

• 基础研究 •

X 线灰度与骨质厚度相关关系测试

钟红刚^{1,2}, 卜海滨², 董福慧²

(1.北京工业大学生命学院,北京 100022;2.中国中医科学院骨伤科研究所)

【摘要】 目的:在仅采用 X 线平片条件下实现对骨的局部区域进行三维测量。方法:采用低速骨锯制作多层薄骨片,叠摆成螺旋阶梯,作为与临床实际拍摄对象最接近的标定块,测试了其厚度与 X 线灰度的相关关系。结果:得到厚度与 X 线灰度的相关关系可用三次曲线拟合,并且在骨质厚度小于 3.8 mm 时,可以简化为线性拟合。结论:借助本文骨性螺旋阶梯标定块,能实现通过 X 线平片灰度较精确地计算 X 线穿过的骨质厚度。

【关键词】 X 线胶片; 骨; 放射测量术

Relationship between the gray level of X-ray photograph and the cortical thickness ZHONG Hong-gang*, BU Hai-bin, DONG Fu-hui. *College of Life Science & Bioengineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China

ABSTRACT Objective: In order to get three dimensional measurements simply an plain X-ray photographs. **Methods:** The multi-layers of bone pieces were made by use of bone saw, and piled up to spiral ladder, which was used as a calibrating module for to living bone in clinics. The relationship between the cortical thickness and gray level of the X-ray photographs was obtained. **Results:** The correlation can be described with a cubic regression curve, and it can be simplified to a linear regression equation when cortical thickness is small than 3.8 mm. **Conclusion:** It can be realized to get three dimensional measures of the bone on plain X-ray photographs, by use of the bony spiral ladder described here.

Key words X-Ray film; Bones; Radiometry

Zhongguo Gushang/China J Orthop & Trauma, 2008, 21(3): 194-195 www.zggszz.com

骨科临床常用 X 线平片作为骨折愈合的重要判断依据。相对于 X 线, CT 图像具有三维成像能力, X 线平片仅靠灰度值判断骨质的形态和质量, 在投照方向上骨质的厚度只能依靠不同区域的灰度的相对差别进行估计, 这对医生的读片水平要求较高, 同时也增加了临床骨折愈合判断的不确定性。本文探讨一种相对简便可靠的数字化灰度标定和测试方法, 来对 X 线平片进行定量解读。

1 材料与方 法

1.1 测试样品和仪器 所用骨块取材于正常成年人股骨中段干骨标本, 用低速骨锯沿横截面方向切成 0.5 mm 薄片, 共连续切割 16 片, 按顺序编号。在切片之前先纵向锯掉股骨后侧 1/3, 这样每张骨薄片都显示为“C”形, 如图 1a, 叠摆在一起总高度约 8 mm。由于锯片厚度约 0.5 mm, 因此, 实际上从第 1 片到第 16 片在股骨长度方向约跨过 16 mm 距离。自上而下, 每片在水平面内旋转, 使开口处长度约 3~5 mm (即皮质骨厚度) 的皮质径向边界在周向与下一片错开 2~3 mm, 形成螺旋阶梯, 如图 1b。这样形成从 1 片厚度约 0.5 mm 到 8 mm 共 16 个厚度的标定模块。X 线照相采用 CR 高清晰数字系统记录。

1.2 测试方法 X 线平片灰度值与骨矿含量有较好的相关性^[1], 物质密度直接影响 X 线穿透比例。物质对 X 线吸收率 μ

与其原子序数 Z 有如下近似关系^[2]

$$\mu \approx k Z^{\lambda^3} \quad (1)$$

其中, λ 为入射 X 线波长, k 为系数。

X 线灰度值, 也称为曝光照片中的黑度, 记为 D, 通常是使用相对值, ΔD 。X 线片曝光量是曝光时间与 X 线强度的乘积, 在小厚度尺寸情况下有

$$\Delta D = 0.434 \mu G \Delta T / (1+n) \quad (2)$$

其中, ΔT 为厚度, n 为与骨材料吸收相关的常数, G 与曝光材料有关, μ 与物质原子的质量数的三次方相关。设 $\beta = 0.434 \mu G / (1+n)$, 则有如下式

$$\Delta D = \beta \Delta T \quad (3)$$

此式表明, 在小厚度尺寸, 灰度值与厚度呈线性比例关系。当厚度 ΔT 变大, β 不能被视为常数, 而出现非线性。

在 46 kV, 12 mAs 条件下, 拍摄标定模块, 直接获得数字图像, 用自行编制的灰度测试软件进行灰度测试。在螺旋阶梯每一层中, 取尽可能大的面积进行灰度测量。一般可有 300~600 个像素, 取平均值。骨片厚度用 0.02 mm 分辨率的游标卡尺测量, 每片测 3 个部位, 取平均值。

1.3 数据处理 采用 OXSTAT II 软件进行统计分析, 求出厚度与 X 线灰度的相关回归方程。

2 结果

数据见表 1。骨质厚度对 X 线灰度回归曲线如图 2。有三次回归方程如式(4)。相关性检验自由度 12, F 值 7 181.64, 回

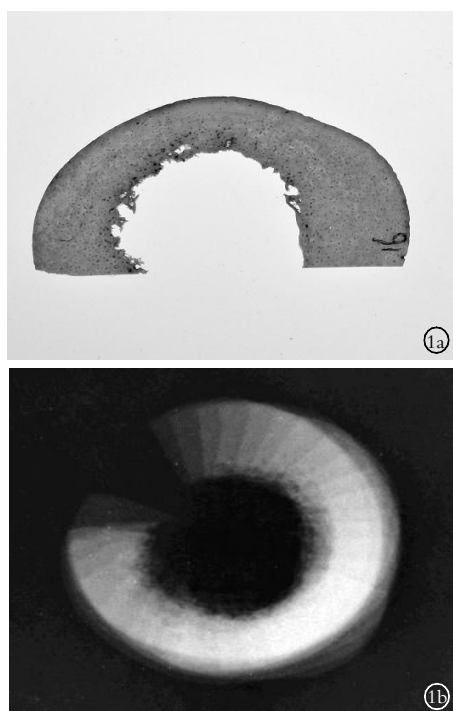


图 1 骨片之一(1a)及 16 片叠摞成螺旋阶梯的 X 线片(1b)
Fig.1 One of the bone pieces(1a) and the X-ray photograph of the spiral ladder by overlapping of the 16 pieces of bone cut from the femur transversely(1b)

