

(西暦) 2023 年度 博士前期課程学位論文要旨

学位論文題名

上腕二頭筋 MR エラストグラフィの技術開発

学位の種類： 修士 (放射線学)

東京都立大学大学院

人間健康科学研究科 博士前期課程 人間健康科学専攻 放射線科学域

学修番号 22897711

氏 名： 多田 朱里

(指導教員名： 沼野 智一)

注：1 ページあたり 1,000 字程度 (英語の場合 300 ワード程度) で、本様式 1～2 ページ (A4 版) 程度とする。

骨格筋の機能維持・向上は、スポーツ、理学療法、高齢者の生活の質の維持・向上等において重要である。骨格筋損傷や加齢に起因する機能低下は、パフォーマンス低下や怪我、寝たきり状態につながる可能性がある。よってその機能低下を早期に発見することは予防・改善が期待できるので大きな意義がある。

骨格筋における硬さ情報は、骨格筋の状態を把握する上で重要な因子の 1 つである。硬さを調べる手法として「触診」がある。触診は簡便である一方、術者の経験に基づいた主観的な手法である。そこで硬さ情報を客観的に評価可能な技術として MRI 装置を利用した MR Elastography(MRE)と超音波画像診断装置を利用した Shear Wave Elastography(SWE)が開発された。MRE は対象に外部振動を加えながら撮像し、SWE は撮像対象にプローブから発せられる集束超音波パルス照射することで非侵襲的かつ定量的に硬さ(弾性率)を計測することができる。

両手法を骨格筋に適用することは可能である一方で、骨格筋に MRE を適用した実施報告数は SWE と比較すると世界的に見ても少ない。この要因として、超音波画像診断装置を利用する SWE は手軽に実施できるのに対して、MRI 装置を利用する MRE は大掛かりな装置・設備を必要とすること、骨格筋に MRE を適用するための技術が確立されていないことが挙げられる。このように MRE は SWE と比較して「簡便性の低さ」と「技術的に困難であること」から骨格筋 MRE の普及には至っていないのが現状である。その一方で、SWE は技術的に身体の浅い部位に適用範囲が限定されるものの、MRE は技術的に身体の深い部位にも適用できる。したがって両者は長所と短所を補完しうる関係にあり、両手法を用いた総合的評価がエラストグラフィ精度を向上させる可能性がある。

このように両手法の骨格筋における総合的評価を行うためには特性比較評価が必須となる。特性比較評価には MRE と SWE どちらも撮像・計測可能で骨格筋の筋線維走行がシンプルである部位が適している。上腕二頭筋はその点において最良であるが、上腕二頭筋 MRE 技術は確立されていないのが現状である。上腕二頭筋 MRE を実施することができれば、両手法の特性比較評価が可能となり、骨格筋機能評価における画像診断の一助となる可能性がある。そこで本研究では、高い精度の上腕二頭筋 MRE を実施するための技術開発を行った。

まず,MRE の基本的な流れを説明する.

- ① 外部からの振動は,「加振パッド」と呼ばれる振動子を体表に設置することで撮像対象に伝えることができる. この外部振動を対象に伝えながら撮像を行う.
- ② ①によって取得した MR 位相画像から対象内を伝わる伝播波(せん断波)を可視化する (Wave image).
- ③ 可視化された伝播波の局所波長から弾性率を算出する.

以上の一連の流れを踏まえ,上腕二頭筋に MRE を適用するために重要な技術は主に「加振パッド」「撮像断面」「振動変位検出方向」の3つがあり,それらに対して検証を行った.

「加振パッド」

一般的に加振パッドは振動源が1箇所である.振動源によって生じた振動が対象内で波として伝播する際に,”節”と呼ばれる「波として振動していない部分」が必ず生じる. この部分は弾性率の算出に影響を生じる恐れがあるので,節は撮像関心領域外に発生させることが望ましい.サイズが小さい上腕二頭筋は,それに伴い弾性率計測可能範囲も小さくなるので,節の影響をより受けやすくなる. そこで,節を撮像関心領域外に発生させることを想定した,2箇所の振動源を有する新しい加振パッドを開発・検証を行った.

「撮像断面」

骨格筋の場合には筋線維異方性があり,せん断波は筋線維に対し平行な方向に伝播する. MRE はこの伝播波を可視化するためがあるので,筋線維の方向を考慮して撮像断面を決定する必要がある. そこで筋線維に対して平行・垂直な断面でそれぞれ上腕二頭筋 MRE を実施し,筋線維異方性が MRE に及ぼす影響を検証した.

「振動変位検出方向」

MRE ではせん断波を弾性率算出に利用するので,その変位は伝播方向に対して垂直となる. MRE は対象内を3次元に伝播する変位(せん断波)を一度にすべてを検出できないので,検出したい変位方向をあらかじめ設定する必要がある. そこで上腕二頭筋 MRE における最適な振動変位検出方向の検証を行った.

本研究の結果,加振パッドは2つの振動源とし,互いに逆位相の振動を加えることで節の影響が小さい Wave image を取得でき,上腕二頭筋における弾性率計測可能範囲を広げることができた. 撮像断面は上腕二頭筋の筋線維に対して平行な断面とし,振動変位検出方向は筋線維に対して垂直方向することで波長計測の容易となる伝播波を可視化できた. 以上より高い精度で上腕二頭筋 MRE が実施可能であることを実証した.