

四种常见纳米材料对骨代谢的影响^{*}

曲晨^{1,2} 荣海钦¹ 季虹¹ 刘伟² 侯艳丽¹ 刘思金^{2**}

(1. 山东省内分泌与代谢病研究所, 山东省医学科学院, 济南, 250062;

2. 中国科学院生态环境研究中心, 环境化学与生态毒理学国家重点实验室, 北京, 100085)

摘要 探讨4种常见纳米材料(单壁碳纳米管,多壁碳纳米管,纳米银,量子点)对小鼠骨代谢的影响. 选取8周龄健康昆明小鼠给予不同剂量的上述4种纳米材料,各纳米材料分别设高、中、低剂量组,溶剂对照、离子对照组,以及阳性对照组,每周3次进行腹腔注射. 用药6周后检测骨破坏情况、骨生物力学改变以及血清中钙的含量. 结果显示,4种纳米材料与其相应溶剂对照组相比,多壁碳纳米管溶骨发生率显著增高,高、中剂量组骨灰干重比及3个剂量组生物力学指标有显著性差异,高剂量组血清钙显著升高;单壁碳纳米管溶骨发生率上升,高、中剂量组骨灰干重比及生物力学指标降低,各组血清钙水平无显著性差异;量子点各剂量组溶骨发生率无差异,高、中剂量组骨灰干重比、最大载荷、弹性载荷降低,血清钙水平无显著性差异;纳米银各剂量组溶骨发生率未增加,骨灰干重比、生物力学各指标及血清钙水平无统计学差异. 多壁碳纳米管长期暴露可引起小鼠溶骨性破坏、骨量下降、骨强度减低;单壁碳纳米管与量子点对骨代谢的影响不显著,纳米银不会引起骨代谢改变.

关键词 纳米材料, 骨代谢, 生物力学.

纳米材料是指三维结构中至少有一维在1—100 nm范围内的材料,具有尺寸极小、表面积大、表面活性位点多且活性高、催化效率高,以及吸附能力强等优点,一经问世便引起各国不同领域学者的极大关注,并被誉为“21世纪最有前途的材料”^[1]. 然而,在纳米材料遍布众多领域的同时,其对人体的潜在危害也逐渐暴露. 目前已经有体内实验证实,碳纳米管可对呼吸^[2]、消化^[3]等多个系统产生毒性,量子点可引起体内组织破坏,造成肝脏、肾脏的严重损伤^[4],纳米银长期大剂量暴露也对肾脏、肝脏、肺脏产生危害^[5]. 然而,鲜见有研究探讨这些纳米材料对内分泌代谢的影响.

本文旨在筛查4种常见纳米材料(单壁碳纳米管,多壁碳纳米管,量子点,纳米银)慢性暴露对小鼠骨代谢的影响.

1 实验部分

1.1 实验对象

采用8周龄昆明小鼠160只,雌雄各半,清洁级,体重(34.3 ± 4.73) g,由北京大学医学部实验动物中心提供并饲养. 小鼠适应性喂养1周后,根据体重随机分组,分别给予单壁碳纳米管(SWNTs)高、中、低剂量,浓度分别为 $100 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $50 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $25 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、溶剂对照为0.1% Tween80溶液,多壁碳纳米管(MWNTs)高、中、低剂量,浓度分别为 $250 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $125 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $62.5 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$,溶剂对照同为0.1% Tween80溶液,量子点(QDs)高、中、低剂量,浓度分别为 $20 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $10 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $5 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$,溶剂对照为 $50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸盐缓冲液(BBS),离子对照为 $20 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ CdCl_2 溶液,纳米银(nAg)高、中、低剂量,浓度分别为 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $10 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,溶剂对照为0.02% 柠檬酸钠(CBS),离子对照为 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ AgNO_3 溶液,以及阳性对照脂多糖(LPS)组($10 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 溶于 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ PBS中). 腹腔注射6周,每周3次,每次0.2 mL.

药品与试剂:单壁碳纳米管(SWNTs)和多壁碳纳米管(MWNTs)购自中国科学院成都有机化学有限

2011年2月16日收稿.

^{*} 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-404); 国家自然科学基金(21077128, 20921063)资助.

