

# 骨肿瘤边界分形特性的研究

陈少卿 吴朝霞 程敬之

(西安交通大学电信学院医电所, 西安 710049)

**摘要** 由于骨肿瘤呈浸润性生长, 肿瘤的周边组织反映了肿瘤的生物学行为, 因此对骨肿瘤边界的研究是非常重要的, 但是以往的研究中缺乏描述这些特征的定量指标, 而同属浸润性生长的肿瘤, 由于浸润程度不同, 预后也不同. 因此肿瘤诊断中, 急需要用一特征量来反映肿瘤组织生长的浸润程度. 通过骨肿瘤边界的分形特性研究表明, 用形态算法获得的分形维数, 能较好地反映骨肿瘤边缘组织的浸润性生长, 因此它是描述骨肿瘤不同病变程度及预后情况的鲁棒性的特征参数, 从而为骨肿瘤的深入研究开辟了新的途径.

**关键词** 分形 数学形态学 骨肿瘤边界

中图法分类号: TP391.4 R730.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)09-0790-04

## Fractal Characteristics of Osteoma Boundary

CHEN Shao-qing, WU Zhao-xia, CHENG Jing-zhi

(Department of Biomedical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

**Abstract** The growth of osteoma is soakage. Osteoma's boundary organ reflect the biological behavior of osteoma. Therefore, it's important to study the fractal characteristics of osteoma boundary. However, there was lack of quantitative parameters depicting these characteristics in the past. With regard to the osteoma of soakage growth, the prognosis is different because of various degree of soakage. It is necessary to use the characteristic parameter in order to reflect soakage growth degree of osteoma. Thus, the fractal characteristics of osteoma boundary is discussed in this paper. Our results show that fractal dimension can preferably reflect the soakage growth of osteoma's boundary organ. It is a robust characteristic parameter in describing different pathological changes degree of osteoma and prognosis. This provides a new useful approach for lucubrate of osteoma.

**Keywords** Fractal, Mathematical morphology, Osteoma boundary

## 0 引言

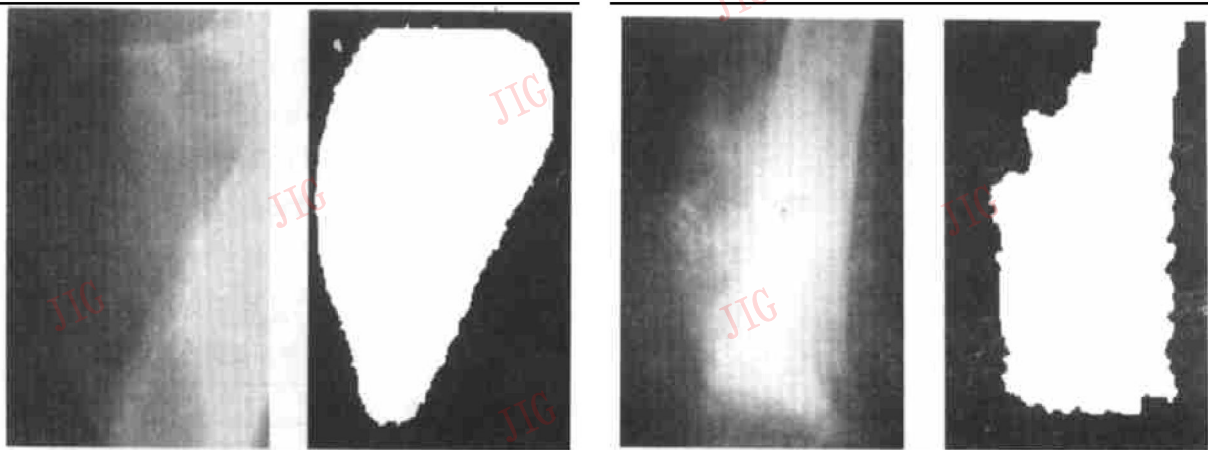
骨肿瘤是一种危害较大的骨科疾病, 术后复发率高, 且预后评估困难. Shen 等对骨巨细胞瘤微血管电镜观察发现, 骨巨细胞瘤的外带具有丰富的新生毛细血管芽, 恶性程度高, 因此外带是肿瘤细胞生长最活跃的部位, 具有较强的侵袭性<sup>[1]</sup>. 同时, 由于肿瘤细胞体积小, 因而利于进入血管, 而且其生物学行为一般都具有较强的侵袭性, 因此骨肿瘤呈浸润性生长. 由于肿瘤周边微血管密度及增殖指数均较中心高, 表明肿瘤周边部瘤组织血管丰富, 这是细胞

高增殖的病理学基础. 因此肿瘤周边部组织更典型地反映了该肿瘤的生物学行为.

