

学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名	坂 知樹
学位の種類	博士(情報学)
学位記番号	環情博甲第1901号
学位授与年月日	平成29年3月24日
学位授与の根拠	学位規則(昭和28年4月1日文科省令第9号)第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第1項
学府・専攻名	環境情報学府 情報メディア環境学専攻
学位論文題目	時系列造影MR像における大動脈血流の寄与を考慮した肺血流解析
論文審査委員	主査 横浜国立大学 教授 後藤 敏行 横浜国立大学 教授 竹林 茂生 横浜国立大学 教授 有光 直子 横浜国立大学 名誉教授 影井 清一郎 神奈川県立循環器呼吸器病センタ(横浜市立大学客員教授) 放射線科部長 岩澤 多恵

論文及び審査結果の要旨

画像診断技術の進展にともない断層像の動画的観察が可能になり、MRI(Magnetic Resonance Imaging)やX線CT(Computed Tomography)の造影像を用いた血流動態解析が注目されるようになった。血流動態解析は、トレーサーを静脈から急速注入することにより、体内を巡る血流の流れを時系列的に観察することで、器官を流れる血液量や血流量などの血流パラメータを定量的に解析する方法である。本論文では、特に悪性腫瘍や慢性の肺疾患の評価に期待されていることから肺血流の動態解析の問題を取り上げている。肺血管系には、肺動脈経由の血流に加えて大動脈・気管支動脈経由の血流(再灌流)が存在することが知られているが、大動脈・気管支動脈経由の血流は肺動脈血流に比べて小さいことから、これまでの血流動態解析では肺動脈経由の血流のみに注目したモデル(1入力モデル)を用いて解析する方法が採られてきた。この方法では大動脈・気管支動脈経由の血流が解析精度に影響するという問題があるため、入力波形の信号形状を仮定してこの影響を除外する方法などが検討されてきた。一方、悪性腫瘍などの病変では血管新生により大動脈や気管支動脈からの血流を患部に引き込むことが知られており、腫瘍周辺組織での血流が変化するために、従来の1入力モデルでは無視できない時間特性が表れる。

本論文ではこれらの問題に対して、従来のように入力波形の信号形状を仮定するのではなく、肺野内部の血流系が肺動脈経由と大動脈・気管支動脈経由の2つの入力を持つ系と考え、それらのインパルス応答をモデル化することにより再灌流の影響を評価する方法を提案し、実際の医用画像を用いて評価を行っている。本論文は、序論(第1章)から結論(第9章)の9章で構成されている。

第1章は序章であり、研究背景となる医用画像および血流解析技術の現状について述べ、本研究の位置づけと目的を明らかにする。続く第2章では、本研究と関連する従来研究の血流解析モデルについてまとめ、従来手法の課題について議論している。また、第3章では、本研究で対象とする医用画像の生成法、造影剤の非線形特性、解析対象となる肺領域の血液循環系について述べる。

第4章では、本研究の主題となる大動脈経由の再灌流の寄与を考慮した肺血流解析モデルを提案している。肺血流を構成する肺動脈経由の血流と大動脈経由の再灌流について、肺動脈経由の血流がガス交換のために右心室から肺野に送り出される機能血管系のため心拍出量の

全体を占めるのに対し、大動脈経由の再灌流は気管支動脈などのように肺組織に栄養を供給するための血流となることから全血流の1割程度と言われている。このため、従来方法では再灌流の影響を無視した1入力1出力系とする手法が採られていた。一方、肺癌などでは先にあげた血管新生等の影響で大動脈経由の血液が多く流入する可能性があり、再灌流成分なしでは説明が出来ない時間的特性の波形が観測されることがある。本研究では、従来法のように再灌流成分を無視するのではなく、肺野の血流系が肺動脈経由と大動脈経由の2つと独立なインパルス応答を持つ2入力モデルを提案し、これを用いて再灌流の影響を分離して評価している。さらに、肺動脈や大動脈における入力信号の取得領域の選定が難しいという従来の問題に対して、画素ごとに信号の妥当性を評価することにより、最適な入力信号の自動選別する方法についても新たな提案を行っている。

第5章は、MRI用とGd造影剤を用いる場合の濃度値と信号強度の校正法について議論している。ここでは最初にGd造影剤の濃度値と信号強度の関係をモデル化するとともに、これを用いてGd造影剤の濃度とMRI信号強度の関係を造影剤ファントムと同時撮影することによって高精度に校正曲線を得る方法について議論した。さらに、Gd造影剤には濃度上昇によって造影効果の極性が反転するという著しい非線形性があるが、信号強度の時系列変化の推移を用いて極性を判定することによって正しく造影剤濃度を推定する方法を提案している。

第6章では、提案した再灌流を考慮した血流解析法および造影剤濃度校正法を実装した試作システムについて述べるとともに、実際に肺癌患者に対して行った実験について述べている。さらに、第7章において、開発した試作システムを用いた評価実験の結果についてまとめている。

第8章では、最初に2入力解析モデルの血流信号の当てはめの精度を評価・検討するとともに、大域的解析・局所的解析の2つの血流評価法を用いた再灌流の解析結果とFast GE cine MRIを用いて評価した心拍出量の比較評価を行い、これらの結果をもとに考察を行っている。

最後に第9章では本研究の成果についてまとめるとともに、今後の展望について論じている。

本研究は、時系列造影画像を用いた肺野領域の血流解析技術として有用性が高く、臨床応用への波及効果も期待できる。本研究によって試作されたシステムは呼吸器病専門機関において、臨床適用に向けた準備も進められている。また、これらの研究成果は2編の査読付正論文および国際会議論文などで公表され、関連の口頭発表において優秀発表賞など2件の賞を受けるなど、外部からの評価も高い。

以上のように、本論文は博士(情報学)の学位請求論文として十分に価値があると審査委員一致して判断し、平成27年2月1日(土)14時から15時まで、環境情報1号棟515合同セミナー室において博士論文発表会(公聴会)を開催した。引き続き同日15時15分から16時45分まで、同セミナー室において審査委員全員出席のもとで、坂知樹氏の最終試験を行った。はじめに同氏より、博士請求論文を構成する学術論文の公表状況や単位取得状況について説明があり、審査委員からは審査論文に関する質問や、論文内容と関連する医用画像処理や造影剤を用いた血流解析に関する専門知識について質問がなされた。質疑応答の結果、論文の公表状況および専門知識は十分であることを確認した。外国語については、公表論文のうち1通は英語で執筆され、本人が国際会議において英語で発表していることから学力を確認した。

これに基づき、環境情報学府情報メディア環境学専攻会議にて審議し、全員一致して本論文を博士(情報学)の学位論文として環境情報学府教授会に付議することを決定した。その後、環境情報学府学務委員会での確認を経て、平成29年3月6日(月)に開催された環境情報学府教授会において審議および無記名投票により、同氏に博士(情報学)の学位を授与することを決定した。

注 論文及び審査結果の要旨欄に不足が生じる場合には、同欄の様式に準じ裏面又は別紙によること。