

3D-CTA画像からの冠動脈石灰化領域の自動抽出とその評価

山形大学大学院 理工学研究科
吉田 祐希 先生

【研究背景】

冠動脈造影CT (CCTA: Coronary Computed Tomographic Angiography) は、循環器疾患診断のゴールドスタンダードである侵襲的冠動脈造影検査CAG (CAG: Coronary Angiography)に匹敵する診断能力を有するとともに、血管以外の石灰化および非石灰プラークの三次元情報取得可能、という優位性を有している。このことに加え、CAGよりも低侵襲な検査のため、心身の負担が少ないというメリットも存在する。しかし、重度の石灰化プラークが血管壁を覆うように付着している場合、石灰化プラークの主成分であるカルシウムが発生するBlooming Artifactと称する高輝度陰影が原因となり、石灰化プラーク近傍の血管が評価不可能な症例も多数存在するため、診断確定にはCAG、核医学、MRI等の追加検査を行わなければならない場合がある。

【目的】

本研究では、CCTAにおいて狭窄病変の読影の妨げとなる石灰化プラークを、可能な限り人の手を介さずに自動的に・客観的に精度高く抽出するための手法を提案する。

【使用画像】

CCTA画像は320列MSCT Aquilion ONE (東芝メディカル;管電圧120kVp, 管電流520~580mA)で撮影された。スライス枚数は480~640枚である。提案手法の検証のためにCAGの際に撮影を行ったOCT (Optical Coherence Tomography)画像を用いる。OCT画像はTerumoのOFDI (Optical Frequency Domain Imaging)カテーテルにて撮影

された。

【提案手法】

今回、CCTA画像から冠動脈、石灰化プラークと順に抽出し、最後に狭窄率を計測する。冠動脈抽出は、高輝度部位除去、低輝度部位除去、線強調、血管抽出の4つの処理で構成される。まず、CCTA画像内には骨などの高輝度領域が存在するが、石灰化プラーク領域と同程度の輝度を有する。石灰化プラークの高精度抽出のために、高輝度領域を除去する。石灰化プラークを誤って除去することを防ぐために、Region Growing法により連結されている高輝度領域の除去を行う。次に、低輝度部位除去を行う。CCTA画像内には肺や脂肪領域といったCT値0以下の情報が含まれている。注目している造影血管はCT値0以上であり0以下の情報は不要であるため、CT値0以下を除去する。さらに、得られた画像に線強調処理を行う。3次元画像情報のヘッセ行列を用いて、注目するオブジェクトが線状、面状、塊状のどの形状を呈するかを確認し、線状構造だけを強調するフィルタを適用する。高輝度部位除去の際に残ってしまった部位を強調することを防止するため、主要血管の直径に相当する太さの線だけを強調した。線強調処理の出力画像にRegion Growing法を適用し、冠動脈領域を抽出する。

石灰化プラーク抽出は、石灰化プラーク境界強調、全体強調、集中度計測、閾値処理の4つから成る。まず、境界強調を行う。CCTA画像では石灰化プラークと造影血管との境界が明瞭ではない (Fig.1(a))。そこで、3次元マスク

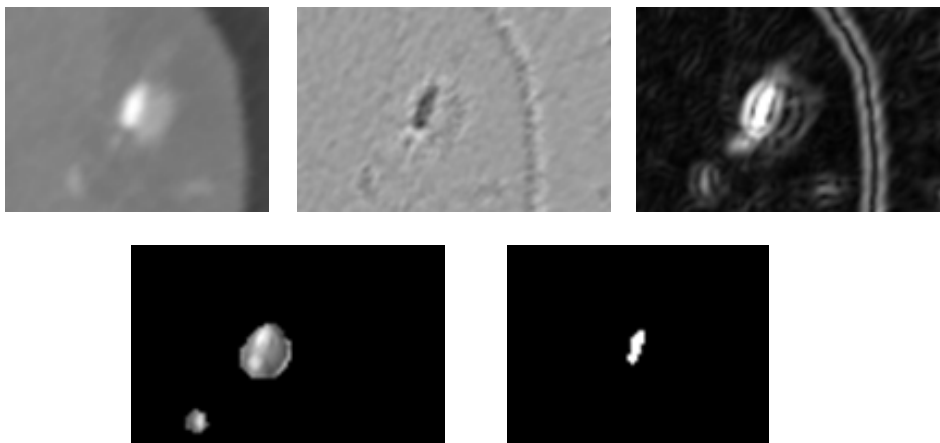


Fig.1 石灰化プラーク抽出

を用いたラプラシアン処理を行う。境界領域で輝度が凸状になるため境界を識別しやすくなる (Fig.1(b)). 次に、石灰化プラーク全体を強調させる。ガウシアンに基づくフィルタ処理で石灰化プラーク全体を強調させる。このフィルタでは石灰化プラークを強調させると共に、周囲の造影血管をぼかすことができる (Fig.1(c)). 石灰化プラークは、中心ほど輝度が高いという特徴を持つ。すなわち、石灰化プラークの中央領域では勾配ベクトルが集中する。適応リングフィルタによって勾配ベクトルの集中度を計測する (Fig.1(d)). 最後に、境界強調のデータと集中度の数値から閾値処理で石灰化プラークを抽出する (Fig.1(e)).

