

II MRI研究の最新動向

4. 多核種MRIの最前線

—— ^{17}O 核種のこれまでと最新動向

亀田 浩之^{*1, 2}/工藤 與亮^{*1, 3}^{*1} 北海道大学病院放射線診断科 ^{*2} 北海道大学大学院歯学研究院放射線学教室^{*3} 北海道大学大学院医学研究院画像診断学教室

^1H 以外のNMR活性核(例： ^{23}Na , ^{31}P , ^{13}C , ^{129}Xe など)を対象とする多核種MRI (multinuclear MRI, X-nuclei MRI) では、組織内のイオンや分子の分布、代謝動態といった、 ^1H とは異なる高度な機能画像を取得することができる。本分野は、ISMRM 2025において全演題の約5%を占めるなど、長年にわたり精力的に研究が続けられてきた。依然として、磁気回転比の低さなどに起因する信号感度の低さといった課題はあるものの、近年のハードウェア・ソフトウェア両面の向上に加え、 ^1H -MRIで成熟した人工知能(AI)画像処理技術の応用により、多核種MRIの実用化に向けた機運が高まりつつある。また、 ^{23}Na や ^{31}P , ^{13}C , ^{129}Xe といった核種に加えて、 ^2H や ^{17}O に関する報告も増加しており、さまざまな臓器への応用が模索されている。とりわけ、 ^{17}O に関しては、

ISMRM 2025における関連演題がすべて日本からの発表であり、現在、臨床応用に向けて日本が主導的な役割を担っている核種でもある。そこで本稿では、日本が中心となって研究を進めてきた ^{17}O 核種について、その現状を概説する。

^{17}O 核種のイメージング

^{17}O (酸素)は、酸素の安定同位体の中で唯一MRIで検出可能な核種である。安定同位体であるため、PETで利用される ^{15}O のような放射線被ばくを伴わない。酸素原子自体は体内に豊富に存在するが、 ^{17}O の自然存在比はわずか0.038%ときわめて低いため、MRIで観察するには外部から ^{17}O で標識したトレーサーを投与するのが一般的である。トレーサーとしては、薬理作用がなく、

生体内にも豊富に存在する水(H_2^{17}O ： ^{17}O 標識水、通常は生理的食塩水として調整される)やガス($^{17}\text{O}_2$ ： ^{17}O 標識ガス)などの分子が用いられる。一方、特定の有機分子に ^{17}O を標識して利用する例はまれであり、これは体内で高いモル濃度が確保できず、信号感度がきわめて低いことが主な要因と考えられる。なお、 ^{17}O は一般に濃縮が難しく、現時点ではトレーサーとしてのコストは高い。

^{17}O 核種を用いたMR撮像法には、直接法と間接法の2つがある(図1)¹⁾。 ^{17}O 直接法は、 ^{17}O 自体のNMR信号を検出対象とする方法であり、 ^{17}O 特異性の高い信号が得られる。一方で、信号感度は一般にきわめて低く、その主な要因は、 ^1H と比較して磁気回転比が低いこと($\gamma^1\text{H} = 42.58\text{MHz/T}$, $\gamma^{17}\text{O} = -5.77\text{MHz/T}$)、および ^{17}O がスピン

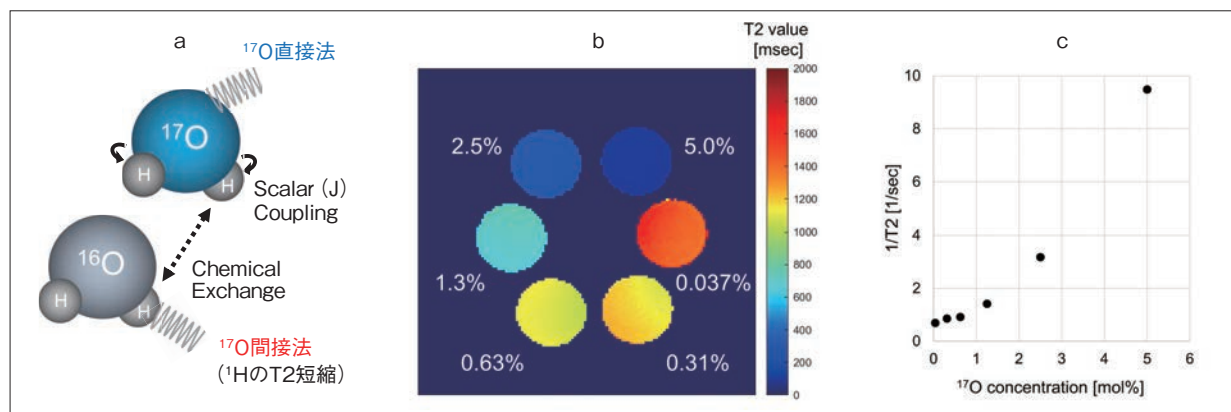


図1 ^{17}O 標識水のMR撮像

a: ^{17}O 直接法と間接法の概念図

b: ^{17}O 標識水濃度サンプル(0.31%, 0.63%, 1.3%, 2.5%, 5.0%)および生理食塩水サンプル(^{17}O の天然存在比, 0.037%)のT2マップ

c: ^{17}O 濃度(mol%)とR2(T2緩和率, 1/s)との関係を示す。

3T ^1H -MRIにおいて、マルチエコースピンエコーシーケンスで取得

(b, cは参考文献1)より引用転載)