

3次元ボロノイ分割を用いた胸部CT像における 肺葉収縮の定量化と腫瘍影鑑別への応用

平野靖*, 新美雅弘*, 長谷川純一**, 鳥脇純一郎*, 大松広伸†, 江口研二††

*名古屋大学大学院工学研究科, **中京大学情報科学部

†国立がんセンター東病院, ††国立病院四国がんセンター

Quantification of shrinkage of lung lobes in chest CT images using the 3D Voronoi division and application to tumor discrimination

Yasushi Hirano*, Masahiro Niimi*, Jun-ichi Hasegawa**, Jun-ichiro Toriwaki*,
Hironobu Ohmatsu† and Kenji Eguchi††

*Faculty of Eng., Nagoya Univ., **School of Computer and Cognitive Sciences, Chukyo Univ.,

†National Cancer Center Hospital East, ††National Shikoku Cancer Center

Abstract : In this paper we propose a method to quantify shrinkage of lung lobe from chest X-ray CT images. The malignant tumors often cause a phenomenon named convergence. The tissues such as the vessels or the pleura are pulled to the tumors because of the convergence. Therefore shrinkage of lung lobe is caused. However, the degree of shrinkage have not been quantified. Using 3D Voronoi division, we tried to quantify shrinkage of lung lobes. The proposed measures were applied to twenty-three CT images. It is shown that the proposed measures are significantly correlated with the degree of the convergence evaluated by medical experts.

Key words : shrinkage of lung lobe, 3D Voronoi division, chest X-ray CT image

要旨 : 本稿では、3次元胸部X線CT像から肺葉の収縮の程度を定量化する手法を提案する。悪性の肺腫瘍は、しばしば腫瘍周辺の組織を腫瘍に引き寄せさせる現象(集束)を引き起こす。これにより、腫瘍が存在する肺葉が収縮する。そのため肺葉収縮の程度を定量化することにより良悪性鑑別への利用が期待できるが、これまでそのような研究は行われていない。そこで、本稿では、血管領域を細線化した図形を母点とした3次元ボロノイ分割を用いて肺葉の収縮の程度を定量化することを試みる。本手法をCT像23例に適用した。その結果、肺葉収縮と深い関連がある血管集束の程度と提案する特徴量との間に相関が見られた。これにより、提案する特徴量の有効性が示された。

1. はじめに 胸部X線CT像を用いた肺腫瘍の良悪性鑑別では腫瘍、およびその周辺の組織のさまざまな画像特徴が用いられる[1-3]。悪性腫瘍においては、しばしば集束という現象が見られ、これにより腫瘍周辺の血管や間質などが腫瘍に引き寄せられる。集束が見られない症例では血管は肺野全域に渡って、ほぼ一様に分布しているが、集束によって腫瘍周辺に多く分布するようになる。また、肺動脈はそれぞれ支配する領域(分岐回数によって異なるが、区域、あるいは亜区域など)を持っており、これは集束が起こった後でも変化しない。したがって、血管集束によって腫瘍周辺の血管が密に分布するようになるということと、腫瘍周辺の肺区域が収縮したこととほぼ等価であると考えられる。本研究では、CT像から抽出した血管を、その半径ごとに分類した連結成分を母点として3次元ボロノイ分割[4]を行った。得られたボロノイ領域の体積の腫瘍周辺、および肺野全体での平均値・分散から導かれる特徴量を計算した結果、血管集束の程度と相関がみられた。これにより、提案する特徴量が良悪性鑑別に有効であることが示された。

2. 提案する特徴量 本稿では血管の分布の偏りを定量化するために3次元ボロノイ分割を用いる。3次元ボロノイ分割とは、入力された2値画像にラベリングを施した後、背景の各画素にもっとも近い連結成分と

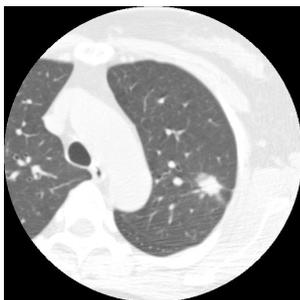


Fig.1 Example of CT images

同じラベルを与えるものである。なお、入力画像中の連結成分を母点と呼ぶ。母点が密に分布している部分では、疎に分布している部分よりボロノイ領域の体積が小さくなるという特徴を持っている。したがって、血管領域を母点としてボロノイ分割を行うと、密に分布している部分ではボロノイ領域が小さくなるのが予想される。以下、簡単に特徴量の計算方法を述べる。まず、CT像(Fig.1)から血管領域、肺野領域[2]、および腫瘍領域[3]を抽出する。次に、血管領域を細線化し、さらに得られた芯線上の各画素に血管領域の距離変換の値(血管の半径)を入れる。距離値の小数点以下を切り捨てることによって

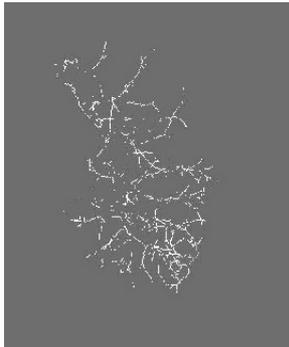


Fig.2 Center lines of vessels (r=1)

