

京都大学	博士 (工学)	氏名	中井 隆介
論文題目	MRI を用いたヒト軟組織の形態・機能解析手法の開発と応用		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、健常者の検診や運動効果計測、予防医学の分野で活用が期待されている MRI (magnetic resonance imaging) を用いて、効果的にヒト軟組織 (筋肉、脂肪、脳神経線維) の形態および機能を解析する新しい手法を構築し、それらの有用性について報告したものであり、5つの章から構成されている。</p> <p>第1章は緒論であり、MRIの開発の歴史およびMRIの撮像原理 (スピンエコー法、グラディエントエコー法)、本論文で使用されている形態撮像手法 (ターボスピンエコー法、VIBE法、二項RF励起パルス法)、および、機能撮像手法 (脳機能イメージング法、拡散テンソルイメージング法) に関して概説した後、本研究の背景、現状の問題点などを明確にし、研究の目的と方針について述べている。</p> <p>第2章では、筋肉および周辺組織を対象として、MRIの各種撮像手法を用いた形態変化の解析手法を開発している。従来の筋肉の計測手法は、主として筋肉の体積を計測するだけであり、筋肉内部の状態変化等を捉えることができなかった。本解析手法は、筋肉内脂肪抽出画像処理を利用した筋肉領域内の脂肪解析、3次元MRIを使用した筋肉の外部形状解析、および、拡散テンソルイメージング法を使用した筋肉の内部構造解析から構成されており、これらを合わせて評価することで筋肉の質的变化を考慮した形態変化の解析を可能としている。本手法により得られる情報として、筋肉領域内の脂肪組織の状態や筋肉線維の緻密度等がある。トレーニング装具を着用した被験者群と非着用群に対して、トレーニング時の筋肉および周辺組織の変化を本手法を用いて解析することにより、本論文で新たに提案した手法が筋肉および周辺組織の形態変化の解析に有用であることを示している。</p> <p>第3章では、内臓脂肪を対象としたMRIの撮像手法を最適化し、脂肪量の自動計測手法を開発している。内臓脂肪量の計測は、メタボリックシンドロームの検査等において重要な意味を持っているが、現在実施されている検査法では、その計測精度が低い。本研究では、まず選択的脂肪励起が可能な二項RF励起パルス法を用いたFLASHシーケンスにおいて、腹部領域で鮮明な脂肪画像が得られる撮像条件を求め、内臓の体幹方向の動きの影響を受けない撮像範囲を見出している。また、この撮像手法が、長期間のトレーニング時の脂肪量変化の計測に適用できることを明らかにしている。さらに、受信コイルからの位置による輝度補正等を含めた内臓脂肪量の自動計測手法を開発し、その精度検証を行っている。結果として、皮下脂肪、内臓脂肪ともに、自動計測と手動計測の値は非常に強い正の相関を示し、一致率も非常に高く、本手法により精度良く脂肪領域が抽出、計測されていることを明らかにしている。これらにより、二項RF励起パルス法を用いた撮像手法および本研究で開発した自動計測手法が、腹部の内臓脂肪量の解析において非常に有用であることを明らかにしている。</p>			

第4章では、脳神経線維を対象として、その走向の新しい解析手法を開発している。従来の手法では、解析部位を定義するために解剖学的なランドマークを使用しており、解剖学的な多様性のために不正確となり、個人差による影響を大きく受けていた。本研究では、MRIの拡散テンソルイメージング法と脳機能イメージング法を組み合わせた脳神経線維の走向の解析手法および脳機能イメージング法で使用する視覚刺激提示・信号収集システムを独自に開発している。開発した手法を用いることにより、個々の解剖学的情報を維持したまま、脳神経線維の走向の解析を行うことが可能となった。本手法を用いて、皮質脊髄路の上肢と下肢の神経線維の走向解析を行った結果、これまで明らかとはされていなかった内包における皮質脊髄路の機能局在には個人差が存在することを明らかにしている。これらにより、脳機能イメージング法と拡散テンソルイメージング法を用いた本手法が、内包における皮質脊髄路の機能局在の解析および脳神経線維の走向解析に有用であることを示している。

第5章は結論であり、本論文のまとめ、本研究において開発した手法の予防医学における役割およびヒト軟組織の解析手法の今後の展開について述べている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、健常者の検診や運動効果計測、予防医学、医工学の分野において MRI を活用すべく、様々なヒト軟組織の形態および機能を、MRI を用いて解析する新しい手法を構築し、それらの有用性を示している。得られた主な成果は以下の通りである。

- 1) 筋肉とその周辺組織を対象とし、各種の MRI の撮像手法を用いて得られた画像と適合した画像処理解析手法を新たに構築することにより、筋肉領域内の脂肪組織の状態や筋肉線維の緻密度等の筋肉の質的情報を捉えることが可能となった。この成果により、トレーニングや疾患等による筋肉の形態変化を、詳細に分析することが可能となり、筋肉の新たな評価・検査手法として、今後の臨床における検査に大きく貢献できると考えられる。
- 2) 内臓脂肪を対象とし、選択的脂肪励起が可能な二項 RF 励起パルス法を用いた FLASH シーケンスにおいて、腹部領域で鮮明な脂肪画像が得られる撮像条件を求め、内臓の体幹方向の動きの影響を受けない撮像範囲を見出した。また、本研究において内臓脂肪量の自動計測手法を開発することにより、MRI を用いた高速で高精度の脂肪量計測が可能となった。本手法は、MRI を用いたメタボリックシンドローム検診等における脂肪量計測に広く適用でき、検査の精密性、利便性を上げるものとして非常に期待できる。
- 3) 脳神経線維の走向解析において、従来の解析手法は解剖学的な個人差による影響を大きく受けていたが、拡散テンソルイメージング法と脳機能イメージング法を組み合わせた解析手法を開発することで、個々の解剖学的情報を維持したまま走向解析を行うことが可能となった。本手法を皮質脊髄路の機能局在の解析に適用することにより、内包における皮質脊髄路の機能局在には、個人差が存在するという新たな知見が得られた。本手法は、個々の解剖学的情報を維持したまま解析を行うという点で非常に重要な手法であり、今後の脳神経線維の走向解析手法として有用な手法になりえると考えられる。

以上のように、本論文では、筋肉、脂肪、脳神経線維を対象として、それぞれに対して MRI を用いた新しい形態・機能解析手法を開発した。これにより MRI を用いた軟組織の形態・機能解析の有用性を格段に進歩させ、医工学分野において学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。