

II MRI研究の最新動向

2. Arterial spin labeling MRI研究の最新動向

藤間 憲幸 北海道大学病院放射線診断科

arterial spin labeling (ASL) の研究的動向は、推奨される readout、病態に応じた post labeling delay (PLD) の設定、血管内高信号の解釈などといった基礎的な項目に加え、血管-組織間の水交換モデルといった高次元解析、深層学習による画像再構成や定量値出力など、非常に多彩な方向性で進化している。これらのテーマの中でもより注目されているトピックスを中心に ASL の現状を概説する。

到達時間・PLD、撮像デザイン

ASLにおいてラベルされたスピンの寿命の短さ、到達遅延による血流の過小評価の対策はいまだ不完全である。ASLは現在、撮像可能な装置が非常に増えているが、遅延血流評価のオーソドックスな対策として PLD が 2000 ms 以降の遅延相も撮像して解釈するのが一般的である。

近年は、time-encode (block-encode) におけるラベリングとコントロールの分割および組み込み、複数のラベル時間および PLD の撮像によって得られた多信号情報の統合、後処理計算、さらにはこれらの手法を1回の撮像スケジュールにすべて組み合わせたハイブリッド撮像の有効性が報告されており、多時相の血流画像の包括的計算手法として有用性が高いものと予想される。異なるラベル時間および time-encode の配列、異なる TR と multi-delay の設定、さらに、複数時相間の信号情報における k-space

の共有をいかにうまくバランスで構成し、画像情報を取得するかがキーポイントと考えられる。実臨床レベルにおいての撮像としては multi-timepoint に関する報告が国際磁気共鳴医学会 (ISMRM) のグループより出版されており、必要に応じて参照することが望まれる¹⁾。

別のアプローチとして velocity selective encoding も期待される技術である。一般的な ASL は頸部の動脈血にラベルを行い、ラベルされた血液が頭蓋内に到達してから信号取得を行う。それに対して velocity selective encoding は、撮像ボリューム内の特定の条件の速度を持つ対象に直接ラベルを行うことで灌流画像を得る。この手法は撮像ボリュームに直接ラベルをかけることから、PLD を限りなくゼロに近く設定することが可能であり、遅延血流に対する計測エラーも低減される。ただし、この手法は速度を持って移動している対象に gradient をかけてエンコードを行うというものであり、流速が遅い場合などは静止組織との区別も難しくなり、精度の面で課題が残る。

ASL は一般に動脈の灌流情報を見るものであるが、readout を早期から短い間隔で継続的に行うことで血管内レベルの血行動態の可視化が可能であり、特に高分解能で信号取得することにより、血管造影のような時間軸の情報を持った 4D-MRA の再構成が可能である。こちらは末梢血管の描出をより良好にするために、ラベル時間の異なった pCASL ベースの撮像で早期～後期の時相の信

号を取得し、k-space の view sharing を用いて撮像時間の短縮を図る手法が、短時間撮像かつ高い末梢血管描出能を実現するという点で有用性が高い。さらに、血管のラベル面上で xy 方向のエンコードを挿入することにより血管選択性をもたらすことができ、まさに血管造影とほぼ同じ情報を得ることが可能である²⁾。

血管-組織間の動態の画像化

本来、ASL は動脈血の灌流情報を画像化するものである。しかし、特にここ数年で、撮像の技術的な進歩に伴って高い signal to noise ratio (SNR) の画像を短時間で取得することが可能となった背景もあり、ASL の信号で灌流動態をより詳細に探索する高次元モデル解析が進んでいる。具体的には cerebral blood flow (CBF) のみならず、動脈血流が毛細血管床に到達した後の血管-組織間における水の透過性の動態 (water exchange rate) を可視化しようとする試みである。このアプローチは、基本的に多数の撮像条件、パルス系列を包括的に用いることが多いが、肝となる部分の手法として、一つに multi-TE により得られた信号の解析がある。これは大まかに概説すると、毛細血管床内に存在する水成分の T2 緩和と、組織へ移動した後における T2 緩和が異なる (組織内の方が T2 緩和は短い) ことを利用したものである。複数の TE の信号解析を行うことで、血管内の水成分がどの程度の