

学位論文題名

# 3テスラ磁気共鳴画像における循環器領域の定量評価

## 学位論文内容の要旨

### [要 旨]

#### [背景]

磁気共鳴画像(magnetic resonance imaging; MRI)装置を用いた画像診断は現在臨床において重要な位置を占めている。他の画像診断と比較した利点として放射線による被曝がないということが挙げられる。このことは撮像回数や年齢に制限されることなく検査を施行できるという点で優れている。

しかしながら、MRI装置から得られる画像は信号強度という相対的な尺度で人体のプロトン密度分布にしたがって得られた画像である。このことは臨床において検査の再現性や定量性において問題が生じる部分である。MRI装置から得られる臨床画像を病変の存在診断だけではなく、再現性や定量性をもって表現することが現在求められている大きな課題である。特に近年静磁場強度の高磁場化による高い信号強度での画像診断が施行されている点、造影剤を使用することなく撮像された画像からの画像解析によって非侵襲的な検査が実現されている点がMRI装置を用いた新しい臨床応用であり、病態解明のための画像診断領域における重要な役割を担っている。

#### [目的]

本研究ではMRI装置から得られた画像をもとに人体の循環器領域のうち腎臓、心臓において、腎血流量、心筋の局所歪み、および造影剤を用いた後の心筋において定量値を用いることにより生体の組織や臓器の状態を評価し、MRI装置を用いた画像診断における有用性を示すことを目的とする。

#### [方法]

本研究では循環器領域における3つの項目について3 Tesla(T)-MRIを用いて定量化における検討を行った。

(1) 造影剤を使用せずに血液灌流を評価できるarterial spin labeling(ASL)法を用いて、健常者を対象として撮像を行った。被験者の血行動態に依存することなく腎臓にラベルされた血液が最も多く到達した時点で腎血流量(renal blood flow: RBF)を算出できるよう撮像シーケンスを複数の時相でデータを収集できるように改良した。新しいシーケンスで撮像を行い過去の報告と比較し、本検討で得られた定量値について考察を行った。

(2) 26名の患者を対象に心臓MRI検査にてSPAMM法とSENC法を用いて心筋strainの撮像を行った。左室心筋の円周方向の歪み(circumferential strain)の最大値(peak circumferential strain; peak Ecc)について、6セグメントポイントの平均peak Eccを求めた。さらに左室心筋のapical, mid-ventricular, basalレベルそれぞれの平均peak Eccを求めた。

(3) 心臓 MRI 検査にて造影剤を投与した 35 名を対象にして、Look-locker シーケンスから得られた画像を用いて T<sub>1</sub>-map を作成した。T<sub>1</sub>-map から心筋の T<sub>1</sub> 値と左心室内腔の T<sub>1</sub> 値を求めた。造影されなかった心筋と造影された心筋を late gadolinium enhancement(LGE) negative セグメント、LGE positive セグメントとし、それぞれのセグメントでの心筋の T<sub>1</sub> 値を比較した。心筋の T<sub>1</sub> 値と左心室内腔の T<sub>1</sub> 値の比を M/C ratio とし、それぞれのセグメントにおける M/C ratio について比較した。心筋の T<sub>1</sub> 値と M/C ratio について、左室駆出率(left ventricular ejection fraction; LVEF)や推算糸球体濾過量(estimated glomerular filtration rate; eGFR)との関係を比較し検討した。

#### [結果]

(1) Multi-phase EPSTAR 法で得られた RBF は左腎で 277.9±62.5 mL/100g/min、右腎で 295 ± 35.0mL/100g/min、全体で 286.6±48.7mL/100g/min であった。RBF 値の比較において過去の文献値との間に有意差は認められなかった。

(2) すべてのセグメントポイントにおいて SENC 法の peak Ecc は有意に SPAMM 法と比べて高い値を示した。左室心筋のレベル間の比較において、SENC 法での平均 peak Ecc は apical レベルで basal レベルよりも有意に高い値を示したが、SPAMM 法では同じ傾向を示さなかった。