^{**} 通讯联系人, E-mail: sjliu@rcees.ac.cn

公司,量子点(QDs)购自武汉珈源量子点技术开发有限公司,纳米银(nAg)购自上海沪正纳米科技有限公司,脂多糖(LPS)购自 Sigma 公司. 主要仪器:PerkinElmer 公司 OPTIMA 2000 型电感耦合等离子体光谱仪(ICP-OES),日立公司 ZHF-AD-155H2 型医用 X 线高压装置,CEM 公司 MARS 微波消解仪,AG-1S 日本岛津万能材料试验仪,SX2-4-10 型箱式电阻炉(天津中环实验电炉有限公司)等.

1.2 实验方法

小鼠溶骨现象判定:小鼠处死后行全身 X 线扫描(40 kV,10 mA,10 mAs),定性分析各组小鼠胫骨近端有无溶骨发生.

骨生物力学性能测定:取右侧股骨,剔除所附着的肌肉及结缔组织,用 PBS 纱布包裹保湿于 -80 ℃ 保存. 测量前从冰箱取出,放入 PBS 液体中,室温 20 ℃ 浸泡复湿 3—4 h. 将解冻的股骨置于岛津万能材料试验仪进行三点弯曲实验,位移测量精度 0.001 mm,加载速度为 2 mm·min⁻¹,跨度为 8 mm. 记录载荷-变形曲线,折断时测量股骨内外径,从曲线上读取最大载荷、最大挠度,并计算弹性载荷和最大弯曲应力.

骨灰干重比测定:三点弯曲实验折断的股骨,用生理盐水冲去骨髓,置于箱式恒温干燥箱 80 ℃ 干烤 2 h,称重为骨干重,再将股骨置于箱式电阻炉 600 ℃ 灰化 6 h,测定骨灰重,计算灰干重比,反映骨矿含量.

血清钙的测定:小鼠干冰全身麻醉,去除心前区皮毛,从小鼠胸骨左缘第四肋间进针,用 2 mL 注射器行心脏采血,约 1.5 mL;分离血清,按 3:2 比例加入浓硝酸与过氧化氢,共 3 mL,入微波消解仪进行消解. 120 ℃ 消解 5 min,160 ℃ 消解 5 min,180 ℃ 消解 20 min. ICP-OES 测定血清钙含量.

1.3 统计学处理

采用 SPSS 17.0 统计软件处理实验数据,所有结果以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,溶骨发生率采用卡方检验,其余数据采用单因素方差分析,两两比较采用 LSD 检验, $P < 0.05$ 表示差异有显著性.

2 结果与讨论

2.1 小鼠胫骨溶骨发生率

图 1 为小鼠胫骨 X 线扫描结果,左图为 0.1 % Tween80 组小鼠,箭头示小鼠胫骨近端骨皮质完整,骨密度正常;右图为 MWNTs 高剂量组小鼠,箭头示小鼠胫骨近端骨密度减低,骨皮质边缘不清,存在溶骨.

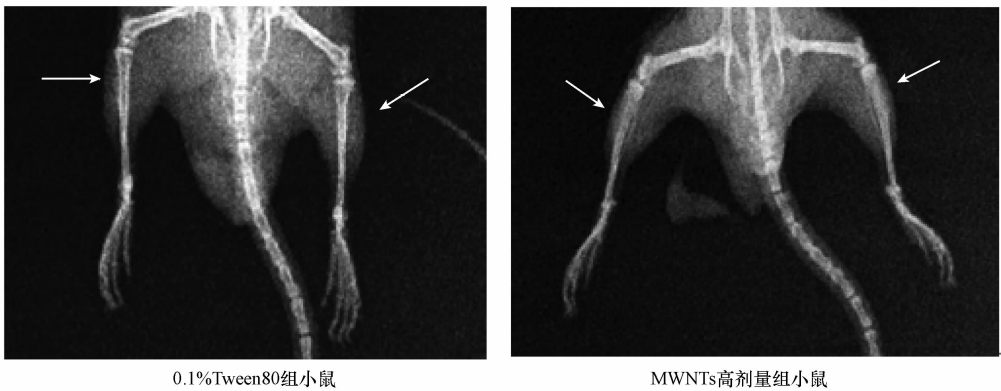


图 1 小鼠胫骨 X 线扫描结果
Fig.1 X-ray of tibia

从表 1 中看出,单壁碳纳米管 3 组小鼠仅有个别胫骨发生溶骨,且均低于阳性对照组;多壁碳纳米管 3 组小鼠溶骨比率较高,且均高于阳性对照组,高、中、低剂量的溶骨率分别为 55 %、53 % 及 50 %;量子点各组小鼠也存在一定程度的溶骨,高、中、低剂量的溶骨率分别为 21 %、18 % 及 20 %,但溶剂对照组(50 mmol·L⁻¹ BBS)的两只小鼠也出现单侧胫骨发生溶骨;纳米银的高剂量、低剂量组小鼠未出现

