P < 0.001$,SS 组和 SC 组比较[#] $P < 0.05$,SPS 组和 SS 组比较,[△] $P < 0.05$

结果表明模拟失重大鼠股骨结构力学和材料力学出现显著性下降,饮用银含量 0.2 mg/L 银化水加重了模拟失重大鼠股骨材料力学的下降,而益生元具有改善饮用银化水模拟失重大鼠股骨材料力学的作用。

讨 论

国内外的研究表明模拟失重条件下大鼠产生骨代谢的紊乱^[1,2],本研究结果与国内外的研究报告是一致的,模拟失重条件下大鼠产生骨代谢的紊乱可能与以下两个因素有关:一是模拟失重时,大鼠股骨所受的力负荷显著下降,导致骨钙丢失,这是股骨对模拟失重环境下低负荷的一种适应。二是模拟失重条件下大鼠出现了肠道微生态失调^[8],从而影响肠道对钙的吸收,导致骨钙代谢的紊乱。作用机理是:模拟失重造成肠道原籍菌群的减少,使分解低聚糖的能力下降,分解产物短链脂肪酸的产量减少使肠腔 pH 值增加,降低了钙的溶解性,因而降低了肠腔内钙的生物利用率。同时低聚糖酵解产物短链脂肪酸的减少,使肠粘膜细胞膜钙转运通道的效率下降,也降低了肠道中钙的吸收率^[5,6]。模拟失重条件下大鼠饮用银化水,由于银离子的杀菌作用加重了肠道微生态失调^[4],从而进一步影响肠道对钙的吸收,加重了模拟失重大鼠骨钙代谢的紊乱。模拟失重大鼠饮用银化水时,添加益生元制剂,益生元能够促进肠道益生菌的生长^[9],缓解了饮用银化水模拟失重大鼠的肠道微生态失调,促进了肠道对钙的吸收,缓解了饮用银化水模拟失重大鼠骨钙代谢的紊乱。

骨生物力学主要包括结构力学和材料力学。模拟失重大鼠股骨生物力学出现显著性下降,说明股骨出现显著性退行性变化,股骨抵抗外力负荷的能力降低,同时股骨材料有机相和无机相的质量降低,股骨的材料强度下降。模拟失重条件下大鼠饮用银化水,

进一步抑制肠道对钙的吸收,减少骨形成,加重了股骨材料无机相质量的下降,使模拟失重大鼠股骨材料力学进一步下降,而对股骨结构力学没有影响。模拟失重大鼠饮用银化水时,添加益生元制剂,益生元促进了肠道对钙的吸收,增加骨形成,改善了股骨材料无机相的质量和数量,从而缓解了饮用银化水模拟失重大鼠股骨材料力学的进一步下降。

结果表明饮用 0.2 mg/L 银化水加重了模拟失重大鼠骨代谢的紊乱和骨材料力学的下降,而益生元可以缓解饮用银化水模拟失重大鼠骨代谢的紊乱和骨材料力学的下降。这可能由于益生元对抗了银化水引起肠道菌群失调而致钙吸收的减少。因此应在航天食品中添加一些益生元、益生菌以及合生元制品。对于调整航天员在失重环境下饮用银化水引起的骨代谢的紊乱和骨材料力学的下降具有重要的意义。

参 考 文 献

- Connie M, Adrian L, Scott M, et al. Nutrition in spaceflight and weightlessness models: effect of microgravity on bone. *Aerosp Med*, 2001, 42: 185-187.
- 刘成林,崔伟.失重条件下的骨质疏松.见:刘忠厚,主编.骨质疏松学.北京:科学出版社,1998.662-672.
- 蔡梅亭,主编.水消毒过程的强化.上海:上海科学技术文献出版社,1981.3-5.
- 朱德兵,白树民,黄纪明,等.饮用加银水对模拟失重大鼠肠道微生态的影响.大连:全国微生态学第八届学术讨论会,2002.133.
- Remesy C, Levrat MA, Gamet L, et al. Cecal fermentations in rats fed oligosaccharides (inulin) are modulated by dietary calcium level. *American Journal Physiol*, 1993, 33:855-862.
- Lutz T, Scharrer F. The effect of SCFA on Ca absorption by the rat colon. *Experientia Physiol*, 1991, 26:615-618.
- 过邦辅,编译.临床骨科生物力学基础.上海:上海远东出版社,1993.461-462.
- 白树民,黄纪明,朱德兵,等.模拟失重大鼠肠道菌群影响的研究.中国微生态学杂志,2001,13:326-327.
- 金宗濂,王政,陈文,等.低聚异麦芽糖改善小鼠胃肠道功能的研究.食品科学,2001,21(6):52-75. (收稿日期:2002-12-10)