

超音波エコー画像による頸動脈プラーク陰影の安定性の検討

Consideration on Stability of the Carotid Plaque in Ultrasonic Echo Image

笠原 新人 大木 誠
Arato Kasahara Makoto Ohki

1. はじめに

近年、食生活の欧米化に伴い、頸動脈狭窄症を引き起こす人の増加が報告されている。頸動脈狭窄症は、内膜と中膜で構成されている内膜中膜複合体(IMC)の厚さであるIMTが増大することで引き起こされる。また、頸動脈狭窄症の中では、プラークを生じ、その安定性が低いと頸動脈から剥がれ落ち、脳の血管に詰まり、脳梗塞を引き起こすケースが報告されている。医師は超音波エコーを用いて頸動脈プラークを観測し、目視によりプラークの安定性等を診断する。頸動脈プラークに関する治療としては、プラークの安定性が低い場合に対処薬を処方する。

頸動脈プラークの安定性は、一般に、頸動脈を撮影したエコー画像中のプラークの輝度が低いと安定性が低く、逆に輝度値が高いと安定性が高いと考えられる。一方、プラークの表面が石灰化しているような場合は、その部分が高輝度で観測され、必ずしもプラーク全体が安定しているとは言えない場合もある。このように頸動脈プラークの安定性判別は、専門的な経験と知識に基づいて行われるが、検者によって診断に違いが生じることも否めない。そこで本研究では、超音波エコー画像中の頸動脈プラークを検出し、プラーク部の統計的性質や形状に基づいた安定性判別の手法を検討する。

2. 頸動脈プラークの安定性の評価基準

(1) プラーク輝度に関する分類

プラークの安定性の評価基準の一つとしてプラーク輝度が挙げられる。プラーク内部のエコー輝度より3分類できる。また、プラークの輝度を評価する際に比較対象が必要とされており、一般的に、内膜中膜複合体の輝度が使用されている。プラーク輝度の分類は、音響陰影を伴う石灰化病変を含む calcified、比較対象に比べ低輝度エコー領域を含む low echo、石灰化病変や、低エコー輝度領域を認めず、対象構造物とほぼ同程度エコー輝度を示す iso echoic の3つに分類される。

(2) プラークの均一性に関する分類

内部エコーの均一性により2分類できる。プラークの内部エコーの輝度が均一である場合と、エコー輝度が斑点状に分布する不均一な場合に分類される。後者の場合、斑点状の黒色部分が大きい場合、不安定なプラークとして判定される傾向にある。

3. 頸動脈プラークの抽出

頸動脈プラークを統計処理するには、プラーク領域を

† 鳥取大学大学院工学研究科エレクトロニクス専攻演算制御工学研究室

正確に抽出する必要がある。はじめに、図1に示すように、頸動脈プラークの中心辺りに中心点を指定し、頸動脈プラークを囲むように雑駁に多角形領域として指定する。この多角形周を等分割し、中心点から分割点に向かって直線を定義する。図2に、直線上の輝度値、図3に輝度値の差分をそれぞれ示す。差分は次式により求める。

$$D_i = -\sum_{k=1}^n (A_{i+k}) + \sum_{k=1}^n (A_{i-k}) \quad (n=2,3,4,\dots) \quad (1)$$

ここで、 D は輝度値の差分、 A は輝度値、 i は注目画素の直線上のインデックスを示している。

この差分の最大値を与える座標をプラーク境界として仮定する。各境界座標をつなぎ合わせることで頸動脈プラークの境界を検出することができる。

検出された境界線はエコー画像のノイズや異物の影響を受け、誤った境界として検出されることがある。誤った境界線は図4に示すようにして修正する。誤った境界線は、半径方向に極端に短くなっていることから、次式に示すような条件を用いて検出する。

$$\forall i \in (\alpha, \beta), r_\alpha - r_i < \delta \wedge |r_\alpha - r_\beta| < \varepsilon \quad (2)$$

r は中心から境界線までの距離、 i は誤境界画素のインデックス、 δ は谷を意味する閾値を示し、 ε は谷の終わりを検出するための閾値をそれぞれ示す。本研究では、 $\delta=50$ 、 $\varepsilon=5$ とした。誤境界座標を以下の式を用いて修正する。

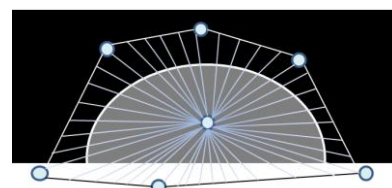


図1 中心点を定め、多角形で囲み、多角形を等分割し中心点から等分割点までに直線を定義する。

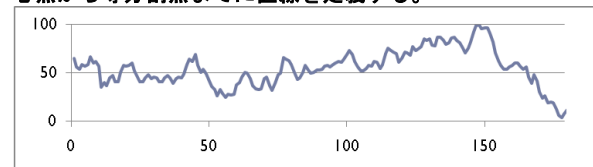


図2 直線上の輝度値

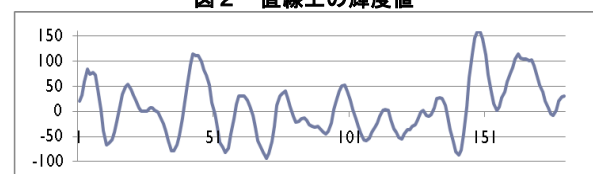


図3 直線上の輝度値の差分

$$\hat{x}_i = \frac{|x_\beta - x_i|}{|x_\beta - x_\alpha|} x_\alpha + \frac{|x_\alpha - x_i|}{|x_\beta - x_\alpha|} x_\beta \quad (3)$$