溶骨,仅中剂量组个别胫骨边缘模糊不清,而其溶剂对照组(0.02 % CBS)也出现胫骨溶骨.

表 1 胫骨的溶骨发生率
Table 1 Osteolysis incidence of tibia

	高剂量	中剂量	低剂量	溶剂对照	离子对照
SWNTs	0.05 *	0.06 *	0.13 **	0	
MWNTs	0.55 **	0.53 **	0.50 **	0	
QDs	0.21	0.18	0.20	0.13	0
nAg	0 *	0.13	0 *	0.13	0
LPS	0.375				

注:与相应溶剂对照组相比,* : $P<0.05$,* * : $P<0.01$,下同.

2.2 小鼠股骨骨灰干重比

骨灰干重比是反映骨矿含量的重要指标,在一定范围内,比值越低,骨无机质含量越低.表 2 显示,单壁碳纳米管、多壁碳纳米管、量子点各组小鼠骨灰干重比均低于其相应的溶剂对照组,并呈现剂量依赖性,3 种纳米材料的高剂量组均显著低于其相应的溶剂对照组($P<0.01$),中剂量组下降也均有统计学意义($P<0.05$);然而纳米银各剂量组小鼠骨灰干重比与其溶剂对照组相比差异无统计学意义.

表 2 各组小鼠骨灰干重比($\bar{x}\pm s$)
Table 2 The results of bone ash ratio($\bar{x}\pm s$)

	高剂量	中剂量	低剂量	溶剂对照	离子对照
SWNTs	0.58 ± 0.03 **	0.59 ± 0.03 *	0.61 ± 0.02	0.62 ± 0.02	
MWNTs	0.58 ± 0.04 **	0.57 ± 0.04 *	0.60 ± 0.02	0.62 ± 0.02	
QDs	0.59 ± 0.05 **	0.60 ± 0.03 *	0.62 ± 0.02	0.65 ± 0.05	0.64 ± 0.02
nAg	0.64 ± 0.03	0.65 ± 0.04	0.65 ± 0.03	0.66 ± 0.03	0.65 ± 0.02
LPS	0.61 ± 0.01				

2.3 小鼠骨生物力学测定

SWNTs 组小鼠骨生物力学测定见表 3.从表 3 中可以看出,与溶剂对照组相比,高剂量组($100\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)股骨的最大载荷((21.21 ± 2.04) N)、弹性载荷((17.21 ± 2.12) N)、弹性模量((5.64 ± 0.83) Gpa)、最大弯曲应力((135.87 ± 29.75) Mpa)均低于溶剂对照组,且均有统计学意义,中剂量组的弹性载荷((17.61 ± 1.21) N)较溶剂对照组相比也有显著性降低,而低剂量组仅有降低趋势,无统计学差异.

文献显示,单壁碳纳米管可引起机体释放炎症因子,但因其管壁为单层碳环结构,故单壁碳纳米管引起的炎症因子释放不如多壁碳纳米管强烈^[6],故骨生物力学改变不显著.

表 3 单壁碳纳米管各组小鼠股骨三点弯曲试验的变化($\bar{x}\pm s$)
Table 3 The results of three-point bending test in SWNTs($\bar{x}\pm s$)

SWNTs/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	小鼠数量/只	最大载荷/N	弹性载荷/N	弹性模量/Gpa	最大弯曲应力/Mpa
100	10	21.21 ± 2.04 **	17.21 ± 2.12 **	5.64 ± 0.83 *	135.87 ± 29.75 *
50	8	21.94 ± 0.62	17.61 ± 1.21 *	5.87 ± 0.91	142.31 ± 18.08
25	7	22.20 ± 0.74	18.40 ± 0.94	5.99 ± 0.97	146.04 ± 23.49
0.1% Tween80	8	23.20 ± 2.43	19.09 ± 2.07	6.49 ± 0.73	151.52 ± 23.20
LPS	7	21.90 ± 2.29	17.94 ± 1.11	5.91 ± 0.70	131.92 ± 11.90

