

Experimental researches of in-line X-ray phase contrast imaging

JIANG Shi-ping^{1*}, CHEN Yang¹, LI Mei-fang¹, CHEN Liang¹, XIONG Zhuang², YU Yong-qiang²

(1. National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science and Technology of China, Hefei 230029, China;

2. Department of Radiology, the Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022, China)

[Abstract] **Objective** To develop in-line X-ray phase contrast imaging technique using point-like source. **Methods** In-line phase contrast imaging experiments of biological samples were made on the beamline 4W1A at BSRF. The experiments employed white beam X-rays and 14 keV monochromatic X-ray, respectively. **Results** Images of phase contrast have better contrast and higher resolution than ones of absorption contrast do. **Conclusion** The X-ray images of the objects of weak absorption have better contrast and higher resolution using phase contrast imaging technique. In-line phase contrast imaging technique using point-like X-rays sources is comparatively easily applied to clinic.

[Key words] X-ray imaging; Phase contrast; Synchrotron radiation

同轴 X 射线位相衬度成像实验研究

蒋诗平^{1*}, 陈 阳¹, 李妹芳¹, 陈 亮¹, 熊 壮², 余永强²

(1. 中国科学技术大学国家同步辐射实验室, 安徽 合肥 230029;

2. 安徽医科大学附属医院放射科, 安徽 合肥 230022)

[摘 要] **目的** 研究利用类点光源的同轴 X 射线位相衬度成像技术。**方法** 在北京同步光源 4W1A 光束线上, 分别利用白光束 X 射线和 14 keV 单色 X 射线, 采用同轴方式开展生物样品的位相衬度成像实验。**结果** 位相衬度图像比吸收衬度的图像分辨率更高、衬度更好。**结论** 对于 X 射线吸收很弱的样品, 位相衬度成像能够得到更好衬度和更高分辨率的图像。利用类点源 X 射线同轴相位衬度成像技术相对比较容易地被用于临床。

[关键词] X 射线成像; 位相衬度; 同步辐射

[中图分类号] R814 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2007)11-1721-03

X 射线影像技术是生物医学和材料科学研究中的一种重要手段。自从 Rontgen 在 1895 年发现 X 射线以来, 如何获得更高分辨率更优衬度的图像就一直是 X 射线影像学的重要课题。众所周知, 传统的 X 射线成像是基于不同材料或组织对 X 射线的吸收的不同而获得成像的衬度。但是, 生物学、医学、材料科学研究中很多常用的样品如各种有机样品却只能产生非常弱的吸收衬度, 这就给采用 X 射线吸收成像进行研究带来了很大的困难。X 射线位相衬度成像是近年来新发展起来的一种新的成像手段, 是传统 X 射线吸收成像的有益补充和发展, 对于主要由轻元素组成的物体例如生物体软组织 and 有机复合材料等能够获得更高的分辨率和更优的衬度, 因而在生物医学和材料科学领域有着广泛的应用前景。

近年来, X 射线位相衬度成像方法和应用研究成为一大

研究热点。1995 年开始, 澳大利亚的 Wilkins 的研究小组和法国 ESRF 的科学家们分别采用微聚焦点光源和同步辐射装置, 应用同轴成像技术得到了 X 射线位相衬度图像^[1-3]。这种同轴技术是一种基于菲涅耳衍射的 X 射线位相衬度成像方法。该技术又被称为菲涅耳衍射相衬技术和同轴轮廓相衬技术。在此之后, 世界上很多国家的科学家都在开展 X 射线位相衬度成像研究, 国内科研人员从 2000 年以后也开始了这一课题研究^[5-7]。本文介绍的是作者在北京同步辐射光源 W4A1 光束线上利用白光束和单色硬 X 射线进行的位相衬度成像研究的结果。

1 原理

X 射线位相成像是成像机制上不同于传统的吸收衬度成像。我们知道, X 射线的折射率可以写成:

$$n = 1 - \delta - i\beta$$

其中 $i\beta$ 为吸收项, δ 是位相项。对于传统的 X 射线照相术来说, 当 X 射线穿透物体时, 物体的各个不同部分对 X 射线的吸收不同, 因而能得到记录物体各个部分吸收分布的吸收像, 同时当 X 射线穿透物体时, 它的位相信息也一样会发生变化, 导致产生位相衬度的可能性。需要特别指出的是, 随

