

1. ここまで進化した MR elastography

市川新太郎

山梨大学医学部放射線医学講座

MR elastography (以下, MRE) は, 肝線維化診断に有用なツールである。本邦では, 2012年8月に製品版が発売されてから約5年半が経過し, 導入施設が増えてきている。本稿では, MREの一般的事項を概説し, 課題や今後の展望についても触れていきたい。

MREの原理

一般に, 波は硬い物質の中では速く伝わり, 軟らかい物質の中では遅く伝わることが知られている。物質の弾性率(≒硬さ)は, 物質を伝播する波の速度(v)と物質のずり弾性率(剛性率)(μ)および密度(ρ)との間に次のような式が成り立つ。

$$v^2 = \mu / \rho$$

波の速度は波長(λ)と周波数(f)の積なので, この式は以下のように置き換えられる。

$$\mu = (f\lambda)^2 \rho$$

生体においては, 密度を $1\text{g}/\text{cm}^3$ に近似することができる。また, MREで用いる振動波の周波数は固定値(一般的に60Hz)なので, 右項の変数は波長のみとなる。すなわち, 肝内を伝播する波長を測定できれば, 弾性率を計算することができる。

MR信号の基となるプロトンは回転しており, MRIでプロトンから得られた信号は「大きさ」と「位相」の2つの情報を持つベクトル量として表される。通常

の画像診断に用いるのは「大きさ」の情報に基づいた強度画像である。一方, MREは, 「位相」の情報に基づいた位相画像を用いる。均質な物質内であればプロトンの回転位相はそろっているが, 回転位相をずらすことによって肝内を伝播する物理的振動を位相画像上で可視化するのがMREの基本原理である。波の進行方向に並んでいるプロトンの振動位相は互いに異なる。この振動位相の差を双極傾斜磁場によって回転位相の差に変換し, この状態でMRIを撮像することで位相画像において波の状態を可視化することができる。この位相画像を特殊な計算アルゴリズムで処理することで硬度マップ(エラストグラム)を得ることができる。硬度マップ上の画素値はずり弾性率を表し, 関心領域(ROI)を置くことで弾性率を測定することができる[単位はパスカル(Pa)]。MREの撮像シーケンスとしては, グラディエントエコー(以下, GRE)法とエコープラナーイメージング(以下, EPI)法がある。

検査の実際

MREの撮像には, MRI装置と連動して振動を発生させる加振装置が必要となる。これはスピーカーと同様の原理で, 空気を振動させるpneumatic driverと呼ばれる装置である。加振装置は機械室に置かれており, 加振装置から発生した空気の振動はプラスチック製のシリンダを通じてMRI検査室に誘導される。シリンダの先端にはpassive driverと呼

ばれる円形のパッドが付いており, そのパッドは患者の胸壁に置かれている。振動は胸壁から肝臓へ伝わり, 肝内に弾性波が発生する。振動は痛みを感じるほどの強さではない。

最近の肝臓MRI検査は, ほとんどがEOBプリモビストを用いた撮像である。肝細胞相を撮像するまでの待ち時間にMREの撮像を組み込めば, 検査時間を延長することなく肝臓の硬さを測定できる(MREの撮像時間は1回の息止めで15秒前後であり, 複数のスライスでも1分あれば撮像可能である)。セットアップも検査開始時にpassive driverを患者の胸壁にゴムバンドで固定するのみであり, 簡便である。

MREの適応と有用性

肝臓の線維化診断は肝生検がゴールドスタンダードであるが, 肝臓に針を刺して組織を採取しなければならないため, 侵襲的な検査である。一定の割合で副作用が生じ, 非常にまれではあるが死亡例も報告されている¹⁾。また, 線維化の程度はF0~F4の5段階で評価するが²⁾, 病理医の間で診断にバラツキがあることも知られている³⁾。これらの背景から非侵襲的な肝線維化診断の需要が高まっており, 血清学的線維化マーカー, 超音波エラストグラフィ, MREが普及してきている。

前述のとおり, 波は硬い物質の中では速く伝わるため, 肝線維化が進行する(=肝臓が硬くなる)と弾性率が上昇す