

2. CEST

— CESTイメージングの臨床応用とその課題

梶尾 理^{*1}/樋渡 昭雄^{*1}/山下 孝二^{*1}/菊地 一史^{*1}
鈴木由里子^{*2}/Jochen Keupp^{*3}/吉浦 敬^{*4}/本田 浩^{*1}

*1 九州大学大学院医学研究院臨床放射線科学分野

*2 (株) フィリップスエレクトロニクスジャパン *3 Philips Research, Humberg, Germany

*4 鹿児島大学大学院医歯学総合研究科放射線診断治療学

MRIでは形態や生理的な情報は比較的得やすいが、代謝および分子の情報を得ることは容易ではない。分子情報をMRIで得る方法の1つにMR spectroscopyがあるが、信号が低いために空間分解能が低く、測定できる範囲も限られるため、臨床応用には限界がある。chemical exchange saturation transfer (CEST) イメージングは、MRIにおける新規のコントラストに基づく分子イメージング法であり、生体内の重要な代謝化合物や生体内環境に関する情報を提供しうる¹⁾。CESTイメージングには、生体内にすでに存在する物質を対象とした内因性のものと、造影剤として体外から投与する外因性のものがある²⁾。臨床応用に直結するのは内因性のものであるが、バルク水に近い周波数の分子を扱うため技術的に難しく、その臨床応用に向けて克服すべき課題がある。さらに、

生体内で観察される信号には、CEST効果以外の因子も影響するため、結果の解釈は単純ではない。本稿では、CESTイメージングの一手法であるamide proton transfer (APT) イメージングに焦点を当て、臨床的有用性とその課題について触れてみたい。

CESTの原理

生体内にはさまざまな分子が存在するが、通常のプロトンMRIで観察されるのは水と脂肪に限られる。生体内で重要な役割を示す分子は濃度が低く、直接的に画像化することは困難である。CESTイメージングは、そのような生体内の低濃度の分子を画像化する方法として期待されている。CESTイメージングでは、目的とする低濃度の溶質に組み込まれたプロトンと豊富に存在する水分

子(バルク水)のプロトンという2つのプール間でプロトン交換が起こる現象を利用する(図1)。分子化合物に含まれるプロトンは、バルク水とは化学的に異なる環境に置かれているため、共鳴周波数が少し異なる。まず、低濃度分子のプロトンプールを周波数選択的に飽和するRFパルス(飽和パルス)を照射する。飽和されたプロトンは、化学交換(chemical exchange)を介して、飽和されたプロトンがバルク水に移行(saturation transfer)する。飽和パルスの照射を持続的に行うことで飽和されたプロトンがバルク水に移行し続け、そこに蓄積し、結果としてバルク水の信号が低下する。この信号低下をCEST効果と呼び、これをMRIで観察することで低濃度分子のプロトンの量、あるいは交換速度を間接的に知ることができる。すなわち、

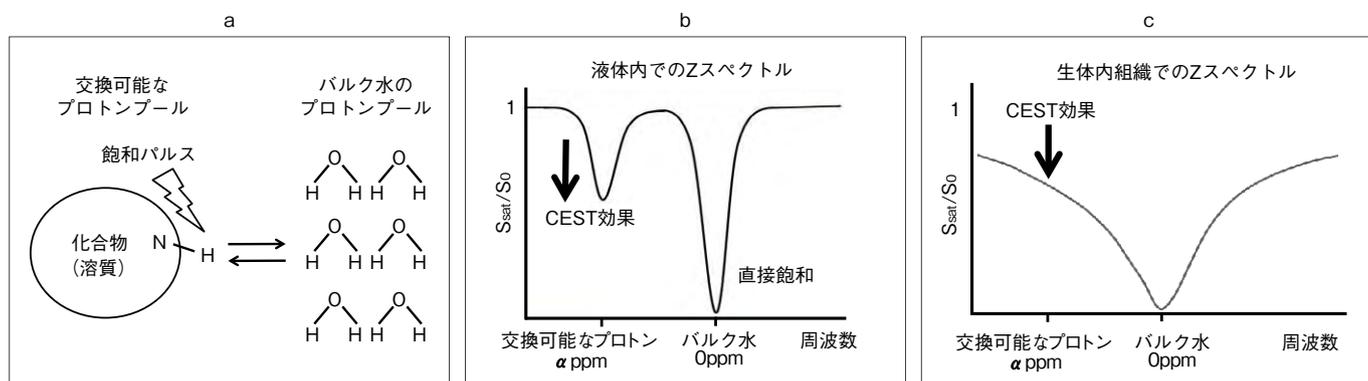


図1 CESTの基本原則

a: 対象とする溶質に含まれる交換可能なプロトンとバルク水との間では、プロトンの交換が起こっている。交換可能なプロトンの周波数に選択的な飽和パルスを照射する。飽和されたプロトンは、交換によりバルク水に移行する。

b: Zスペクトル。バルク水では直接飽和により信号低下が起こるが、交換可能なプロトンではプロトン交換による信号低下が起こり、これをCEST効果と呼ぶ。

c: 生体内でのZスペクトル。CEST効果に背景のMT効果が重なるため、Zスペクトルはなだらかなカーブとなるが、CEST効果は非対称性として認められる。