

## II モダリティ別画像診断の最新動向

### 2. MRIの進歩と臨床的有用性

# 3) 灌流画像 (perfusion MRI)

藤本 晃司 / 木戸 晶 / 富樫かおり 京都大学大学院医学研究科放射線医学講座

近年、MRIの高速撮像技術の進歩により、造影剤投与後の組織の信号を高い時間分解能で撮像することが可能となってきた。

一方、治療においては、腫瘍増殖や血管新生に関与する分子を標的とした薬剤の臨床応用が数多く行われつつある。これらの分子標的薬剤の治験においては、腫瘍縮小に先行して見られる血行動態の変化を灌流MRI (以下、perfusion MRI) を用いて評価しようという試みが始まっている。

腫瘍における低灌流状態は低酸素と関連すると考えられることから、女性骨盤領域では子宮頸がんを対象として造影ダイナミックMRIやperfusion MRIを用いた治療効果予測や予後予測に関する研究が試みられている。本稿ではその理論的背景、撮像法、解析手法に関して概説した後、最近の研究について紹介する。

### 女性骨盤領域における造影ダイナミックMRIの現状

子宮頸がんおよび体がんにおけるMRIの最も重要な役割は、病変の質的診断ではなく、腫瘍の広がり診断ならびにリンパ節転移の評価である。局所の広がり診断としての造影ダイナミックMRIは、子宮体がんにおいては早期相(0~1分後)で内膜直下のsubendometrial enhancement (SEE) が保たれていれば筋層浸潤は否定できる<sup>1)</sup>とされ、また腫瘍と筋層とのコントラストが最も良好になる造影後期相(2~3分後)は深部筋層浸潤の評価に有用とされている<sup>2)</sup>。子

宮頸がんに関しては、腫瘍が早期濃染するため有用という報告がある<sup>1), 3)</sup>が、T2強調像と有意差なしという報告<sup>4), 5)</sup>や造影ダイナミックMRIは腫瘍の進展範囲を過大評価するという報告もあり<sup>6)</sup>、必須の検査とはされていない。

治療方針の決定においては、他部位同様、子宮頸がんにおいても腫瘍の大きさ、進展範囲、ならびにリンパ節転移の有無が重要な役割を果たす<sup>7), 8)</sup>が、これら形態評価に基づく治療効果予測は必ずしも的確とは限らない。

### Perfusion MRIとは

日常臨床で用いられる低分子量の造影剤は、組織に到達後、毛細血管内皮細胞の隙間から漏れ出て組織に分布する。これらの造影剤は細胞膜を通過しないため、血管内においては血漿中に、組織においては間質に分布する。腫瘍における新生血管は通常よりも脆弱で屈曲・蛇行しており、毛細血管(capillary)からの造影剤の漏れ出しやすさ(透過性、leakiness)も亢進しているとされる。

近年、高磁場装置の普及とMRIの高速撮像技術の進歩により、造影剤投与後の組織の信号を高い時間分解能で撮像する造影ダイナミックMRIが可能となり、血管内や組織における信号強度の経時的変化を詳細にとらえることが可能となった。この造影ダイナミックMRIを用いて灌流(毛細血管レベルの血流動態)を視覚化する手法は、従来の造影ダイナミックMRIと区別して、perfu-

sion MRIと呼ばれる。

造影ダイナミックMRIの解析手法は、半定量的手法と定量的手法に大別される。maximum slopeやwash-in speedなどを指標とする半定量的(semi-quantitative)解析は、得られた画像の信号強度の時間変化をそのまま解析する手法を指す。解析は簡便であるが、MRIの信号強度と造影剤濃度に直接の比例関係が成立しないことから、パルスシーケンスに依存する、再現性が悪いなどの問題があり、また得られたパラメータの意味づけは困難である。

これに対して、perfusion MRIでは組織における造影剤の濃度を求め、その時間変化を薬物動態モデリング(pharmacokinetic modeling)を用いて、定量的(quantitative)に解析を行うことができる。perfusion MRIの解析は複雑だが、定量的な値が得られ、また得られた値を腫瘍の血行動態と関連づけることが可能という特長を持つ。さらに、この解析手法は近年盛んに開発されている血管新生阻害薬による治療早期の効果判定に利用可能であるという点からも注目を集めている。

### 薬物動態モデリングとは

灌流に関連した指標を得るためには、組織を複数の均一なコンパートメントからなるとみなしてモデル化する「コンパートメントモデリング(以下、薬物動態モデリング)」が用いられる(図1)。以下に、薬物動態モデリングを用いた定量的解析の手法のうち、最も一般的なものについて