

| | | | |
|---------|------------------------|----|---------|
| 氏名 | 山本晃義 | | |
| 学位の種類 | 博士(工学) | | |
| 学位記番号 | 工博甲第335号 | | |
| 学位授与の日付 | 平成24年 9月30日 | | |
| 学位授与の条件 | 学位規則第4条第1項該当 | | |
| 学位論文題目 | 下肢非造影MRAの画像診断支援法に関する研究 | | |
| 論文審査委員 | 主査 | 教授 | 金 亨 燮 |
| | | ” | 前 田 博 |
| | | ” | 田 川 善 彦 |
| | | ” | 石 川 聖 二 |

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

近年の医療分野において、がんや脳血管障害、心疾患といった血管疾患である3大疾病に対する早期発見、早期治療を目的として、単純X線、CT、MRI、超音波検査といった臨床検査が幅広く行われるようになり、画像診断に対する期待は高まるばかりである。このような背景の中、目覚ましい発展を続ける診断装置から発生する画像の枚数やその他の情報量は膨大なものとなり、一方で診断ミスの防止や読影医の負担軽減に向けた取り組みが急務となっている。また、患者負担の軽減や増え続ける医療費削減に向けた取り組みも必要不可欠となっている。そこで本研究では、MRI装置を用いて生体内の血液の動きを画像化することにより、高価で危険性の高い造影剤を用いることなく、血管検査を簡便に行うことができる非造影MRAに着目し、非造影MRA画像に対する血管診断支援を目的としたCAD(Computer Aided Diagnosis or Detection)システムの開発を行う。目標とするCADシステムは主に、下肢動脈血管の血管抽出技術と血行動態解析技術である。

下肢動脈血管に対してFBI法より得られた画像への画像解析について以下の三つの課題を取り上げ、その解析方法について述べる。

- ① FBI法を用いた動脈静脈血管の分離手法
- ② 血管外に発生した背景領域を除去するための血管抽出手法
- ③ 血流によるFBI画像の信号変化を利用した血行動態解析

本論文は、以下に示す全七章から構成されている。

第一章では本論文の序論として、医療分野におけるCADの役割や関連研究、また本研究を遂行するに至った研究背景、および研究目的を述べた。

第二章では、FBI法による下肢血管動静脈分離の手法について述べた。本章では、解析の原画像となる非造影MRAの撮像手法に着目し、MRI検査による血管抽出のための最も基本となる撮像技術の解説と新しい下肢非造影MRAの撮像手法を紹介すると共に、流体に

における MRI 信号情報の特異性について言及した。また、非造影 MRA の描出能を検証するため、CTA との視覚的な描出能を比較して FBI 画像の有用性を確認した。

第三章では、コンピュータ診断支援を目的に、FBI 法で撮像された非造影 MRA 画像を入力画像として与え、下肢領域の動脈を領域拡張法により自動抽出し、動脈血管抽出から画像表示までを、全て自動で行うための血管領域の抽出法について述べた。提案手法では、領域拡張法による領域抽出の際、領域拡張法に木構造アルゴリズムの導入や **Selective Enhancement Filter** を適用することによる血管抽出能向上に向けた取り組みを行った。血管に連続性がある症例では血管抽出精度は高かったが、本手法で用いた領域拡張法は、濃度情報を利用し、血管の連続性を考慮した抽出アルゴリズムであるため、不連続な血管に対する拡張処理は困難であることを確認した。

第四章では、第三章での血管抽出が困難であった症例に対応するための改善策として、領域拡張法をさらに発展させた血管抽出システムについて述べた。血管閉塞が発生した場合、表示される血管に不連続な領域が発生した原因として、濃度情報から領域拡張法を行う手法では、濃度領域が途絶した閉塞領域以降の血管は抽出が困難であると判断した。そこで、パーティクルフィルタを適用することにより、画像間での不連続性にも対応可能な血管領域の抽出を試みた。さらに、円筒モデルを適用することにより、濃度値の低い血管や末梢血管に対する抽出精度の改善も試みた結果、抽出精度の改善を確認できた。

第五章では、血液の流れを解析するため、異なる心時相で撮像した FBI 画像を用いた血行動態解析システムの開発について述べた。心時相を変化させて FBI 法で撮像した画像に対し、逐次差分を行うことにより脈波伝播画像を作成し、この画像に対して時相毎に変化する濃度情報から特徴量を算出し、画像ピラミッドを併用したオプティカルフロー解析による、速度ベクトルを検出する手法を試みた。最後に得られた速度ベクトルと実流速との関係を検証した結果、検出された速度ベクトルは、流速を反映しているのではなく、脈波伝播の発生箇所を表示していることを証明した。