由此可见, 对骨肿瘤边界的研究是非常重要的. 但是在以往的研究中, 缺乏描述这些特征的定量指标, 因而影响对肿瘤的评估, 如也同属浸润性生长的肿瘤, 由于浸润程度不同, 预后也不同. 这就需要用一个特征量来反映肿瘤组织生长的浸润程度. 因此本文应用分形维数来描述骨肿瘤的病变程度.

图1给出了良性骨肿瘤和恶性骨肿瘤的X光图象及其边界图象. 其中边界图象是通过文献[2]中的分割算法得到的.

本文采用形态算法计算了骨肿瘤边界的分形维



(a) 良性骨肿瘤的 X 光图象及其边界图象

(b) 恶性骨肿瘤的 X 光图象及其边界图象

图 1 良性骨肿瘤和恶性骨肿瘤的 X 光图象及其边界图象

数. 结果表明, 分形维数可以很好地描述骨肿瘤的病  
变程度及预后情况.

### 1 形态法计算分形维数

分形维数是在分形意义上由标度关系得出的一个定量的数值, 它标志着该结构的自相似构造规律. 分形集合在尺度  $\epsilon$  下测得的边界长度  $L(\epsilon)$  与尺度  $\epsilon$  间的关系为

$$L(\epsilon) \propto \epsilon^{-r}, \quad 0 \leq r \leq 1 \quad (1)$$

其中,  $D = 1 + r$  称为分形维数或 Hausdorff-Besicovich 维, 它表征目标的不规则程度.

基于 Minkski 的工作, Serra 在他与 Matheron 同时创立的数学形态学<sup>[3]</sup>中提出了一种不同尺度下分形集合边界长度的测量方法.

结构元素  $B$  对集合  $X$  的膨胀定义为

$$X \oplus B = \bigcup_{x \in X} B^x \quad (2)$$

其中,  $B^x$  表示集合  $B$  随  $x$  的平移, 膨胀运算结果则是结构元素  $B$  的中心经过集合  $X$  的表面的轨迹. 处理效果常表现为原图象中目标肢体扩张, 孔洞收缩.

将结构元素  $B$  对集合  $X$  的腐蚀定义为

$$X \ominus B = \bigcap_{x \in X} B^x \quad (3)$$

腐蚀运算的处理效果常表现为原图象中目标肢体收缩, 使孔洞扩张.

将关于原点对称的紧凸集合  $B$ , 紧集合  $X$  在尺度  $\epsilon$  下的边界长度定义为

$$L(\partial X, B) = \frac{S(\partial X \oplus \epsilon B) - S(\partial X \ominus \epsilon B)}{2\epsilon} \quad (4)$$

其中,  $\partial X$  为紧集合  $X$  的边界,  $S(X)$  为紧集合  $X$  的面积. 若集合  $\partial X$  被结构元素  $\epsilon B$  膨胀, 则隐去了所有比  $\epsilon B$  小的结构.

对式(1)两边取对数

$$\ln L(\partial X, B, \epsilon) = \ln(k) - r \ln \epsilon \quad (5)$$

其中,  $k$  为比例常数. 通过绘双对数  $\ln L(\partial X, B, \epsilon) - \ln \epsilon, i = 1, 2, \dots, N$  坐标图, 即可确定  $r$  和  $D$ .

