

臨床編

注目の診断技術は
日常診療を変えるか?

2. MR elastographyの有用性と位置づけ

— 肝線維化診断を中心に

市川新太郎 / 本杉宇太郎 / 市川 智章 / 荒木 力
山梨大学医学部放射線科

慢性肝疾患患者において、肝線維化の進行とともに肝がん発生リスクが上昇することが知られており、肝硬変は前がん状態と言われている。したがって、線維化の程度を診断することは非常に重要である。一般的に、肝線維化診断は、肝生検がゴールドスタンダードとされているが、侵襲的検査であるため繰り返し施行することはできない。また、まれではあるが、出血やショックといった重篤な合併症を生じることもありうる。

MR elastography (MRE) は、MRI を用いて非侵襲的に物体の硬さを定量する方法である。MRE による肝弾性率測定は、客観性に優れており、肝線維化診断の信頼性も高いことが報告されている^{1), 2)}。当院では、2010年1月から研究機としてMREを導入し、臨床例で使用している。本稿では、MREの有用性と今後の展望について述べる。

MREの原理

物質の硬さと波の伝搬速度には密接な関係がある。すなわち、硬い物質では波は速く伝わり、軟らかい物質では遅くなる。物質の硬さを表す物理量の1つに弾性率があり、物質中を伝搬する波の速度 (v) と物質のずり弾性率 (剛性率: μ) および密度 (ρ) の間には、次式の関係が成り立つ。

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

生体の密度はほぼ 1 g/cm^3 に近似でき

るため、伝搬波の速度を求めることで、物質のずり弾性率を知ることが可能となる。波の速度は波長と振動数の積なので、体外から既知の振動数で肝臓を振動させた場合、肝内における伝搬波の波長を測定することでずり弾性率を求めることができる。以下では、MRIで波長を測定する方法を概説する。

MRIの信号は、プロトン (水素原子) から得られる。プロトンは回転しており、MRI検査でプロトンから得られた信号は、“大きさ”と“位相 (プロトンの回転による回転位相)”の2つの情報を持つベクトル量として表される。われわれが通常目にする画像は、大きさの情報を使った画像であり、強度画像と呼ばれている。一方、位相の情報を使った画像は位相画像と呼ばれ、phase-contrast MR angiography (PC-MRA) などの特殊検査で用いられている。通常、位相画像は画像として臨床現場に届けられることはないが、MRI検査の際に常に得ることが可能である。位相画像が持つ情報は、プロトンの位相 (回転周期のどの位置にいるか) である。理想的に均質な対象内であれば、このプロトンの回転位相はそろっていることになる。この回転位相をずらすことによって、肝臓内を伝搬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。

では、回転位相をずらすには、どうすればよいだろうか? ここで用いるのが傾斜磁場である。傾斜磁場とは、磁場強度の空間的な傾きのことである。例え

ば、ある軸方向に傾斜磁場を与えると、負の方向に進むに従って磁場強度は次第に弱くなり、正の方向に進むと次第に強くなる。プロトンの回転周波数は、磁場強度に比例する (磁気回転比を定数とする比例式すなわちラーモア式) ので、傾斜磁場存在下では、その軸の負の方向にあるプロトンほど遅く回転し、正の方向にあるプロトンほど速く回転することになる。初期状態で、これらのプロトンの位相がそろっていたとすると、傾斜磁場を与え続けることでプロトンの回転位相は軸方向に次第にずれていく。

MREは、外部加振によって肝臓内に振動を起こすため、肝内のプロトンも振動することになる。この振動によるプロトンの位相 (位置) を振動位相と呼ぶ。この分子の振動周期に同期させて、正負一対の傾斜磁場 (双極傾斜磁場) を与えることでプロトンの回転位相を進める (もしくは遅らせる) ことができる。波の進行方向にいくつかのプロトンが並んでいると考えたとき、これらのプロトンの振動位相は互いに異なる。この振動位相の差が、双極傾斜磁場によって回転位相の差に変換される。この状態でMRIを撮像すれば、位相画像において波の状態を可視化することができ、この位相画像を特殊な計算アルゴリズムで処理してelastogramと呼ばれる硬度マップ (stiffness map) を得る。硬度マップ上の画素値は、ずり弾性率を表し、単位はパスカル (Pa) である。実際の画像を図1, 2に示す。