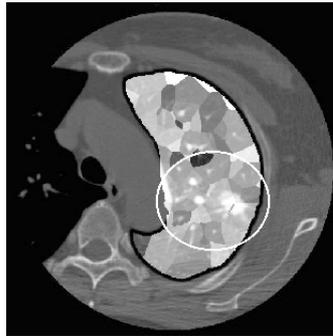


Fig.3 3D Voronoi region (r=1)

Table1 Detail of cases

		benign	malignant	total
degree of convergence	nil	6	5	11
	slight	0	4	4
	moderate	0	4	4
	intense	0	4	4
total		6	17	23

Table2 Specification of images

Pixel size[mm]	Reconstruction pitch[mm]	Slice size[pixels]	Number of slices
0.29~0.41	1	512×512	60~63

整数化し、血管の半径が $r(r=1,2,\dots,10)$ である連結成分を母点(Fig.2)として、肺野内、および腫瘍近傍で 3次元ポロノイ分割(Fig.3)を行う。得られたポロノイ領域の体積の肺野内での平均値 M_{Lr} 、分散 V_{Lr} 、および腫瘍近傍での平均値 M_{Tr} 、分散 V_{Tr} から $M = \max_{1 \leq r \leq 10} (M_{Lr} / M_{Tr})$ 、 $M' = \max_{1 \leq r \leq 10} (M_r / L)$ 、および $V = \max_{1 \leq r \leq 10} (V_{Lr} / V_{Tr})$ を計算する。ただし、 L は肺野の体積、添え字 r は血管の半径を示す。

3. 実験結果および考察 本手法を胸部 CT 像 23 例に適用した。症例の詳細を Table 1 に、CT 像の仕様を Table2 に示す。上記の 3 つの特徴量のうち、 M' と集束の程度との関係を Fig.4 に、 M' と良悪性の関係を Fig.5 示す。これらから、集束がある症例はない症例に比べ、また悪性症例は良性症例に比べ M' が高い値になる傾向があることが分かる。各特徴量に対して「集束がないと評価された症例の分布と、集束があると評価された症例の分布に差がない。」という帰無仮説 H_0 を設定し、分布間の有意差検定(Mann-Whitney 検定)を行った結果、いずれの特徴量でも帰無仮説 H_0 は有意水準 0.05 で棄却された。これにより、集束があると評価された症例では、ないと評価された症例に比べ、いずれの特徴量も高い値をとる傾向にあることが確認された。しかし、「良性症例の分布と、悪性症例の分布に差がない。」という帰無仮説 H_0 に対しては、いずれの特徴量でも帰無仮説 H_0 は有意水準 0.05 で保留された。

4. むすび 本文では、肺血管が支配する領域を 3次元ポロノイ分割を用いて求めることにより、肺葉の収縮の程度を定量化した。その結果、提案した特徴量と集束の程度の間に相関が見られた。

今後の課題として、ポロノイ領域と区域・亜区域との関係の調査、他の特徴量と組み合わせた場合の良悪性鑑別精度の確認などが挙げられる。

謝辞 日頃御討論頂く名古屋大学鳥脇研究室諸氏に感謝する。本研究の一部は、厚生労働省がん研究助成金、文部科学省科研費、および文部科学省私学 HRC 補助金によった。

参考文献

[1] 河田佳樹 他：“胸部 3次元 CT 像による肺野小型腫瘍の 3次元曲率を用いた内部構造の解析”，信学論(D-II)，J83-D-II，1，pp.209-218(2000.1)

[2] 平野靖 他：“胸部 CT 像における 3次元集中度に基づく肺血管・気管支の集束の定量化について”，医用画像工学研究会 JAMIT Frontier '96講演論文集，pp.71-76(1996.1)

[3] 平野靖 他：“胸部 X線 CT 像を用いた辺縁形状を保存する腫瘍影抽出法とその良悪性鑑別への応用”，信学技法，MI2000-98 (2001.1)

[4] 齋藤豊文 他：“3次元ユークリッド距離変換及び拡張ポロノイ分割のアルゴリズムと肝組織標本画像の解析”，画像電子学会誌，21，5，pp.468-474 (1992.10)

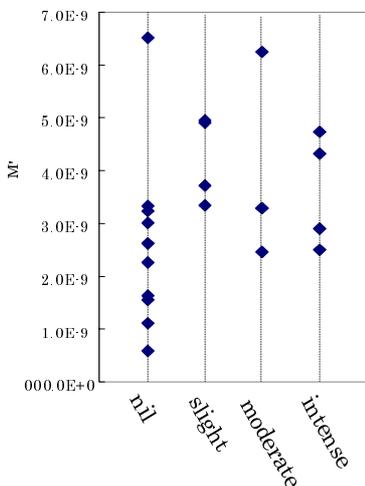


Fig.4 Relation of M' with the degree of convergence

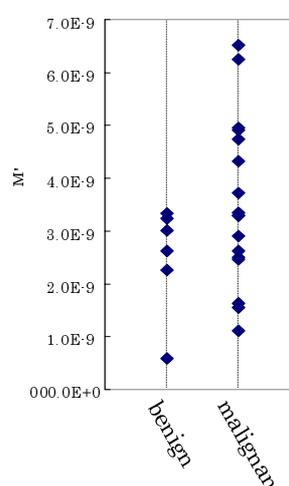


Fig.5 Relation of M' with the doctor's diagnosis