计算  $L(\partial X, B, \epsilon)$  的算法<sup>[4,5]</sup>如下:

先用结构元素去膨胀原图象, 再用结构元素去腐蚀原图象, 两者的差就是增加的空间.

$$\text{设 } DX_B^\epsilon = X \oplus \epsilon B$$

根据形态运算的性质

$$\begin{aligned} DX_B^{\epsilon+1} &= X \oplus (\epsilon + 1)B = (X \oplus \epsilon B) \oplus B \\ &= DX_B^\epsilon \oplus B \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{又设 } EX_B^\epsilon = X \ominus \epsilon B.$$

同理可得

$$EX_B^{\epsilon+1} = DX_B^\epsilon \ominus B$$

于是在尺度  $\epsilon$  下, 边界的长度为

$$L(\partial X, B, \epsilon) = \frac{S(DX_B^\epsilon) - S(EX_B^\epsilon)}{2\epsilon} \quad (7)$$

本文结构元素选取为关于原点对称的圆盘, 通过改变圆盘直径可以抽取在不同尺度下骨肿瘤边界的特征.

### 2 临床骨肿瘤边界的分形特性

我们利用扫描仪将临床骨肿瘤 X 光片输入计算机, 通过人机对话方式确定感兴趣区域. 然后采用文献[2]中的分割算法来获得骨肿瘤的二值图象. 再分别采用盒子维数计算法和形态算法来计算骨肿瘤边界的分形维数.

(1) 盒子维数计算法

采用盒子维数计算法计算图 1 骨肿瘤边界的分形维数, 其结果如图 2 所示.

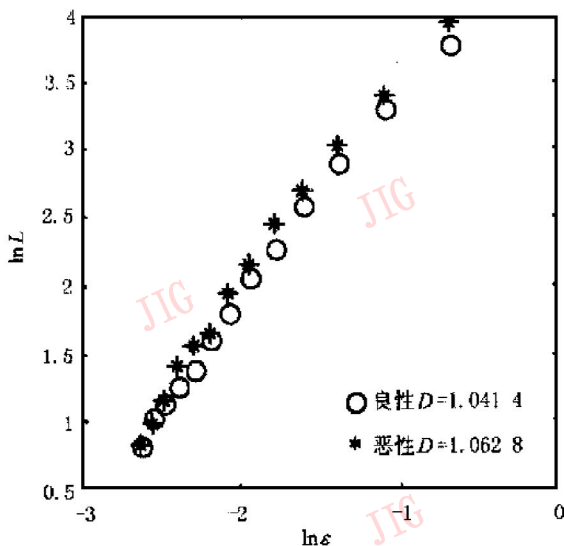


图2 用盒子维数法计算的不同病变骨肿瘤边界的双对数曲线

由图2可见,采用盒子维数计算得到的不同病变肿瘤边界的双对数( $\ln L(\partial X, B, \epsilon) - \ln \epsilon, i = 1, 2, \dots, N$ )曲线为二条交叠在一起的直线,其斜率非常接近,反映该二类图象的分形维数相差很小.这说明,骨肿瘤边界具有分形特性,但利用盒子维算法得到的分形维数不能反映骨肿瘤的不同病变程度,故不能用此参数作为区分骨肿瘤病变程度的特征参数,其主要原因是由于多数盒子维数算法不够精确,又因骨肿瘤边界的不规则性,使得在不同尺度下,计算出不同病变的骨肿瘤边界盒子数变化不大,从而导致不同病变骨肿瘤边界的分形维数无明显差异.

(2) 形态算法

应用形态算法计算骨肿瘤边界的分形维数.其计算结果如图3所示.

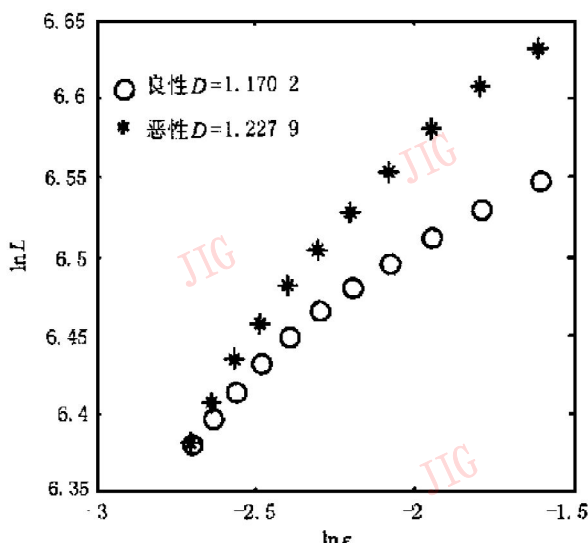


图3 用形态法计算的不同骨肿瘤边界分形维数的双对数曲线

从图3可以看出,采用形态法计算,不同病变的骨肿瘤边界的双对数( $\ln L(\partial X, B, \epsilon) - \ln \epsilon, i = 1, 2, \dots, N$ )曲线的斜率具有明显的差异.这说明利用形态法计算得到的分形维数可以区分骨肿瘤的不同病变程度,因此可以作为区分骨肿瘤病变程度的特征参数.