[基金项目] 本课题受国家自然科学基金资助(60477001)。

[作者简介] 蒋诗平(1963-), 男, 安徽舒城人, 博士, 副研究员。研究方向: X 射线显微术、中子成像和医学影像技术。

[通讯作者] 蒋诗平, 安徽省合肥市 6022 信箱, 中国科学技术大学国家同步辐射实验室, 230029。E-mail: spjiang@ustc.edu.cn

[收稿日期] 2007-04-14 **[修回日期]** 2007-07-11

着光子能量的增加, β 的减小要比 δ 慢得多, 造成了在波长越短的情况下, 轻元素 (如构成有机物主要元素碳、氢、氧等) 产生的吸收衬度越弱, 但与此同时, 不太大的厚度或者密度的变化可能产生相当大的位相漂移^[4]。因此, 对于观察主要是由轻元素组成的生物体软组织或有机复合材料, 传统的 X 射线吸收衬度成像几乎不可能获得高分辨和高衬度的图像, 而采用位相衬度成像就会特别有效。因为 X 射线位相衬度成像的这种适合软组织成像的优势, 其越来越受到人们的重视。

从实验技术上来看, 获得 X 射线位相信息的方法主要有干涉法、衍射增强法和同轴法^[5]。在三种位相衬度成像的方法中, 干涉法和衍射增强法都需要完整晶体、较大尺寸的单色器、较高的机械稳定性以及较高的 X 射线通量, 因此它们的实际应用往往只能在同步辐射上进行; 但是, 同轴法不仅技术上更为简单适用而且可以利用单色或多色辐射, 它所需要的基本条件只是较高的空间相干性光源以及合适的物距和像距。

同轴法成像的基本原理是, 当一均匀相干 X 光通过一截面非均匀的物体时, 将产生位相差, 即波面发生畸变, 这一波面的畸变如果继续传播一定的距离将和未发生畸变的波面发生干涉, 从而将位相信息转化成强度调制, 在一定的距离处能以可观察的强度变化显示出来, 再进一步传播这种强度变化将减弱。因此, 这种位相衬度成像的关键就是有相干光源和在适当的距离进行探测。有关光源相干性和成像距离对 X 射线位相衬度图像的影响, 国内外已有不少文献对此进行了详细的理论阐述和实验研究^[1-4]。

2 实验装置和方法

本实验采用同轴相衬方法, 在北京同步辐射装置 (BSRF) 的 4W1A 光束线 X 射线形貌学实验站完成的。形貌学实验站建立在 Wiggler 白光束线上, 储存环能量为 2.2 GeV, 电子束截面尺寸 (即光源尺寸) 为 0.786 mm × 0.279 mm, 光源亮度 610^{10} phs/(s · mrad² · mA · 0.1% BW)。4W1A 光束线的白光能量范围大约是 3 ~ 22 keV, 单色光采用一块 Si 单晶单色仪得到, 通过旋转不同的角度可以得到不同能量的单色光。样品位置距离光源约 45 m, 样品台可以做高精度的 360° 的沿中心轴的旋转, 成像距离 D 可以通过改变接收装置的距离进行毫米量级精度的改变。

实验分别利用白光束 X 射线和 14 keV 的单色 X 射线 (波长约为 0.09 nm), 采用 FUJI 高分辨率胶片成像 (工业用 IX50 型 X 射线胶片, 其分辨率优于 0.8 μ m)。实验时储存环电子束流量约为 100 mA。实验所用样品分别是市售普通金鱼 (体长、厚分别约 2 cm 和 0.5 cm) 和实验用雄性 SD 大鼠。

3 结果分析与讨论

图 1 是一组小金鱼的 X 射线照片。图 1A 为吸收衬度图像, 图 1B 和 1C 为采用白光束 X 射线情况下的位相衬度图像。可以看出, 吸收衬度图像是非常模糊的, 而相衬图像中除了鱼刺等致密结构比较清楚外, 消化道、鳃、脊髓线等软组织的结构也非常清晰。图 1D 是采用单色光的位相衬度图像。可见, 单色光的位相衬度图像比连续谱白光位相衬度图像更为清晰, 细节更多。

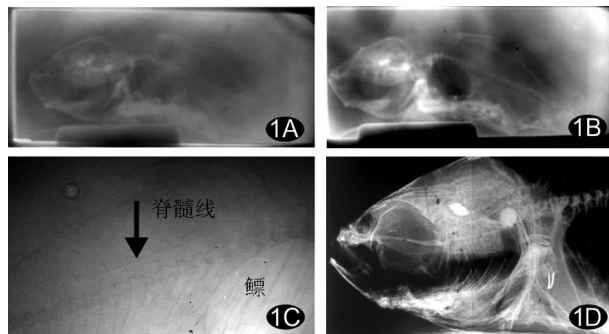


图 1 一组金鱼的 X 射线位相成像结果 A. 采用传统吸收衬度方法得到的图像; B、C. 采用连续波长的硬 X 射线采集到的小金鱼的位相图像; D. 采用单色硬 X 射线得到的小金鱼的位相图像

