

1. MRI

# MRエラストグラフィがもたらす情報 — 筋の硬さ評価を中心に

沼野 智一 首都大学東京健康福祉学部放射線学科

組織の硬さ(弾性)の的確な診断は、疾患状態を把握する上で重要な情報の1つになりうる。現在、その診断方法は、乳がんなどに代表されるように医師による触診が一般的である。しかし、触診は病変組織のサイズが小さい場合や、体内深部では見逃してしまうこともある。このような背景のもと、近年、超音波診断装置を用いた超音波エラストグラフィによる組織弾性イメージングが製品化され、組織の硬さを画像化する新しい画像診断技術が確立している。他方、MRI装置によるMRエラストグラフィ(MRE)も、1995年にMuthupillaiらによって基礎理論<sup>1)</sup>が発表され、今日までに肝臓、脾臓、乳房、前立腺、脳などの臨床応用が報告されている。

骨格筋においても、組織の硬さ情報は、筋萎縮などでの状態を把握する上で重要な情報の1つであり、触診による硬さ評価が施行されている。しかし、触診による評価は、他の部位と同様に客観性に欠けるおそれがある。近年、簡便な筋硬度計が市販され、骨格筋の定量的な硬さ評価が可能となりつつあるが、その再現性・妥当性に関する研究は十分とは言えない。さらに、筋硬度計の計測は、体表面に近い(体表面に面した)骨格筋に限定される。それに対して、局所的な固さの違いを二次元もしくは三次元で画像化できるMREは、筋硬度計で測定できない深部の骨格筋の硬さを評価できる可能性がある。

骨格筋MREについて、大腿部・下腿部での報告があるが、決してその数は多くない。2006年、Bensamounらは、大腿部の「筋の違いによる硬さの違いを概算できた」とし、外部加振による伝播波の波

長変化によって「半羽状筋と縦走筋の違い、および遅筋線維と速筋線維の違いを確認できた」と報告している<sup>2)</sup>。しかし、この実験結果には測定誤差が多いため、論文内では「硬さの違いを概算(approximate)できた」と控えめな発言にとどまっている。骨格筋MREには、測定誤差を低減する技術が必須であると筆者は考える。肝線維化の新しい診断方法として認知されつつあるMREであるが、骨格筋に対してははまだ試行錯誤が必要な技術である。

本稿では、MRE全般の技術的側面について述べるとともに、MREの技術的な制限・制約を述べる。最後に、その制限・制約を乗り越えた骨格筋MREがもたらす新しい臨床評価の可能性を述べる。

## MREの技術的な概要

MREは、撮像対象の局所的な弾性率(硬さ)の違いを画像化する技術である。弾性率画像(エラストグラム)を得るためには、以下の3段階のプロセスが必要となる(図1)。

- ① 撮像対象に外部からの機械振動を加えながら撮像する。
- ② 撮像した画像データのMR位相画像から、対象内部を伝播する振動波をwave imageとして可視化する。
- ③ 可視化した振動波の波長変化から弾性率を算出し、エラストグラムを作成する。

### 1. 機械振動

MREには撮像対象内を伝播する振動波の可視化が求められるので、撮像対象

に機械振動を加えながらの撮像となる。しかし、MRIにおいて、撮像対象のランダムな動き・振動はモーションアーチファクトを生じさせ、MREにおいても、このモーションアーチファクトが振動波の可視化を妨げる。よって、MREでは、MRI装置(パルスシーケンス)と機械加振装置を同期させることでモーションアーチファクトを低減させる。実際には、パルスシーケンスの繰り返し時間(TR)に対して振動波周波数を1/TRの整数倍に設定し、TRごとに同じ位相で振動を発生させる。これにより、機械振動が原因となるモーションアーチファクトを抑制する。撮像は、機械振動の位相を変化させて数回行って、機械振動の位相が異なる画像を得る。図2に、グラディエントエコー法を利用した場合のMREパルスシーケンスを示す(振動1周期を4回に分けて撮像している)。

MRIは、きわめて強力な磁場を発生させているため、電磁式バイブレータなどをマグネットルーム内で利用することができない。このような制限下で、機械加振方法には、マグネットルーム外に設置したボイスコイル(≒スピーカ)の音圧を利用したものがよく用いられている。スピーカが発生させた音圧は、ビニールチューブなどによってマグネット内の対象部まで搬送され、円盤状の加振パッド(聴診器を薄く巨大化させたようなもの)を振動させる。この加振パッドの振動が、撮像対象を強制的に加振することになる。しかし、加振パッドと加振対象の接触が不適切な場合、振動エネルギーが加振対象に伝わらない場合がある。