(3) LGE positive セグメントの平均の心筋 T<sub>1</sub> 値は LGE negative セグメントよりも低い値となった。それぞれのセグメントにおける 2 つの LVEF 群において、平均の心筋 T<sub>1</sub> 値と M/C ratio はそれぞれ平均に違いが見られなかった。LGE negative, LGE positive セグメントにおける 2 つの eGFR 群において、平均の心筋 T<sub>1</sub> 値と M/C ratio はそれぞれ平均に違いが見られなかったが、T<sub>1</sub> 値において eGFR60 ml/min/1.73m<sup>2</sup> 未満と eGFR60 ml/min/1.73m<sup>2</sup> 以上において有意な分散の不均一が認められた。eGFR based analysis において、M/C ratio は有意な分散の不均一が認められなかった。

#### [考察]

本研究では 3T-MRI における循環器領域の定量評価について検討を行った。ASL 法を用いた灌流評価は放射線や造影剤を使わずに腎血流量を評価できるため有用であるが、本研究ではさらに最適時相を同定した画像を用いて腎血流量を評価することができたため有用であると考えられる。ASL 法を用いた血流評価は脳領域では動きに伴う誤差は少ないが、躯幹部における評価には呼吸性や拍動性のアーチファクトが混入することが少なくないので、腎臓血流量の定量値においてアーチファクトの影響も加味して評価することが求められると考えられる。

局所心筋の strain 評価においては SENC 法が SPAMM 法に比べて peak Ecc において高い値を示した。SPAMM 法は SENC 法に比べて、tag 間隔の制限や segment-based の解析という点で制限があるため、SPAMM 法ではこれらの制限が peak Ecc の過小評価につながったものだと考えられる。

心筋の T<sub>1</sub> 値と LVEF と eGFR の関係については、心筋の T<sub>1</sub> 値は GFR が 60 ml/min/1.73m<sup>2</sup> 以上の群において、分散の不均一性が認められ、心筋と左心室の内腔の比で表される M/C ratio は生理的なパラメータによらず心筋の評価ができた。このことにより造影後の心筋における T<sub>1</sub> 値の評価においては、腎機能の影響を受ける可能性があるため、T<sub>1</sub> 値そのものの評価より M/C ratio での表現が適切であるということが示唆された。

#### [結論]

本研究では 3T-MRI 装置から得られた画像をもとに人体の循環器領域のうち腎臓、心臓において、腎血流量、心筋の局所歪み、および造影剤を用いた後の心筋についての定量化に対する評価を行った。磁気共鳴画像について信号強度ではなく、定量化された値を用いることにより生体の組織や臓器の状態について再現性をもって評価することが可能になり、MRI 装置を用いた画像診断においての有用性が示唆された。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 小笠原 克 彦  
副 査 教 授 伊 達 広 行  
副 査 准教授 坂 田 元 道

学位論文題名

## 3テスラ磁気共鳴画像における循環器領域の定量評価

磁気共鳴画像(magnetic resonance imaging; MRI)装置を用いた画像診断は、他の画像診断と比較し放射線による被曝がないことが利点として挙げられる。このことは、撮像回数や年齢に制限されることのない検査を可能とする。近年、静磁場強度の高磁場化による高い信号強度での画像診断が施行されており、造影剤を使用することなく撮像された画像からの画像解析によって非侵襲的な検査が実現されている。しかし、MRI 画像は、人体のプロトン密度分布により得られた相対的な信号強度画像であることから、臨床においては検査の再現性や定量性が問題となる場合も多い。

本学位論文は、MRI 装置から得られた画像をもとに、人体の循環器領域のうち腎臓・心臓に対し、腎血流量、心筋の局所歪み、および造影剤を用いた後の心筋における定量値を用いることにより生体の組織や臓器の状態を評価し、MRI 装置を用いた画像診断の有用性の検証を試みた3研究を中心とする8章構成の集大成論文である。