图 2 是一组 SD 大鼠腕关节的 X 射线照片。其中, 图 2A 和 2B 分别为位相衬度图像和吸收衬度图像, 可以看出, 吸收衬度图中的结构较为模糊, 而位相衬度图 (成像距离 $D \gg 200$ mm) 要更为清晰, 信息也更加丰富。可以清晰地看到关节上的骨小梁和骨骺线 (约 40 μ m 宽)。

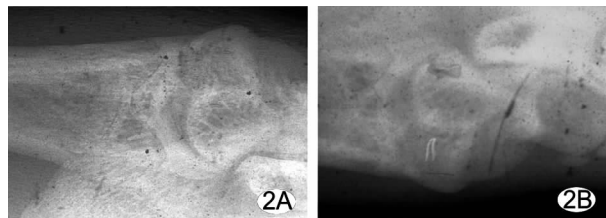


图 2 白鼠腕关节硬 X 射线位相成像结果 A. 白鼠腕关节的位相图像; B. 白鼠腕关节的吸收衬度图像

在北京同步辐射装置上成功地进行了同轴位相衬度成像方法的研究, 并首次得到了白光束位相衬度图像。在实验中, 对各种样品分别进行了吸收衬度和位相衬度 (包括白光成像和单色光成像) 的研究, 并进行了比较。结果发现, 对于 X 射线吸收很弱的样品, 利用位相衬度能够得到非常清晰和精细的内部结构, 而白光位相成像和单色光位相成像可以得到不同结构的精细图像。

这种同轴位相衬度成像技术极具应用到临床中的潜力, 因为它与目前临床上的 X 射线摄片技术很相似, 所不同的主要就是: ①要提高现有 X 射线源的空间相干性 (靶点面积要很小) 而又保证足够高的通量; ②探测器和人体之间要有一定的距离。但是做到第一条即获得具有足够高通量又有很高空间相干性的台式化的 X 射线源就很困难。目前这方面的研究正不断取得进展, 随着研究的深入, 有理由相信, X 射线位相衬度成像技术将很快应用于临床。

(致谢: 感谢北京同步辐射形貌学实验站所有工作人员给予实验上的支持。)

[参考文献]

- [1] Wilkins W, Gureyev TE, Gao D, et al. Phase-contrast imaging using polychromatic hard X-rays [J]. Nature, 1996, 384(28): 335-338.

- [2] Gureyev TE, Raven C, Snigirev A, et al. Hard X-ray quantitative non-interferometric phase-contrast microscopy[J]. J Phys D: Appl Phys, 1999, 32(5): 563-567.
- [3] Pogany A, Gao D, Wilkins SW. Contrast and resolution in imaging with a microfocus X-ray source[J]. Rev Sci Instrum, 1997, 68(7): 2774-2782.
- [4] Gao DC, Pogany A, Stevenson AW, et al. Hard X-ray phase-contrast imaging[J]. Acta Phys Sin, 2000, 49(12): 2357-2368.
高大超, Pogany A, Stevenson AW, 等. 硬 X 射线位相衬度成像[J]. 物理学报, 2000, 49(12): 2357-2368.
- [5] Chen JW, Gao HY, Li RX, et al. X-ray phase contrast imaging[J]. Progress in Physics, 2005, 25(2): 175-194.
陈建文, 高鸿奕, 李儒新, 等. X 射线相衬成像[J]. 物理学进展, 2005, 25(2): 175-194.
- [6] Chen M, Xiao TQ, Luo YY, et al. Phase-contrast imaging with micro-focus X-ray source[J]. Acta Phys Sin, 2004, 53(9): 2953-2957.
陈敏, 肖体乔, 骆玉宇, 等. 微聚焦管硬 X 射线位相衬度成像[J]. 物理学报, 2004, 53(9): 2953-2957.
- [7] Huang WX, Yu QX, Tian YL, et al. Diffraction-enhanced imaging experiments in BSRF[J]. Acta Phys Sin, 2005, 54(2): 677-681.
黄万霞, 袁清习, 田玉莲, 等. 同步辐射硬 X 射线衍射增强成像新进展[J]. 物理学报, 2005, 54(2): 677-681.