与相应溶剂对照组相比,* : $P<0.05$,* * : $P<0.01$

MWNTs 组小鼠骨生物力学测定见表 4.从表 4 中可以看出,与溶剂对照组相比,各剂量组股骨的最大载荷(高、中、低剂量结果分别为(20.11 ± 1.18) N、(21.14 ± 1.72) N 以及(21.27 ± 1.13) N)、弹性载荷(高、中、低剂量结果分别为(16.18 ± 1.21) N、(17.01 ± 1.52) N 以及(17.58 ± 1.22) N)、弹性模量(高、中剂量结果分别为(5.39 ± 0.64) Gpa 和(5.67 ± 0.51) Gpa)、最大弯曲应力(高、中、低剂量结果分别为(122.59 ± 11.23) Mpa、(128.93 ± 12.49) Mpa 以及(129.67 ± 11.56) Mpa)均低于溶剂对照组,

并呈现剂量依赖性,除低剂量组弹性模量(结果为 (5.99 ± 0.84) Gpa)外,各组生物力学指标与对照相比均有统计学差异.

已有实验证明腹腔注射多壁碳纳米管可以引起血液肿瘤坏死因子- α (TNF- α),白介素- 1β (IL- 1β),白介素-6 (IL-6)水平升高^[7]. 细胞因子增加可诱发破骨细胞活性增加,破骨大于成骨作用,从而引起溶骨性破坏,骨量下降,骨强度降低.

表 4 多壁碳纳米管各组小鼠股骨三点弯曲试验的变化($\bar{x} \pm s$)

Table 4 The results of three-point bending test in MWNTs($\bar{x} \pm s$)

MWNTs/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	小鼠数量/只	最大载荷/N	弹性载荷/N	弹性模量/Gpa	最大弯曲应力/Mpa
250	10	$20.11 \pm 1.18^{**}$	$16.18 \pm 1.21^{**}$	$5.39 \pm 0.64^{**}$	$122.59 \pm 11.23^{**}$
125	7	$21.14 \pm 1.72^{**}$	$17.01 \pm 1.52^{**}$	$5.67 \pm 0.51^{*}$	$128.93 \pm 12.49^{**}$
62.5	8	$21.27 \pm 1.13^{**}$	$17.58 \pm 1.22^{*}$	5.99 ± 0.84	$129.67 \pm 11.56^{**}$
0.1% Tween80	8	23.20 ± 2.43	19.09 ± 2.07	6.49 ± 0.73	151.52 ± 23.20
LPS	7	21.90 ± 2.29	17.94 ± 1.11	5.91 ± 0.70	131.92 ± 11.90

QDs 组小鼠骨生物力学测定见表 5. 从表 5 中可以看出,与溶剂对照组相比,高剂量组($20\text{ nmol}\cdot\text{L}^{-1}$)小鼠股骨的最大载荷($21.49 \pm 1.65\text{ N}$)及弹性载荷($16.66 \pm 1.06\text{ N}$)均有显著性降低($P < 0.01$);中剂量组($10\text{ nmol}\cdot\text{L}^{-1}$)最大载荷($21.37 \pm 1.56\text{ N}$)及弹性载荷(结果为 $17.31 \pm 1.43\text{ N}$)也有相同的结果($P < 0.01$);然而低剂量组($5\text{ nmol}\cdot\text{L}^{-1}$)的弹性模量、最大弯曲应力未有相关发现.

有体外实验显示,量子点可被 CD4 + 淋巴细胞及腹腔内 F4//80 + 巨噬细胞吞噬^[8],但并未引起炎症反应,主要细胞因子 TNF- α 、IL- 1β 及 IL-6 水平与对照组无统计学差异. 本实验结果认为,量子点长期暴露下,溶骨率及血清钙水平未发生改变,而其骨灰干重比与三点弯曲试验有显著性降低,其对骨代谢的影响仍需进一步探讨.