第1章では、序論として本研究を行った動機および目的について説明している。

第2章及び第3章では、MRI 装置およびその撮像原理、循環領域におけるMRI 装置を用いた検査について概説している。

第4章では、健常ボランティアを対象として echo-planar magnetic resonance imaging and signal targeting with alternating radio frequency (EPISTAR)シーケンスを複数の時相でデータを収集できるシーケンスにすることによって、被験者の血行動態に依存することなく腎臓にラベルされた血液が最も多く到達した時点で腎血流量 (renal blood flow: RBF) を算出し、過去の報告と比較しながら、本研究で得られた定量値について考察を行っている。Multi-phase EPISTAR 法で得られた RBF は左腎で  $277.9 \pm 62.5$  mL/100g/min、右腎で  $295 \pm 35.0$  mL/100g/min、全体で  $286.6 \pm 48.7$  mL/100g/min であり、RBF 値の比較において過去の文献値との間に有意差は認められないことを明らかにしている。

第5章では、26名の患者を対象に心臓MRI検査にて SPAMM 法と SENC 法を用いて心筋 strain の撮像を行い、左室心筋の円周方向の歪み (circumferential strain) の最大値 (peak circumferential strain; peak Ecc) について、6セグメントポイントの平均 peak Ecc を算出し、さらに左室心筋の apical、mid-ventricular、basal レベルそれぞれの平均 peak Ecc を求めている。その結果、すべてのセグメントポイントにおいて SENC 法の peak Ecc は有意に SPAMM 法と比べて高い値を示すとともに、左室心筋のレベル間の比較において、SENC 法での平均 peak Ecc は apical レベルで basal レベルよりも有意に高い値を示すが、SPAMM 法では同じ傾向を示さないことを明らかにしている。

第6章では、心臓MRI検査にて造影剤を投与した35名を対象として、Look-lockerシーケンスから得られた画像を用いてT<sub>1</sub>-mapを作成し、T<sub>1</sub>-mapから心筋のT<sub>1</sub>値と左心室内腔のT<sub>1</sub>値を算出している。更に、造影されなかった心筋と造影された心筋をlate gadolinium enhancement(LGE) negativeセグメント、LGE positiveセグメントとし、それぞれのセグメントでの心筋のT<sub>1</sub>値を比較するとともに、心筋のT<sub>1</sub>値と左心室内腔のT<sub>1</sub>値の比をM/C ratioとし、それぞれのセグメントにおけるM/C ratioについて比較している。また、心筋のT<sub>1</sub>値とM/C ratioについて、左室駆出率(left ventricular ejection fraction; LVEF)や推算糸球体濾過量(estimated glomerular filtration rate; eGFR)との関係を比較検討し、その結果、LGE positiveセグメントの平均の心筋T<sub>1</sub>値はLGE negativeセグメントよりも低く、それぞれのセグメントにおける2つのLVEF群において、平均の心筋T<sub>1</sub>値とM/C ratioはそれぞれの平均に有意差が見られないことを提示している。LGE negativeとLGE positiveセグメントにおける2つのeGFR群においては、平均の心筋T<sub>1</sub>値とM/C ratioはそれぞれ平均に違いが見られなかったが、T<sub>1</sub>値においてeGFR60 ml/min/1.73m<sup>2</sup>未満とeGFR60 ml/min/1.73m<sup>2</sup>以上において有意な分散の不均一が認められたとしている。一方、eGFR based analysisにおいて、M/C ratioは有意な分散の不均一が認められないことを明らかにしている。

第7章と第8章では、本研究で得られた成果を統合した考察がなされ、総括されている。

これを要するに、本研究は、磁気共鳴画像について、信号強度ではなく定量値により生体の組織や臓器の状態についての再現性評価を可能としたものであり、今後のMRI検査の精度と信頼性の向上に対して貢献するところ大なるものがある。

よって本博士論文の著者は、北海道大学博士(保健科学)の学位を授与される資格があるものと認める。