Right principal bronchial chondroma: case report

右主支气管软骨瘤 1 例

张 涛, 甘 露, 周福良, 耿 海, 李林坤

(山东省潍坊市人民医院放射科, 山东 潍坊 261041)

[Key words] Chondroma; Bronchia; Tomography, X-ray computed [关键词] 软骨瘤; 支气管; 体层摄影术, X 线计算机
[中图分类号] R738.1; R814.42 [文献标识码] B [文章编号] 1003-3289(2007)11-1723-01

患者男, 56 岁。1 个月前无明显诱因出现咳嗽、咳痰, 咳嗽以清晨起床后及剧烈活动后明显, 咳嗽时伴有胸闷, 白色黏痰, 量不多, 咳出后胸闷感减轻。无发热、盗汗、胸痛及咳血史。7 天前在本地医院胸透发现纵隔移位来院就诊。查体: 口唇无紫绀, 气管右偏, 右侧胸廓明显缩小, 吸气时无“三凹征”, 听诊右肺闻及哮鸣音。

CT 检查: 横断面及多平面重建示右肺体积明显缩小, 气管、纵隔明显右移。于右主支气管内可见一椭圆形软组织密度肿块, 边缘光滑, 约 2.7 cm × 1.7 cm × 1.5 cm 大小, 长轴与支气管长轴一致, 阻塞右主支气管腔约 95%, 肿块密度不均匀, 内见多发点状钙化(图 1、2)。肿块周围气管环及气管周围软组织未见受累征象。CT 仿真内镜清晰显示肿块阻塞右主支气管腔全部(图 3)。CT 诊断: 右主支气管良性肿瘤, 软骨瘤可能性大。

支气管纤维内镜所见: 右主支气管外侧壁见息肉样肿物, 管腔几乎完全阻塞, 肿物可上下活动。行右主支气管内肿瘤摘除术, 完整将肿瘤摘除。病理诊断: (右主支气管) 软骨瘤(图 4)。

讨论 气管原发肿瘤少见, 其中 90% 为鳞状细胞癌和腺腺癌。气管原发良性肿瘤仅占 9.52%。气管原发良性肿瘤来源于不同的组织, 有来自上皮组织的如乳头状瘤, 来自间叶组织的软骨瘤、脂肪瘤、纤维瘤及平滑肌瘤, 来自发育异常的如错构瘤和畸胎瘤。支气管软骨瘤来源于气管、支气管和细支气管的软骨, 属于罕见的良性间叶组织肿瘤。螺旋 CT 多平面重建不仅能发现气管、支气管肿瘤, 而且能准确、直观地确定肿瘤的位置、大小、形态及气管壁内外的侵犯范围和程度, 能为术前制定手术方

案起重要作用。

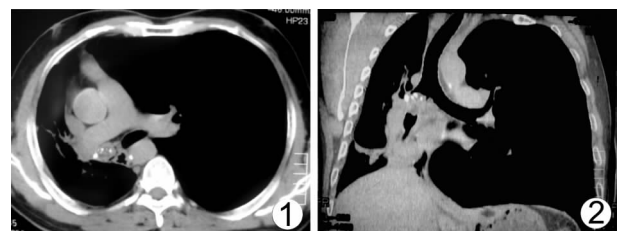


图 1 CT 横断面显示气管、纵隔明显右移, 于右主支气管内可见一软组织密度肿块, 肿块密度不均匀, 内见多发点状钙化

图 2 多平面重建示气管、纵隔明显右移, 于右主支气管内可见一椭圆形软组织密度肿块, 肿块上极见多发点状钙化, 长轴与支气管长轴一致, 管腔几乎完全阻塞。肿块周围气管环及气管周围软组织未见受累征象

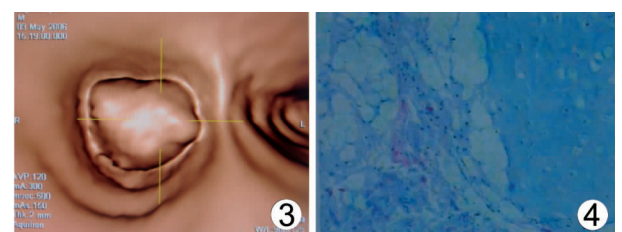


图 3 CT 仿真内镜显示肿块阻塞右主支气管腔全部
图 4 病理诊断: (右主支气管) 软骨瘤

[作者简介] 张涛(1970-), 男, 山东寿光人, 学士, 主治医师。

E-mail: zhangtao8517208@126.com

[收稿日期] 2006-09-25 [修回日期] 2007-10-11