表 1 16 片骨切片组成螺旋阶梯的厚度和 X 线灰度

Tab.1 The gray level of X-ray and thickness of the spiral ladder constructed by 16 pieces of bone cuts

序号	平均厚度 (mm)	厚度标准差 (mm)	累积厚度 (mm)	平均灰度(与累积厚度对应)	灰度标准差
1	0.51	0.012	0.51	8.8	4.04
2	0.47	0.012	0.98	22.0	3.71
3	0.46	0.000	1.44	39.9	4.31
4	0.46	0.000	1.90	54.5	4.04
5	0.47	0.012	2.37	70.1	4.58
6	0.45	0.012	2.81	83.4	6.38
7	0.46	0.020	3.27	98.4	6.33
8	0.47	0.046	3.74	110.5	4.92
9	0.43	0.012	4.17	118.7	5.93
10	0.47	0.012	4.64	127.9	5.45
11	0.48	0.020	5.12	137.2	5.46
12	0.46	0.000	5.58	142.6	4.51
13	0.47	0.012	6.05	150.7	4.76
14	0.45	0.012	6.51	158.6	4.08
15	0.47	0.012	6.97	166.0	4.61
16	0.50	0.000	7.47	171.5	4.68

归相关系数 0.999, 显著性水平 $\alpha < 0.001$ 。

$$y = 0.2513 + 0.0335x - 0.0001x^2 + 1.0E-6x^3 \quad (4)$$

式中, x 代表 X 线灰度, y 为 X 线穿过的骨质的厚度 (mm)。

从曲线看出, 当骨质厚度小于 3.8 mm 时, 厚度与灰度之

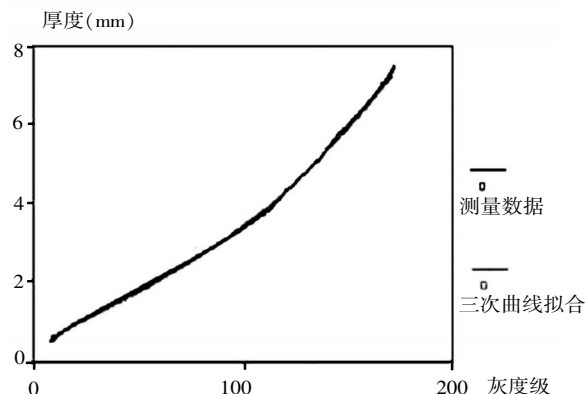


图 2 螺旋阶梯上骨质厚度与 X 线灰度的关系曲线

Fig.2 The relationship between X-ray gray level and the thickness of bone mass that X-ray go through in the spiral ladder

间有线性关系。有线性回归方程如式(5)。相关性检验自由度 6, F 值 3 922.15, 回归相关系数 0.998, 显著性水平 $\alpha < 0.001$ 。

$$y = 0.2277 + 0.0312x \quad (\text{mm}) \quad (5)$$

式中, x 代表 X 线灰度, y 为 X 线穿过的骨质的厚度 (mm)。据此可算出(3)式中 $\beta = 1/0.0312 \approx 32$ (灰度级/mm)。

本文结果表明在骨质厚度小于 3.8 mm 时, 可以使用较为方便的线性关系。

3 讨论

不同种类, 不同部位, 同部位不同方向, 骨对 X 线的散射和吸收均有差别。本文仅从人股骨的一个大体样品上取 16 片横截面骨片, 得到三次拟合曲线方程, 其意义并不在于给出通用的数量关系。本文仅探讨这种简便标测方法的可行性, 要实际应用于临床需要建立一套相应的制作标准和测算工具。

由于照射条件和软组织的影响, 实际拍摄的 X 线平片并不能直接通过灰度计算 X 线所穿过骨质的厚度, 但是在感兴趣的地方安放一个本文所述的螺旋阶梯标定块, 例如骨折断端^[3], 便可较为精确地计算出骨质沿着 X 线照射方向的尺寸。随着 X 线技术设备的更新和改进, 清晰度不断提高, 有可能在骨性标定块的帮助下, 弥补 X 线平片平面成像的不足, 实现基于 X 线平片的局部立体重建。

参考文献

- 1 黄伯灵, 刘永年, 朱刚, 等. X 射线骨矿密度定量分析系统对人体前臂骨矿密度的定量分析方法. 中国骨伤, 1999, 12(3):51.
- 2 郑世才. 射线检测. 北京: 机械工业出版社, 2006. 103.
- 3 钟红刚, 赵宏普, 宋跃, 等. 穿针滑动固定家兔胫骨实验性骨折愈合过程断端位移测试. 中国骨伤, 2001, 14(10):604-605.

(收稿日期: 2007-09-03 本文编辑: 连智华)

作者须知

凡投稿本刊的论文, 其作者姓名及排序一旦在投稿时确定, 在编排过程中不再作改动, 特此告知。

《中国骨伤》杂志社