本文应用形态算法对30例临床骨肿瘤边界进行了分形维数的计算.计算结果如表1所示.

表1 骨肿瘤边界分形维数

良性骨肿瘤分形维数	恶性骨肿瘤分形维数
1.110 1	1.227 9
1.145 6	1.246 0
1.151 2	1.266 7
1.170 2	1.194 2
1.083 5	1.189 1
1.147 6	1.173 6
1.147 4	1.197 5
1.074 8	1.205 0
1.126 6	1.264 7
1.075 7	1.226 9
1.183 4	1.207 6
1.112 7	1.280 1
1.157 3	1.273 3
1.190 2	1.199 0
1.264 6	1.173 9

由表1可见,良性骨肿瘤的分形维数一般为  $1.142 7 \pm 0.036 4$ ,恶性骨肿瘤的分形维数一般为  $1.221 7 \pm 0.031 2$ ,并有明显差异 ( $P = 0.000 62 < 0.001$ ),说明骨肿瘤边界的分形维数有助于诊断骨肿瘤的病变程度.分形维数越大,肿瘤边缘组织浸润性生长能力越强,边缘越不规则,恶性程度越高,预后越差;反之,分形维数越小,恶性程度越低,预后越好.

3 结 论

本文基于分形理论对30例临床骨肿瘤的分形特性进行了分析.结果表明,形态分形维数能够较好地反映骨肿瘤边缘组织的浸润性生长状态,是进行骨肿瘤识别分类的鲁棒的特征参数.本文研究的方法可提高骨肿瘤临床诊断的有效性、准确性和客观性.同时该方法也可用于其它医学图象,如:乳腺X光图象、超声肝脏图象以及显微图象等,因而具有较高的实用价值.

参 考 文 献

1 Shen Y, Shi F W, Chen Y *et al.* Relationship between microvascular structure and biological characteristics of giant cell

tumor of bone. China Med. J, 1994, 107(5): 368~ 370.

- 2 陈少卿, 吴朝霞, 程敬之. 基于模糊和多分辨率分析的骨肿瘤 X 光图象分割. 计算机学报, 1999, 22(7): 698~ 702.
- 3 Serra J. Image analysis and mathematical morphology. New York: Academic Press., 1982: 146~ 152.
- 4 Samarabaudu J, Acharya R *et al.* Analysis of bone X-rays using morphological fractals. IEEE Trans. on Med. Imag, 1993, 12(3): 466~ 470.
- 5 Veenland J F, Grashuis J L. Estimation of fractal dimension in radiographs. Med. Phys, 1996, 23(4): 585~ 594.



陈少卿 1966 年生, 博士研究生. 主要从事生物医学信号的检测与处理、医学图象处理等方面的研究.



吴朝霞 1975 年生, 博士研究生. 主要从事生物医学信号的检测与处理、医学图象处理等方面的研究.



程敬之 1926 年生, 教授, 博士生导师. 主要从事医学信息处理及医学仪器等方面的研究.

## 投 稿 须 知 (A 版)

为加快审稿速度, 要求来稿一律一式三份, 其中一份稿件务必写明全部作者真实姓名及简介、单位及部门、中英文摘要(中文摘要需写成 200 字左右的篇幅, 包括研究目的、方法、结果和结论, 英文摘要与中文内容一致, 字数在 300~ 500 个英文单词以内), 其它两份稿件要求双面(正反面)复印, 并略去中英文作者姓名、单位地址、作者简介.

作者若三周内未收到收稿回执, 请来函来电查询. 无论稿件录用与否, 本刊均将审稿意见寄给作者, 不退原稿, 请自留底稿.

若方便, 来稿时请注明您的 E-mail 及联系电话, 以便今后联系.

本刊 A 版暂不接收电子投稿.

多谢您的合作!

通信地址: 100080 北京 2704 信箱 《中国图象图形学报》编辑部(A 版) 收