

血管の太さと断面形状に基づく胸部大動脈瘤の自動検出手法

堀越 健人[†] 花泉 弘[†] 石丸 新[‡]法政大学[†] 戸田中央総合病院[‡]

1. はじめに

これまで、大動脈の断面形状から瘤部を検出する手法[1-3]が開発されているが、それらの手法は、心拍や体軸方向の分解能の低さによるノイズの低減が不十分で十分な検出精度が得られなかった。また、能動学習を用いて瘤部を検出する手法[4]も開発されているが、この手法では能動学習を行う際に人手による処理が必要となる。こうした問題を解決するため、筆者らは大動脈血流領域の区分的円筒近似により一種の平滑化を実現して断面形状変化検出の精度を高め、それによって瘤部の検出精度を向上させた[5]。

ここでは、この手法を拡張して断面形状が円形を保ったまま肥大して太くなっている場合の瘤部検出を行うための手法を提案する。提案手法では、マルチスライス CT 画像から Successive Region Growing (SRG) [5]を用いて大動脈を抽出し、血流に対して垂直な（断面積が最小となる）断面を得る。このとき、得られた断面を近似する最小二乗円を求め、残差分散を計算する。また、その断面に内接する円の半径を血管の太さとし、この太さと残差分散との変化から瘤部を特定する。以下に、本手法の原理・処理手順、実際のデータに適用した結果を示す。

2. 原理と処理手順

2.1. 血管の太さと断面形状の計測

マルチスライス CT 画像は体軸方向に対して垂直に撮影されているため、体軸に平行な血管以外の正確な断面を得ることができない。大動脈の太さと断面形状を計測するには、血流に対して垂直な断面を得る必要がある。そこで、まず、SRG を用いて大動脈のみを抽出し、仮の芯線を得る。その芯線上の点を仮の中心として任意の角度で断面を再構成する。このとき、断面積が最小となる断面を血流に対して垂直な断面とする。また、得られた断面に内接する円の半径を大動脈の太さとする。内接する円は以下のよう

- Step 1. ラプラシアンフィルタを用いて、血管断面の輪郭を得る。
 Step 2. 得られた輪郭から最小二乗円を求め、その円の内側にある断面領域を抽出する。
 Step 3. ラプラシアンフィルタを用いて、抽出した領域の輪郭を得る。
 Step 4. Step 2, 3 を最小二乗円と抽出した領域が等しくなるまで繰り返す。

一般に、血管の断面は血圧の影響で円形に近くなる。また、大動脈瘤部では、断面が血餅の影響で潰れた形になっていることが多い。そこで、本手法では、断面形状を説明する特徴量として血管断面の輪郭と最小二乗円の残差分散を用いる。最小二乗円の中心を $P(x_0, y_0)$ 、半径を r 、血管断面の輪郭を構成するピクセルの数を n 、任意の輪郭の点を $Q(x_i, y_i)$ 、残差分散を V とすると、

$$V = \frac{\sum_i^n (d_i - r)^2}{n - p - 1}, \quad (1)$$

このとき、

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}, \quad (2)$$

である。

2.2. 胸部大動脈瘤の検出

得られた血管の太さ、残差分散から胸部大動脈瘤を検出する。まず、それぞれ血管の太さと残差分散とを横軸にしてヒストグラムを求め、それぞれのヒストグラムで最初の谷となる値を正常部と病変部の閾値とする。次に、値が最も高くなる点を求め、そこから左右に探索していき、閾値以下かつ傾きの符号が変化する点を胸部大動脈瘤領域の始点と終点とする。血管の太さ、残差分散を基に検出した領域をそれぞれ A_t 、 A_p とすると、最終的な胸部大動脈瘤領域 A は、

$$A = A_t \cup A_p, \quad (3)$$

として求める。

3. 実験と考察

実際に、 512×512 画素、200 枚のマルチスライス CT 画像に対して処理を行った。使用した画像

“An Automated Method for Detecting Thoracic Aortic Aneurysm Based on Aorta Thickness and Its Cross-Sectional Shape”

