

铅染毒大鼠骨中元素微区分布及相关性研究*

李晓林^{1,1)} 岳伟生¹ 刘江峰¹ 万天敏¹ 李燕¹ 张桂林¹

颜崇淮² 张忠德² 黄宇营³ 何伟³

1 (中国科学院上海应用物理研究所 上海 201800)

2 (上海第二医科大学附属新华医院 上海 200092)

3 (中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

摘要 北京同步辐射装置上的同步辐射 X 射线探针被用于测定铅染毒大鼠骨中铅和其它元素微区分布, 结果发现: 铅主要分布在密质骨内、外边缘, 而锌主要分布在密质骨和密质骨边缘. 同时, 钙、磷、锶和铁分布也同时获得.

关键词 钙 铅 同步辐射 X 射线探针

1 引言

铅是一种毒性重金属元素, 对人体健康产生多方面不利影响. 铅通过肠道和呼吸道被吸收入人体后, 随血液分布到全身各器官和组织. 体内铅的分布可分为两部分, 交换池和储存池. 交换池是指存在于血液和软组织中的铅, 这部分铅绝大多数在 25 天至 35 天转移到骨组织中. 骨骼为铅在体内的储存池, 容纳体内总铅量的 95% 以上^[1]. 骨铅又是一种内源性铅的污染源, 铅对机体长期毒性作用的前提是在体内的蓄积, 并可能导致体内多种微量元素的重新分布^[2]. 因此, 研究铅染毒骨中元素分布及相关性, 对于铅的毒理有重要意义.

2 实验方法

体重 200g 左右的 SD 雌性大鼠, 自由进食喂以 0.5% 醋酸铅饮用水, 5 周后, 用乙醚麻醉处死. 剥离大鼠后肢股骨, 剔去附着在骨骼上的肌肉, 放入 4% 戊二醛溶液固定. 石蜡包埋, 切片. 切片厚度 55 μm , 直接将切片放在 2 μm 厚的迈拉膜上, 供同步辐射 X 射线探针测量用.

同步辐射 X 射线探针测量在北京同步辐射装置 BSRF(Beijing Synchrotron Radiation Facility)的 X

射线荧光分析实验站上进行, 该站位于 4W1B 光束线, 在 BSRF 专用模式下, 存储环电子能量 $E = 2.2\text{GeV}$, 电流为 60—110mA. 从存储环出来的同步辐射光束经过四刀狭缝到达样品上, 通过改变四刀狭缝的大小来调整样品上光斑大小. 本次实验所用的激发光源为白光, 能量范围是 3.5—30keV. 经四刀狭缝限束以后的光束在样品上形成的光斑大小是 $30 \times 30\mu\text{m}^2$. 图 1 示出了实验装置. 三维样品台通过计算机控制, 样品台的可移动范围是 $45\text{mm} \times 45\text{mm} \times 45\text{mm}$, 步进电机的最小精度是 $0.25\mu\text{m}$. 体视显微望远镜及电视观测系统, 用于精确对准待测样品, 并可在棚屋外观察样品. 光束与样品成 45° 入射角. Si(Li) 探测器安放在靶样前方与束流方向成 90° 角处, 用于探测样品的特征 X 射线. Si(Li) 探测器对 5.9keV X 射线的能量分辨率是 133eV(1000cps), 主要用来测量 Na-U 的各种元素.

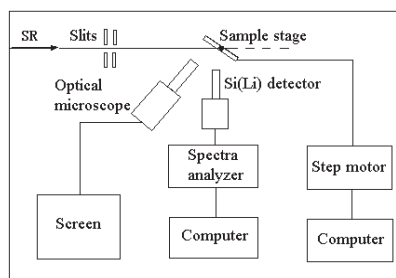


图 1 BSRF 荧光分析装置示意图

* 国家自然科学基金重大项目(10490182), 中国科学院知识创新工程项目(KJXC2-SW-N02)和 BSRF 重点课题资助
1) E-mail: lixl@sinap.ac.cn

骨切片样品放置在三维样品台上, 测量在空气中进行, 探测器与样品之间的距离是 1.5cm.