表 5 量子点各组小鼠股骨三点弯曲试验的变化($\bar{x} \pm s$)

Table 5 The results of three-point bending test in QDs($\bar{x} \pm s$)

QDs/($\text{nmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	小鼠数量/只	最大载荷/N	弹性载荷/N	弹性模量/Gpa	最大弯曲应力/Mpa
20	7	$21.49 \pm 1.65^{**}$	$16.66 \pm 1.06^{**}$	5.84 ± 0.70	134.93 ± 13.16
10	8	$21.37 \pm 1.56^{**}$	$17.31 \pm 1.43^{**}$	6.02 ± 0.67	135.70 ± 13.32
5	9	23.66 ± 1.22	19.62 ± 0.88	6.43 ± 0.70	149.29 ± 9.49
$50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ BBS	8	23.53 ± 1.45	19.58 ± 1.06	6.53 ± 0.72	146.81 ± 7.95
$20\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ CdCl ₂	7	24.34 ± 1.08	19.99 ± 1.39	6.52 ± 0.76	152.70 ± 10.16
LPS	7	21.90 ± 2.29	17.94 ± 1.11	5.91 ± 0.70	131.92 ± 11.90

nAg 组小鼠骨生物力学测定见表 6. 如表 6 所示,纳米银各组小鼠的股骨生物力学指标与相应溶剂对照组相比,无明显差异. 纳米银作为抗菌剂应用广泛^[5],主要机制为抑制植物凝集素诱导增生、并抑制细胞因子生成. 因此,在纳米银暴露下,由于缺少细胞因子刺激,破骨细胞不会被异常激活而诱发溶骨性破坏.

表 6 纳米银各组小鼠股骨三点弯曲试验的变化($\bar{x} \pm s$)

Table 6 The results of three-point bending test in nAg($\bar{x} \pm s$)

nAg/($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	小鼠数量/只	最大载荷/N	弹性载荷/N	弹性模量/Gpa	最大弯曲应力/Mpa
20	7	25.36 ± 0.82	21.36 ± 0.92	6.39 ± 0.70	152.08 ± 6.58
10	7	25.76 ± 1.09	21.83 ± 0.97	6.42 ± 0.83	159.66 ± 12.77
5	6	26.44 ± 0.85	22.51 ± 1.14	6.34 ± 0.99	162.58 ± 14.54
0.02% 柠檬酸钠	7	25.76 ± 0.72	22.54 ± 1.14	6.51 ± 0.98	161.74 ± 12.89
$20\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ AgNO ₃	6	25.39 ± 0.53	20.93 ± 1.05	6.64 ± 0.74	156.82 ± 12.10
LPS	7	21.90 ± 2.29	17.94 ± 1.11	5.91 ± 0.70	131.92 ± 11.90

2.4 血清钙含量测定

各组小鼠血清钙水平见表 7. 从表 7 中可以看出,单壁碳纳米管各组与溶剂对照组相比较,血清钙水平随剂量的增加成增高趋势,但无统计学差异($P > 0.05$);多壁碳纳米管各组与溶剂对照组相比较,血清钙水平随剂量的增加而增加,且高剂量组($250\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)血清钙的水平($2.72\pm0.36\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)显著高于溶剂对照组($P < 0.05$);量子点各组小鼠血清钙水平略高于其溶剂对照与离子对照,但未呈现明显趋势,且无统计学意义($P > 0.05$);纳米银各组小鼠与其溶剂对照或离子对照组血清钙水平基本持平,差异无统计学意义($P > 0.05$).

表 7 各组小鼠血清钙水平($\bar{x}\pm s$)($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)

Table 7 The results of serum calcium levels

	高剂量	中剂量	低剂量	溶剂对照	离子对照
SWNTs	2.43 ± 0.32	2.42 ± 0.36	2.38 ± 0.23	2.36 ± 0.29	
MWNTs	$2.72\pm0.36^*$	2.63 ± 0.39	2.60 ± 0.21	2.36 ± 0.29	
QDs	2.47 ± 0.26	2.44 ± 0.09	2.45 ± 0.19	2.39 ± 0.28	2.32 ± 0.06
nAg	2.34 ± 0.24	2.36 ± 0.25	2.38 ± 0.35	2.36 ± 0.12	2.32 ± 0.17
LPS	2.50 ± 0.30				

3 结论

健康成年小鼠在长期多壁碳纳米管暴露下骨吸收增加,各剂量组的小鼠半数以上均出现不同程度的溶骨,骨灰干重比及骨生物力学指标均显著性降低,说明其骨矿含量及骨质量都已呈现明显改变;高剂量组小鼠血清钙水平显著升高,提示骨吸收增加.