y座標についても同様に修正する。

このような処理によりプラーク部を抽出した例を図5に示す。図中、黄色線で示した部分が修正後の抽出結果を示す。

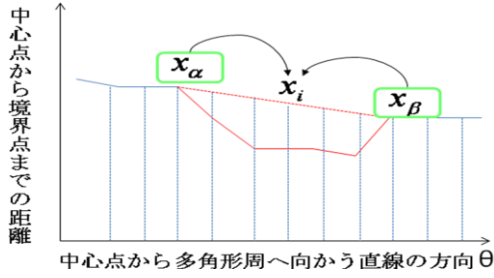


図4 境界線補正処理の概要

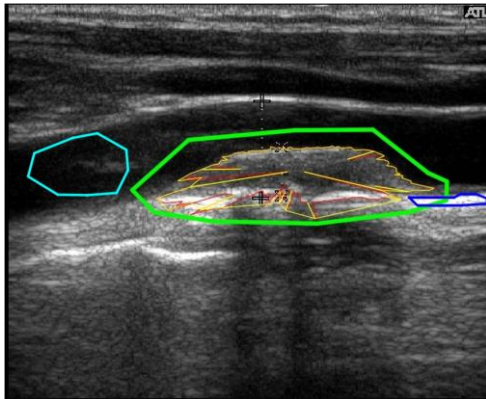


図5 プラークの抽出例と血液部および外膜部の多角形領域による指定例

4. プラークの安定性判定

以下に示すように、プラーク領域内の画素値を規格化した後、領域内の画素値に関する統計量および、プラーク形状に基づき、3層型BPニューラルネットワークを用いて、判定性を判定する。

4.1 エコー輝度の規格化

超音波エコー画像は、図5にも示したように画像が粗く、また時間とともに大きく揺らぐ。医師は目視により、プラーク領域の輝度値を修正して読み取っていると考えられる。頸動脈エコー画像中における低輝度を有する領域は血液部であり、高輝度を有する部分は外膜部である。そこで本研究では、プラーク領域の輝度値を以下のように規格化する。規格化に際しては、次式に示すように、輝度値の最小値を血液領域から取得し、最大値を外膜領域から取得する。

$$I_{low} = f_{low}(\mathbf{I}_B) \quad (4)$$

$$I_{high} = f_{high}(\mathbf{I}_C) \quad (5)$$

ここで、 \mathbf{I}_B は血液領域を、 \mathbf{I}_C は血管外膜領域をそれぞれ多角形領域によって指定した画素集合を示す(図5参

照)。

プラークのエコー輝度を次式のように規格化する。

$$I_P(x, y) = \frac{I_{max}}{I_{high} - I_{low}} (I_P(x, y) - I_{low}) \quad (6)$$

ここで、 I_P は規格化したプラーク部のエコー輝度値を示し、 I_{max} は輝度値の最大値を示す。

4.2 頸動脈プラークの統計量

本研究では、頸動脈プラークの輝度値の偏りや分散などの統計量に基づいて、プラークの安定性を判定する。本研究では、以下に示すようなキュムラントを用いる。

3次キュムラント κ_3 は、頸動脈プラークの画素値の分布の非対称性を示す。また4次キュムラントは、頸動脈プラークの画素値の尖度を示す。

$$\kappa_3 = M_3 - 3M_2M_1 + 2M_1^3 \quad (7)$$

$$\kappa_4 = M_4 - 4M_3M_1 + 3M_2^2 + 12M_2M_1^2 - 6M_1^4 \quad (8)$$

ここで、

$$M_k = E[x^k] = \int_{-\infty}^{\infty} x^k p(x) dx \quad (9)$$

$$G(\xi) = E[e^{x\xi}] \quad (10)$$

4.3 プラークの形状

表面形態で平滑、不規則、明らかな陥凹の3種類に分類することができる。医師は、頸動脈プラークの形状によっても安定性を判別している。そこで、多角形領域として抽出されたプラーク領域の形状を、図6に示すようにして獲得する。多角形領域の境界線のうち、血液と接している境界線に関して、隣り合う辺のなす角のcosine系列によってプラークの形状を表現する。

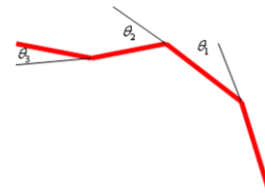


図6 頸動脈プラークの表面形態と角度の関係

5. おわりに

本研究では、頸動脈の超音波エコー画像におけるプラークを抽出し、その安定性を判定する手法について検討した。安定性の判定は、規格化したプラーク領域の統計量およびプラーク領域の形状に基づいて行った。

文献

- [1] 脳卒中治療ガイドライン, (2009).
- [2] 中島 豊, "日本人の冠粥状硬化症の危険因子循環器専門医," 日本循環器学会専門医誌, vol. 11, no.2, pp.235-240, (2003).
- [3] 日本脳神経超音波学会・栓子検出と治療学会合同ガイドライン作成委員会, "頸部血管超音波検査ガイドライン vol.19, no. 2, pp.49-69, (2006).
- [4] 尾崎俊也 頸動脈エコーの実際 血栓止血誌 vol19, no1pp.35-38, (2008).