

1. 頭部領域におけるMRIの新技術と臨床応用

1) 定量的磁化率マッピングの臨床応用

原田太以佑 / 藤間 憲幸 / 工藤 與亮 北海道大学病院放射線診断科

磁化率は組織固有の物理的性質であり、その画像化として磁化率強調画像 (susceptibility weighted imaging : SWI) や位相差強調画像 (phase difference enhanced imaging : PADRE) が定性画像として用いられている。近年では、MRI を用いた定量化が一つのテーマとなっており、定量的磁化率マッピング (quantitative susceptibility mapping : QSM) は、磁化率を定量的に評価できる方法として、ここ数年で臨床研究の報告が急増している。

本稿では、QSMの臨床応用と最近の知見について概説する。

■ 定量性と再現性

磁化率をMRIから得られた計測値として用いる際には、定量性および再現性が高いことが必要である。定量性について、QSMは、位相画像から phase unwrapping (位相折り返し除去)、background removal (背景位相除去)、solving inverse problem (磁気双極子の影響排除) という処理が必要であり、それぞれの方法に関しては確立したものは存在せず、処理方法によって磁化率の値や再現性が異なる¹⁾。一方で、同じ処理を施したQSMにおける、同一被検者による再現性の検討では、複数回の撮像による高い再現性の報告だけではなく、同一機種における多施設研究の報告があり、級内相関係数が0.9以上という高い再現性が認められている²⁾。1.5Tと3Tの撮像装置間での磁化率の比較検討でも、相関係数 $R = 0.95$ 以上という高い再現性が報告されている。また、QSMは定量的に磁化率を測定できるが、撮像条件や再構成条件などの違いにより絶対値として扱うことが難しく、参照部位との相対比を用いることがある。加齢による鉄沈着は脳全体に起こると考えられており、加齢や変性疾患による修飾も加味して参照部位を決定する必要性があり、脳脊髄液や内包後脚に設定するのが良いとされている³⁾。

■ 加齢に伴う変化と鉄沈着

ヒトの脳は、出生時には髄鞘形成が不十分であり、出生後に急速に髄鞘化や脳の発達が進行する。Liらは、1～83歳の人を対象として年齢と磁化率の関係性について報告しており、大脳白質の磁化率は出生後に低下し、反磁性体であるミエリン密度や髄鞘化の進行に相関すると推察している。また、髄鞘形成後では、磁化率は加齢とともに緩徐に上昇する⁴⁾。

成人脳の鉄の含有量は60mgとされており、淡蒼球、赤核、黒質、被殻などの錐体外路系に多く存在する。細胞内ではoligodendrocyteに多く含まれ、neuron, microglia, astrocyteの順に鉄の含有が多いと言われている。鉄の神経化学作用は多岐にわたり、ミトコンドリア電子伝達系や髄鞘形成、神経伝達物質の生合成や代謝に関与する。鉄は、脳内では強磁性体であるフェリチンとして存在し、QSMでは高信号に描出される。加齢による磁化率の上昇は、大脳基底核や小脳歯状核といった組織鉄の沈着が多く認められる領域で顕著であり、鉄沈着が磁化率上昇の原因と考えられている(図1)。また、さまざまな神経変性疾患で脳組織への鉄沈着の増加が報告されている。