单壁碳纳米管在一定程度上引起小鼠骨代谢紊乱,无机质比例降低,骨质量下降,但其程度不及多壁碳纳米管,且血清钙水平无明显改变.

量子点长期暴露下,溶骨率及血清钙水平未发生改变,而其骨灰干重比与三点弯曲试验结果有显著性降低,小鼠骨代谢水平发生一定程度的改变.

纳米银各组小鼠骨灰干重比、骨生物力学检查、血清钙水平与溶剂对照组相比均无统计学差异,仅有个别胫骨出现溶骨现象.

参 考 文 献

[1] 唐学红,肖先举. 纳米银的制备研究进展 [J]. 贵州化工, 2009, 12: 21-23

[2] Chou C C, Hsiao H Y, Hong Q S, et al. Single-walled carbon nanotubes can induce pulmonary injury in mouse model [J]. Nano Lett, 2008, 8: 437-445

[3] Ji Z, Zhang D, Li L, et al. The hepatotoxicity of multi-walled carbon nanotubes in mice [J]. Nanotechnology, 2009, 20: 445101

[4] 季雷华,高素莲,张斌. 量子点的合成、毒理学及其应用[J]. 环境化学, 2008, 27(5): 679-683

[5] 曲晨,刘伟,荣海钦,等. 纳米银的生物学特性及其潜在毒性的研究进展[J]. 环境与健康杂志, 2010, 9: 842-845

[6] Nygaard U C, Hansen J S, Samuelsen M, et al. Single-walled and multi-walled carbon nanotubes promote allergic immune responses in mice [J]. Toxicol Sci, 2009, 109: 113-123

[7] Poland C A, Duffin R, Kinloch I, et al. Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study [J]. Nat Nanotechnol, 2008, 3: 423-428

[8] Hoshino A, Hanada S, Manabe N, et al. Immune response induced by fluorescent nanocrystal quantum dots *in vitro* and *in vivo* [J]. IEEE Trans Nanobioscience, 2009, 8: 51-57

EFFECTS OF SINGLE-WALLED CARBON NANOTUBES,
MULTIWALLED CARBON NANOTUBES, QUANTUM DOTS
AND SILVER NANOPARTICLES ON BONE METABOLISM

QU Chen^{1, 2} RONG Haiqin¹ JI Hong¹ LIU Wei² HOU Yanli¹ LIU Sijin²

(1. Shandong Endocrine and Diabetes Institute, Shandong Academy of Medical Sciences, Jinan, 250062, China;
2. State Key Laboratory of Environmental Chemistry and Ecotoxicology, Research Center for Eco-Environmental Sciences,
Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100085, China)

ABSTRACT

To observe the effects of four kinds of common nanoparticles (single-walled carbon nanotubes(SWNTs) , multiwalled carbon nanotubes (MWNTs) , quantum dots (QDs) and silver nanoparticles (nAg) on bone metabolism in mice. 8-week-old Kunming mice were treated for 6 weeks with the nanoparticles at 3 doses or vehicle by peritoneal injection three times per week. The whole body X-ray, biomechanical parameters and serum Ca levels were measured to evaluate bone metabolism of the mice. Compared to their vehicle controls, osteolysis incidence of tibia was significantly increased in MWNTs, and there is clear differences between MWNTs and vehicle control in the bone ash ratio and the bone biomechanical properties, besides serum Ca levels was increased in high dose; osteolysis incidence was significantly increased in SWNTs, and bone ash ratio and the bone biomechanical properties were significantly decreased in high dose and middle dose, while there was no significantly differences in serum Ca levels; there wasn't clear differences in osteolysis incidence and serum Ca levels between QDs and vehicle control, however, statistical significances were found in bone ash ratio, maximum load and elastic load of high dose and middle dose; nonsignificant results was found in different doses of nAg. Chronic exposure to multiwalled carbon nanotubes can promote osteolysis, reduce bone mineral density and change the bone biomechanical properties; single-walled carbon nanotubes and quantum dots probably influence the bone metabolism; silver nanoparticles don't influence the bone metabolism.

Keywords;nanoparticles, bone metabolism, biomechanics.