抽出した冠動脈、石灰化プラークを用いて狭窄率の計測を行う。狭窄率計測は差分処理、血管断面取得、血管輪郭への楕円適合処理、狭窄率計測から構成される。まず、冠動脈から石灰化プラークを差分処理で除去する。次に血管の走行方向に垂直な面の画像を取得する。注目している部位の血管の重心を確認し、重心でのヘッセ行列の固有ベクトルを計測する。固有ベクトルが水平面と垂直になるように画像全体を剛体変換させた後に、血管の輪郭に最も適合した楕円を作成する。この楕円の内部を血管領域とみなす。最後に、実際の血管断面積 S_v と適合楕円内面積 S_r を求め、狭窄率を式(1)で計測する。ここで、石灰化プラークの影響を避けるために、血管断面積 S_v には適合楕円外の領域は含めなかった。

$$\text{angio stenosis} = \left(1 - \frac{S_r}{S_v}\right) \times 100 \quad (1)$$

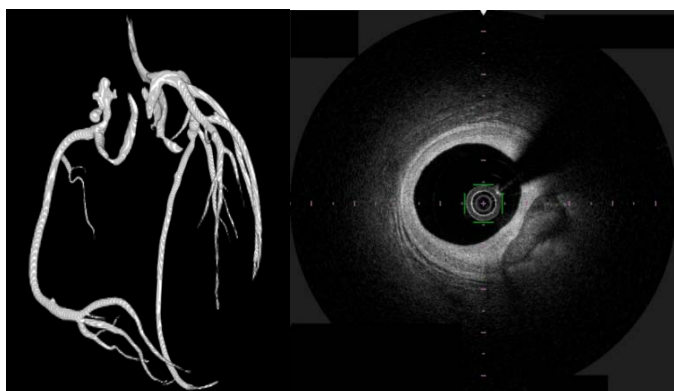


Fig.2 冠動脈抽出

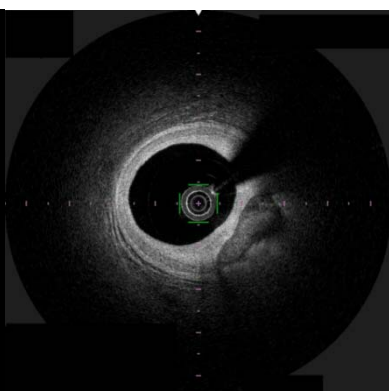


Fig.3 OCT画像

【結果】

提案手法により、抽出された冠動脈に石灰化プラークを重畳した結果をFig.2に示す。CCTA画像とOCT画像において比較的対応付けの容易であった石灰化プラーク5つに関して、提案手法により抽出された石灰化プラーク領域の体積と、OCT画像 (Fig.3)から目視で抽出した石灰化プラークの体積を比較した結果をFig.4に示す。比較した際の相関係数は0.99であった。

【考察とまとめ】

Fig.2より、冠動脈抽出は主要部位である右冠動脈、左冠動脈主幹、左前下行枝、左回旋枝と良好に抽出された。しかし、症例によっては先端が抽出されないもの、連結した静脈まで過抽出してしまうものが存在した。前者は、非石灰化プラークによる狭窄領域が線強調されずに途切れてしまったこと、後者は、連結する静脈が線強調されてしまい、血管抽出の際に冠動脈との識別が困難になってしまったこと、の二点が原因と考えられる。これらを改善するため、線強調処理で強調する線の太さを再検討する必要がある。また、線強調処理までの段階で冠動脈と連結する静脈を識別する処理を考案する必要がある。提案手法により抽出された石灰化プラークは、OCT画像で確認された体積よりも全体的に小さかった。しかし、両者の比には高い相関があった。また、造影血管と石灰化プラークの輝度が300前後の場合には石灰化プラークの取りこぼしがあったため、閾値処理の再検討をする必要がある。

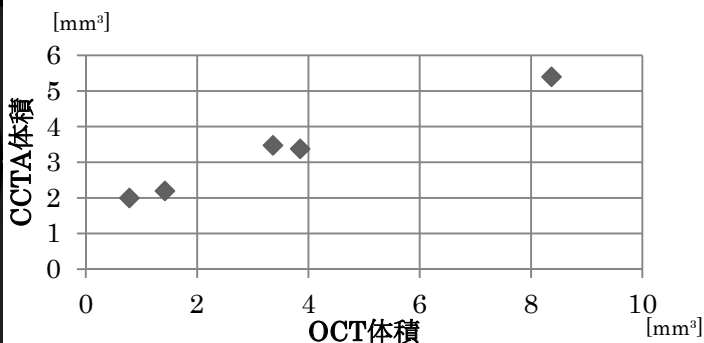


Fig. 4 CCTA体積とOCT体積との比較