第六章では、第二章から第五章までに述べた研究を総括し、考察を述べた。

第七章では、本論文で得られた結論をまとめ、今後の課題や展望などについて述べた。

学位論文審査の結果の要旨

近年の医療分野において、がんや脳血管障害、心疾患といった血管疾患である 3 大疾病に対する早期発見、早期治療が求められている。そのため、単純 X 線を始めとする CT、MRI、超音波検査といった臨床検査が幅広く行われるようになり、画像診断に対する期待は高まるばかりである。このような背景の中、目覚ましい発展を続ける診断装置から発生する画像の枚数やその他の情報量は膨大なものとなり、一方で診断ミスの防止や読影医の負担軽減に向けた取り組みが急務となっている。また、患者負担の軽減や増え続ける医療費削減に向けた取り組みも必要不可欠となっている。そこで本研究では、MRI 装置を用い

て生体内の血液の動きを画像化することにより、高価で危険性の高い造影剤を用いることなく、血管検査を簡便に行うことができる非造影 MRA に着目し、非造影 MR 画像に対する血管診断支援を目的とした CAD(Computer Aided Diagnosis or Detection)システムの開発を行う。目標とする CAD システムは主に、下肢動脈血管の血管抽出技術と血行動態解析技術である。

本論文では、下肢動脈血管に対して FBI 法より得られた MR 画像への画像解析法として以下の三つの課題を取り上げ、その解析手法について述べる。

- ① FBI 法を用いた動脈静脈血管の分離画像の生成手法
- ② 血管領域外に発生した背景領域を除去するための血管自動抽出手法
- ③ 血流の流れによる FBI 画像の信号変化を利用した血行動態解析手法

本論文ではまず、下肢血管の非造影 MR の画像化を行うための解析法を提案する。具体的には、心電図上の心臓解析を行うことにより、R 波からの心収縮期、心拡張期における血液の流れの違いを利用し、背景信号と動脈のみの信号とを分離できる FBI 法を構築し、非侵襲による非造影 MR 画像を生成した。生成される MR 画像と造影 CTA 画像との画質評価を行い、提案法の有効性を示した。

次に、FBI 法で撮像された非造影 MRA 画像を入力画像として与え、動脈血管抽出から結果画像の表示までを、全て自動で行うための血管抽出システムの開発を目的としたコンピュータ画像診断法の構築を行う。本論文では、血管の分岐を木構造に見立て、分岐点や端点を基に領域拡張を行うための手法を用いる。また、パーティクルフィルタアルゴリズムに円筒モデルを加え、下肢血管領域の抽出漏れを低減するための手法を考案し、実 MR 画像による抽出能の改善法を提案した。これにより、大幅な血管影の検出精度の向上を実現した。

さらに、血液の流れを解析するための画像診断法を提案するため、血行動態解析技術を開発する。具体的には、まず心時相を変化させて FBI 法で撮像した画像に対し、逐次差分を行うことにより脈波伝播画像を作成する。次に、脈波伝播画像に対して時相毎に変化する濃度情報から特徴量を算出し、画像ピラミッドを併用したオブティカルフロー解析による、速度ベクトルを検出する。最後に速度ベクトルと実流速との関係を検証し、本手法の血行動態解析としての位置づけを行い、定量的な診断指針を与えるための解析法を考案した。これにより、流速を画像化することが可能となり、非造影 MR 画像からの新しい診断手法を提供できる見通しを示した。

本論文は、医用画像処理分野における下肢血管の血行動態解析や動静脈分離画像の新しい展開を示しており、医学分野のみならず画像計測に基づくパターン認識分野の診断支援法の開拓に大きく貢献できることが示唆された。本論文に関して、公聴会に出席した教員や審査委員から他の分野への適用の可能性や結果画像の臨床での意義、撮像法の詳細な説明どの専門的な質問がなされ、いずれも著者の適切な回答によって理解が得られた。また、公聴会終了後の審査会においても、本研究の専攻分野との関連性や従来法の問題点などの

試問がなされ、著者から適切な回答が得られた。

以上より、論文審査及び最終試験の結果に基づき、本学位論文審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に充分値するものであると判断した。