

大規模脳 MRA 画像を用いた未破裂動脈瘤検出技術の高度化と その実用化システムの開発

Improvement of computerized method for detection of unruptured aneurysms in MRA
images using large image database and development of prototype for practical use

1091003



研究代表者

岐阜大学大学院 医学系研究科 准教授

内 山 良 一

〔研究の目的〕

1日に数百枚の読影を行う環境では、時として疲労による見落としが起こる。そこで、コンピュータを用いて異常陰影を自動的に検出し、その場所を“第二の意見”として医師に提示することによって診断の正確度を高めることを目的としたコンピュータ支援診断（Computer-Aided Diagnosis, 以下、CAD）に関する研究開発が行われている。これまでは、おもに胸部、乳腺、大腸のCADに関する研究開発が活発に行われ、CADソフトウェア企業も登場した。CADの概念は、他の臓器の疾患に対しても応用可能であり、近年、脳を対象としたCADが注目されている。

胸部、乳腺、大腸のCADがスクリーニングにおける病巣の検出支援を目的に研究開発が行われ実用化が進んできたことから、脳の病気のスクリーニングへの応用が最初のステップとの考えが自然であろう。本邦では、脳の病気を早期に発見し対処することを目的とした脳ドックが行われてきたことから、まず、脳ドックにおけるCADに着目した。

脳ドックの第一の目的は未破裂動脈瘤の発見である。未破裂動脈瘤の破裂は、くも膜下出血の主な原因であるため、破裂する前に発見することが重要である。しかし、MRA画像の読影に使用されている最大値投影表示（Maximum

Intensity Projection, MIP）では、隣接した血管と重なって表示されるため、未破裂動脈瘤の検出がしばしば困難な場合がある。本研究の目的は、MRA画像から未破裂動脈瘤を自動検出する手法を開発すること、その手法を用いて未破裂動脈瘤検出支援のためのCADシステムを構築することである。

〔研究の内容、成果〕

1. 画像データベースの構築

本研究で使用した実験試料は、岐阜大学医学部附属病院の1.5TのMR装置（Signa Excite Twin Speed, GE Medical Systems）を用いて撮影された31症例のMRA画像、岐阜県立下呂温泉病院の1.5TのMR装置（Symphony, SIEMENS）を用いて撮影された475症例のMRA画像、および木沢記念病院の1.5TのMR装置（Signa Excite Twin Speed, GE Medical Systems）で撮影された370症例のMRA画像からなる合計876症例の大規模データベースである。これらのMRA画像は正常症例と未破裂動脈瘤を含む異常症例が含まれている。すべての未破裂動脈瘤の位置は2名の神経放射線科医によって決定した。

収集したMRA画像は病院間で撮影のための仕様が異なるため、すべてのMRA画像を線形補間法によって3次元の等方性のボリューム

ムデータに変換した。ボリュームデータは $400 \times 400 \times 200$ ボクセル、ピクセルサイズを 0.5 mm とした。

2. 動脈領域の抽出手法の高度化

2.1 濃度階調変換による画素値の補正

MRA 画像の画素値は症例ごとに異なる。そこで、濃度階調変換処理を適用することによって画素値を 0 から 1024 になるように補正した。まず、3 次元 MRA 画像から画素値の濃度ヒストグラムを作成し、画素値の高い方から上位 0.1% の面積になる画素値を求め、この画素値以上の値を持つボクセルをすべて 1024 に変換した。つぎに、残りのすべてのボクセル値を最小値 0 から最大値 1023 になるように線形濃度階調変換を行った。濃度階調変換処理を加えることによって、動脈領域とそれ以外の領域の分離が良くなり、以降の動脈の抽出処理を適用しやすくなる効果がある。

2.2 SSDA 法による位置の補正

本研究で使用した画像データは、3 つの施設で撮影されたため、施設の違いにより脳の表示位置が異なる。具体的には、画像の中心に脳の位置を合わせたもの、画像の左上が基準になるように脳の表示位置を合わせたものである。各人の動脈の解剖学的位置は、ほぼ同じであるため、動脈領域の抽出に解剖学的位置情報を利用することは有用である。しかし、位置情報を利用するためには共通の座標軸で表現できるように位置情報を補正しなければならない。3 次元的に位置情報を補正した場合には多くの計算時間がかかるため、本研究では XY 方向についてのみ位置の補正を行った。Z 方向の補正を行えば Z 方向の情報を使用できるため、動脈領域を正確に抽出しながら、さらに多くの偽陽性を削除することが可能である。しかし、実用化の観点からは、前処理である動脈領域の抽出に多くの処理時間をかけることは好ましくないため、ここでは精度を下げて処理時間を優先した。位置の補正は、参照画像と処理対象画像の