计算机控制三维样品台, 对骨切片样品从左边缘到右边缘逐点扫描测量, 扫描经过切片中心点, 扫描步长 100 μm , 共 88 个扫描点, 扫描总长度 8.8mm. 每个扫描点的测量时间为 200s. 图 2 给出一个典型的同步辐射微束 X 射线激发骨切片样品的 X 荧光光谱. 对采集的 X 荧光光谱用 AXIL 软件解谱. 由于测量中储存环电子流强的变化, 采用电离室监测流强, 用电离室计数对 X 荧光光谱数据归一. 归一后的 X 荧光光谱数据用 Excel 软件作图和统计分析.

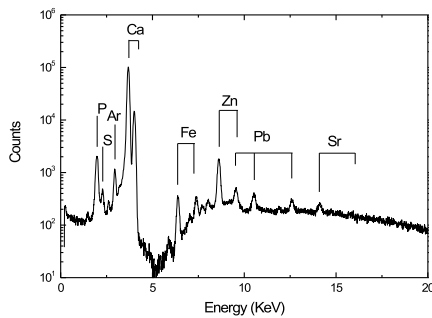


图 2 同步辐射微束 X 射线激发骨切片样品的 X 荧光能谱

3 结果与讨论

图 3 给出了铅染毒大鼠股骨切片元素分布及相关性. Ca 和 P 之间存在着极强的正相关性(图 3(a)), 其相关系数达 0.99. 这是因为 Ca 和 P 是构成骨骼主要成分之一, 骨中的羟基磷灰石结晶 (hydroxyapatite

crystal, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) 主要由钙、磷酸根和羟基结合而成. 由图 3(a) 还可见, Ca 和 P 在股骨切片中的分布是十分不均的, 研究表明, 占体内钙总量 99% 的骨钙主要分布在密质骨部位^[3]. 因此, Ca 和 P 主要集中在密质骨(compact bone)部位, 即骨单位和环骨板部位. 在 Ca 和 P 的分布图中(图 3(a)), Ca 和 P 峰对应的部位就是密质骨部位.

图 3(b) 显示 Ca 和 Sr 之间存在着极强的正相关性, 其相关系数达 0.94. 骨骼内 Ca 和 Sr 元素关系密切, 在骨的磷灰石结晶中, Sr 的稳定和活化形式都快速地与 Ca 进行离子交换, 使得骨骼中的 Sr 浓度随 Ca 浓度升高而升高, 表现出 Ca 和 Sr 的极强正相关性. 因此, Sr 的分布也主要集中在密质骨部位.

Ca 和 Pb 的分布显示弱的相关性, 其相关系数为 0.37(图 3(c)). 铅的分布与钙的分布不一致, 铅峰主要位于钙峰旁边, 紧邻钙峰左右(图 3(c)). 这表明铅在骨骼中的储存位点与钙不同. 钙主要储存在密质骨. 根据铅、钙分布曲线的特征, 可以判断铅主要分布在密质骨的内、外边缘. Zoeger 等人研究显示^[4], 骨铅的储存位点在密质骨的外边缘, 这与我们的研究是一致的. 不过, 我们的研究进一步表明, 密质骨的内缘也可能是骨铅的储存位点.

Zn 和 Ca(图 3(d)) 与 Zn 和 Pb(图 3(e)) 的分布显示了明显的相关性, 其相关系数分别为 0.86 和 0.63. 从 Zn 和 Ca(图 3(d)) 与 Zn 和 Pb(图 3(e)) 的分布图可以看出, Zn 的分布较宽, 其峰包含 Ca 峰和 Pb 峰. 这表明锌在骨骼中的储存位点与钙、铅相同, 主要集中在密质骨部位和密质骨边缘.