[†]Kento Horikoshi, [†]Hiroshi Hanaizumi and [‡]Shin Ishimaru

[†]Hosei University

[‡]Toda Chuo General Hospital

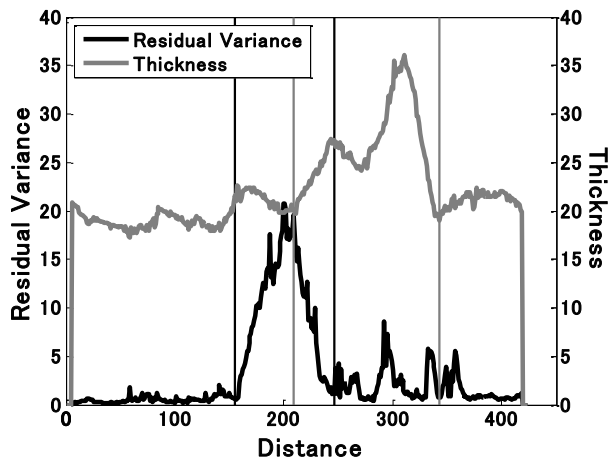


図 1. 血管の太さと残差分散

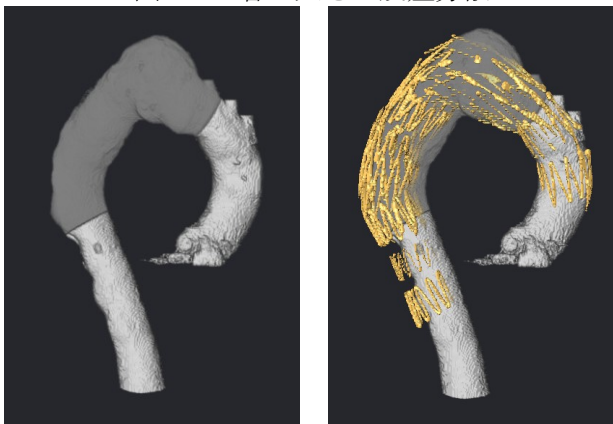


図 2. 検出結果

図 3. 医師による結果との比較

は、分解能セル形状が $0.68 \times 0.68 \times 1.25 \text{ mm}^3$ なので、形状を立方体に近づけるため、1枚の中間画像を内挿している。造影剤を使用した場合、血流領域のCT値は350H.U.前後となるので、CT値が200~500H.U.である領域を対象領域とした。SRGの認識開始領域は、最下層の対象領域から面積が広く、円形度の高い領域を抽出することにより求めた。仮の芯線の各点で断面積が最小となる断面を求めた際に、それらの重心を求め、つなぐことで大動脈の最終的な芯線を得た。血管の太さと残差分散のグラフを図1に示す。上側が血管の太さ、下側が残差分散を表す。横軸は芯線の最下層からの距離、縦軸は左が残差分散、右が内接する円の半径を示している。縦線は、本手法で検出した胸部大動脈瘤領域の始点と終点である。値が低い部分は正常な大動脈部、逆に高くなっている部分は大動脈瘤部を表している。太さ、残差分散ともに、それらを分離できていることがわかる。胸部大動脈瘤を検出した結果を図2に示す。濃度が低くなっている部分が瘤領域である。また、医師の診断に基づいて設計されたステントを、本手法により得た検出結果と重ねあわせて比較したところ(図3)、病変

部を過不足なく検出できていることがわかる。ステントは瘤部を挟んで両端でバネの力で固定する。その際、固定部長が20mm以上必要となるため、検出した瘤領域よりステントのほうが長くなっている。

血管の断面に内接する円の半径を用いることで、従来手法では検出できなかった、断面形状が円形に近いが肥大して太くなっている場合でも精度よく検出することができた。しかし、残差分散のグラフの300~350の間では、正常な大動脈瘤部であるにもかかわらず、値が高くなっている。この部分は、分岐している血管の影響で値が高くなっていることがわかった。

4. おわりに

本研究では、血管の太さと断面形状の変化から胸部大動脈瘤を検出する手法を提案した。従来手法では、断面形状が円形を保ったまま肥大して太くなっている場合は瘤部として検出できなかったが、提案手法ではこのような場合でも精度よく検出することができた。これにより、今後複数のデータセットにも対応できるようになると考えられる。複数データへの適用、医学的な有用性の確認、分岐血管の検出手法、ステント設計支援システムの開発などは今後の課題である。

5. 参考文献

- [1] H. Imamura, N. Sugimoto, S. Urayama, K. Ueno and K. Inoue, "Extraction and Quantitative Analysis of Aneurysmal Aorta for Aiding Endovascular Stent Grafting," IEICE Transactions D-II, Vol.J84-D-II, No.11, pp.2468-2476, Nov.2001.
- [2] K. Tokunaga and H. Hanaizumi, "Extraction of the thoracic aorta territory and aneurysm from CT images," SICE 2004 Annual Conference, Vol.3, pp.2188-2192, Aug.2004.
- [3] J. Dehmeshki, H. Amin, M. Ebadian-Dehkordi, A. Jouannic, S. Qanadli, "Computer Aided Detection and Measurement of Abdominal Aortic Aneurysm using Computed Tomography Digital images," Digital Society, 2009. ICDS '09. Third International Conference on, pp.339-342, Feb.2009.
- [4] J. Maiora and M. Grana, "Abdominal CTA Image Analysis Through Active Learning and Decision Random Forests: Application to AAA Segmentation," Neural Networks (IJCNN), The 2012 International Joint Conference, pp.1-7, June.2012.
- [5] K. Horikoshi, H. Hanaizumi and S. Ishimaru, "An Automated Recognition Technique for Aorta Aneurysm Using Thoracic Multi-Slice CT Images," ISITA 2014 International Symposium, pp.65-69, Oct.2014.