動脈領域をマッチングすることにより平行移動量を求める手法を用いた。

画像データベースから動脈が認識しやすい標準的な症例を参照画像として 1 症例選択し、XY 方向の MIP 画像を作成した。つぎに、2 次元 MIP 画像の動脈領域を手動で抽出して 2 値化を行い、動脈領域を取り囲む矩形領域からなるテンプレート 2 値化画像を作成した。処理対象画像は前節で述べた濃度階調変換により単純な閾値処理で大きな動脈領域を抽出することが可能である。処理対象画像の動脈領域を閾値処理で抽出したのち、処理対象画像の動脈領域と参照画像のテンプレート画像が重なる領域を計測することによって処理対象画像の動脈領域の位置を特定し平行移動量を求めて位置の補正を行った。本研究では探索時間を短縮するために SSDA 法を用いた。

2.3 動脈領域の抽出

太い動脈は血流量が多いために高いボクセル値を持っている。そこで閾値 700 以上のボクセル値を持つ領域を閾値処理により抽出し太い動脈領域とした。しかし、血流量の少ない細かい動脈領域は低いボクセル値であるため、細かい動脈領域を抽出するために低い閾値を適用した場合には多くの偽陽性領域も同時に抽出させる問題が起こる。細かい動脈領域は先に抽出した太い動脈領域と血管によって結合した領域であることから、領域拡張法を用いて太い血管領域を拡張することにより細かい動脈領域が抽出できると考えた。そこで、閾値処理で抽出した太い動脈領域をシード点とし、各シード点の 26 近傍のボクセル値を調べ、そのボクセル値が 350 以上である場合にそのボクセルを動脈領域として新たに追加する処理を領域拡張が終了するまで繰返し行った。この処理により太い動脈領域から細い動脈領域に抽出領域を拡張することが可能である。

2.4 偽陽性領域の削除

上記の処理で多くの動脈領域を抽出することが可能である。しかし、抽出した領域には偽陽

性領域が含まれる。そこで、抽出した各領域から体積と位置に関する特徴量をそれぞれ計測し、それらを用いたルールベース法によって偽陽性領域を削除した。体積は候補領域のボクセル数として与えた。偽陽性領域の一部は、動脈領域と比較して、明らかに小さいものがあるため、体積の情報を用いることによって、これらの偽陽性領域を削除することができる。また、位置情報は、候補領域の2値画像の重心のX、Y座標として与えた。前節で述べた位置の補正を行った位置情報は、共通の座標軸で表現できているため、ここで求めた位置情報は解剖学的な場所と一致している。抽出すべき動脈領域は画像の中心に存在しているため、求めた候補領域の重心座標が脳の周辺部に位置する場合には、偽陽性領域として削除することができる。

3. 未破裂動脈瘤検出手法の高度化

3.1 初期候補領域の決定

未破裂動脈瘤を強調するために、抽出した動脈領域に対してベクトル集中度（Gradient Concentration, GC）フィルタを加えた。GCフィルタとは、画素値の濃度勾配の集中の度合いを計測するものであり、未破裂動脈瘤のように形状が球形のものに対して大きな値を出力する。正常な血管は形状が円筒形に近いので、GCフィルタの出力値は球形状である未破裂動脈瘤の領域と比較して小さい。そこで、GCフィルタの出力値が決められた閾値以上の領域を抽出することによって、未破裂動脈瘤の可能性の高い初期候補領域を検出した。

3.2 画像特徴量の計測

上述した手法を適用することによって未破裂動脈瘤を検出することができる。しかし、これらの初期候補領域には、正常な血管の一部も含まれる。そこで、これらの偽陽性を削除するために、それぞれの候補領域から4つの画像特徴量を計測した。これらの画像特徴量は、体積、球形度、候補領域内のGCフィルタ出力値の平均値、および候補領域内のGCフィルタ出力値

の最大値である。いくつかの偽陽性の体積は、動脈瘤の体積よりも、より小さいか、またはより大きいため、体積を特徴量として用いることによって偽陽性を除去できる。また、いくつかの偽陽性の形状は、線状、または動脈瘤と比べて歪であるため、球形度を用いることによってこれらの偽陽性を削除できる。また、体積が小さくGCフィルタの出力値が小さい偽陽性が含まれているため、特徴量を組み合わせた情報を用いることによって、これらの偽陽性を削除することもできる。

3.3 偽陽性の削除

初期候補領域から偽陽性を削除するために、まず、ルールベース法を適用した。各特徴量における最大値と最小値を経験的に決定したのち、初期候補領域から計測した画像特徴量が決められた最大値と最小値の範囲内にある場合には、未破裂動脈瘤の候補とし、範囲外にある場合には偽陽性として削除した。ルールベース法では、はずれ点（Outlier）を効果的に削除するため、この処理により明らかな偽陽性が除去される。