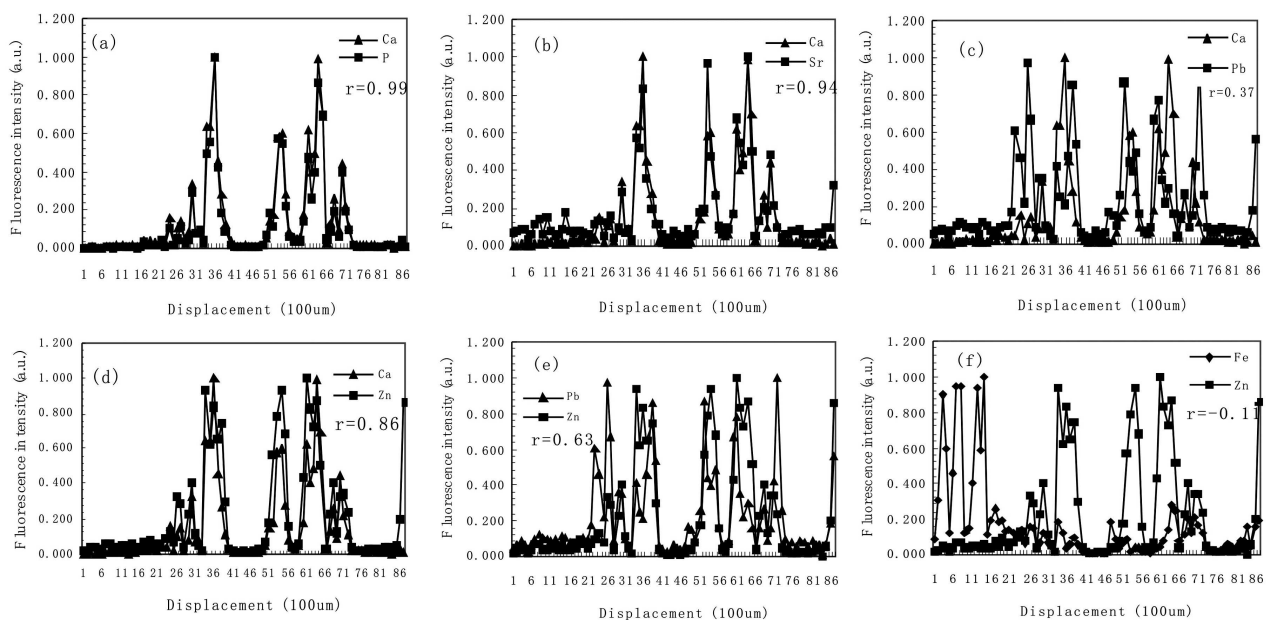


图 3 铅染毒大鼠股骨切片元素分布及相关性

4 结论

同步辐射 X 射线探针具有高灵敏度、低本底且对

样品低损伤等特点, 特别适合于生物医学样品的微区分布扫描分析. 本次工作表明, 铅主要分布在密质骨内、外边缘, 而锌在骨骼中的储存位点与钙、铅相同, 主要集中在密质骨部位和密质骨边缘.

参考文献(References)

- 1 SUN Yong-Hu, GU Gui-Xiong, HONG Qing-Cheng. Medical Recapitulate, 2004, **10**(8): 502—505 (in Chinese)
(孙永虎, 古桂雄, 洪庆成. 医学综述, 2004, **10**(8): 502—505)
- 2 Bert J L, Van Dusen L J, Grace J R. Environ Res., 1989, **48**: 117—127
- 3 ZHANG Yuan-Xun, CHENG Feng, LI De-Yi et al. Chinese Science Bulletin, 2001, **46**(1): 35—39 (in Chinese)
(张元勋, 程峰, 李德义等. 科学通报, 2001, **46**(1): 35—39)
- 4 Zoger N, Wobrauschek P, Streltsov et al. X-Ray Spectrometry, 2005, **34**: 140—143

Study of Distribution and Correlation of Elements in Bone of the Rat Exposed to Lead by Synchrotron μ -XRF*

LI Xiao-Lin^{1;1)} YUE Wei-Sheng¹ LIU Jiang-Feng¹ WAN Tian-Min¹ LI Yan¹
ZHANG Gui-Lin¹ YAN Chong-Huai² ZHANG Zhong-De² HUANG Yu-Ying³ HE Wei³

1 (Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

2 (Xinhua Hospital Affiliated to Shanghai Second Medical University, Shanghai 200092, China)

3 (Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Synchrotron radiation-induced micro X-ray fluorescence analysis (μ -XRF) at BSRF(Beijing Synchrotron Radiation Facility) was used to determine the distribution of Pb and other elements in slices of bone of rat exposed to Pb. It was found that Pb was mostly located at the border of the compact bone and that Zn was mostly located at compact bone and the border of the compact bone. Additionally, Ca, P, Sr and Fe distributions were simultaneously recorded.

Key words Ca, Pb, Synchrotron radiation-induced micro X-ray fluorescence analysis

*Supported by Key Project of NSFC (10490182), Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (KJ CX2-SW-N01) and BSRF Project

1) E-mail: lixl@sinap.ac.cn