つぎに、画像特徴量を入力した2次識別器を適用した。2次識別器は特徴量空間を2つのクラス、すなわち未破裂動脈瘤クラスと偽陽性クラスに分割する識別境界を生成する。2次識別器の出力値は、未破裂動脈瘤の可能性を示すため、その出力値を閾値処理することによって最終的な未破裂動脈瘤の候補を決定することができる。

4. 本研究の成果

(1) 脳MRA画像における動脈領域抽出の手法を高度化した。大規模データベースを用いた評価では、98.1%の症例で正確に動脈領域が抽出できることを示した。

(2) 動脈領域の抽出手法を改良することができたため、未破裂動脈瘤と正常な血管の形状に関する特徴を計測する精度が向上した。実験の結果、未破裂動脈瘤の検出率が100%のとき、1症例当たりの偽陽性数1.54個（従来手法で

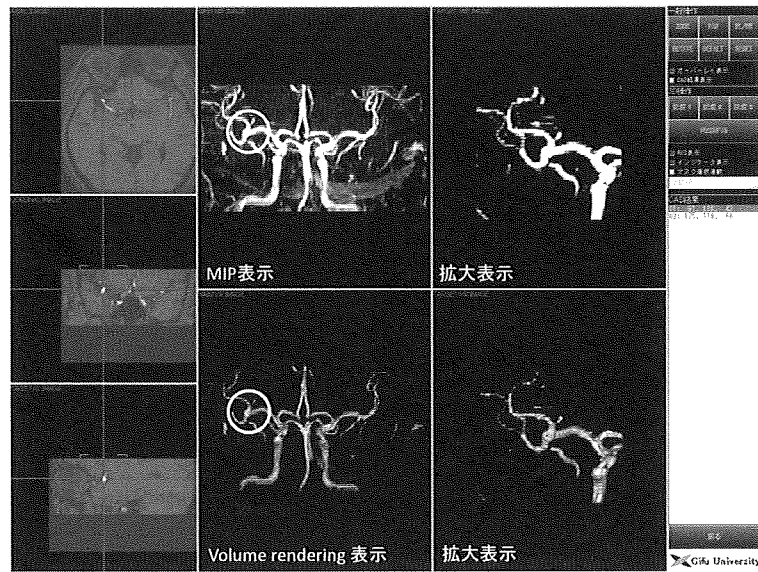


図1 未破裂動脈瘤の検出支援システム

は2.12 個)を実現することができた。

(3) 図1は、本研究で開発した未破裂動脈瘤検出支援システムである。上段に脳MRA画像のMIP表示を、下段にボリュームレンダリングによる表示を出力することができる。未破裂動脈瘤の候補領域を自動的に検出することができ、その候補領域をクリックすることによって、右側のウィンドウに拡大画像を出力することができる。医師は、コンピュータの出力結果を参考にして最終判断を下すことができるため、見落しを防ぐ効果が期待できる。

[今後の研究の方向、課題]

(1) 未破裂動脈瘤を含んだ症例を多く収集し、画像データベースの内容を充実させる必要がある。この画像データベースを用いて未破裂動脈瘤の検出手法を評価し、改良を加えることによってシステムの検出性能を高める必要がある。(2) また、開発した未破裂動脈瘤の検出支援システムを使用した場合に、診断の正確度が向上するかを調べるための読影実験を行い、その効果を検証する必要がある。

[成果の発表、論文等]

- [1] Y. Uchiyama, T. Asano, T. Hara, H. Fujita, Y. Kinosada, T. Asano, H. Kato, M. Kanematsu, H. Hoshi, T. Iwama: Performance evaluation of an automatic segmentation method of cerebral arteries in MRA images by use of large image database, SPIE Medical Imaging: Computer-aided diagnosis, vol. 7260, pp. 72602 J-1 ~ 72602 J-7 (2009)
- [2] 浅野龍紀, 内山良一, 浅野隆彦, 加藤博基, 原武史, 周向榮, 岩間亨, 星博昭, 紀ノ定保臣, 藤田広志: MRA 画像における脳動脈領域の抽出法—大規模データベースを用いた評価—, 医用画像情報学会雑誌, 27 (3), pp. 55-60 (2010)
- [3] 浅野龍紀, 内山良一, 横山龍二郎, 原武史, 藤田広志, 岩間亨, 星博昭: 大規模データベースを用いた MRA 画像における脳血管領域の検出法の開発と評価, 電子情報通信学会技術報告, 109 (65), MI 2009-25, pp. 135-139 (2009)
- [4] Y. Uchiyama, T. Hara, H. Fujita, T. Iwama, H. Hoshi, Y. Kinosada: Computer-aided diagnosis scheme for detection of intracranial unruptured aneurysms in MR angiography, 13th Asian Oceanian Congress of Radiology (AOCR), Taipei, p. 481 (2010) (The Best Paper Award を受賞)