

心臓の高速MRIの現状と展望

—核医学と比較して—

佐久間 肇, 竹田 寛

(三重大学医学部 放射線科)

心疾患の診断では形態だけでなく心筋壁運動や血流などの機能的情報を正確に評価する必要がある。これまで心臓のMRIは先天性心疾患, 心膜疾患, 心筋症などの形態の評価に用いられてきたが, 虚血性心疾患における有用性は限られていた。最近のEPIを含む高速MR撮像法の進歩により, 冠動脈の形態と冠動脈血流, 心筋perfusion, 局所壁運動など虚血性心疾患の診断に必要な形態+機能の情報を非侵襲的に得られるようになりつつある。

高速MRIによる心臓の形態と壁運動の評価

グラディエントエコー (GRE) 法によるシネMRIを用いて心室全体の動画像を撮像することにより, 3次元データに基づく再現性の高い心室容積, 駆出分画, 心筋重量などの計測値が得られる。従来のシネMRIの欠点は撮像時間がかかることであったが, 90年代初めに登場したk空間分割GRE法は撮像時間の大幅な短縮をもたらし, 呼吸停止下のシネMRI撮像が可能になった (図1)。呼吸停止シネMRIでは呼吸アーチファクトが低減され, 心室全体をカバーするシネMRIを10分以内に撮像可能であり, 局所心筋および左室機能, 心筋重量の正確なデータを短時間で得ることができる。また, ダブルIRファストスピニングエコー (FSE) 法を用いると血流と呼吸のアーチファクトの少ない良好な心筋のT2強調画像を得ることが可能であり, 急性一重急性期の梗塞心筋を描出することができる。MRIは核医学検査よりも空間分解能が高く散乱線の影響のない画像を提供できるため, 心臓の形態と心筋壁運動の評価に適している。

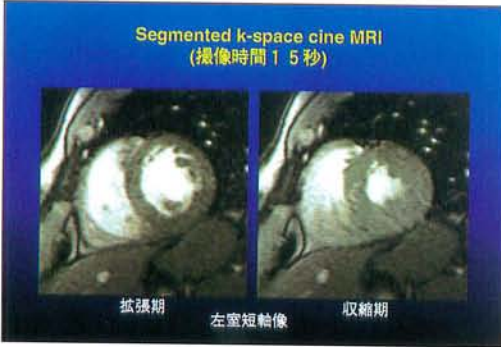
循環器領域のMRアンギオ

大動脈や肺動脈のMRAは, 造影剤ボラス静注を併用した呼吸停止3D-MRAが導入されて画質と臨床的有用性が飛躍的に向上した。造影剤ボラス静注3D-MRAは高濃度の造影剤が目的血管を通過する際の高い信号増強効果を利用するもので, DSAにほぼ匹敵するアンギオ像が得られる (図2)。冠動脈MRAは循環器領域において最も期待されているMRIの応用分野である。2D法による冠動脈MRAではk空間分割データ収集, スパイラルス

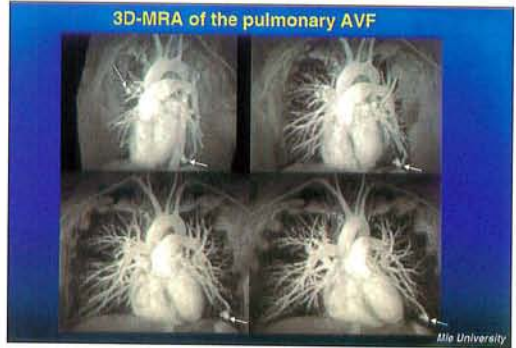
キャン, EPI等の方法を用いて呼吸停止下にデータ収集が行われる。2D-MRAの冠動脈狭窄病変に対する検出感度は62~90%と報告者によってかなり幅があるのが現状である。2D-MRAのメリットは一回の呼吸停止下に画像データを得られ呼吸性のブレが少ないことである。一方, 冠動脈の3D-MRAではナビゲータエコー (呼吸同期収集法) をはじめとする撮像技術の改良が日進月歩で進行中である。冠動脈の3D-MRAでは3Dボリュームデータが得られるため, 検査後に任意断面の冠動脈像を再構成することができる (図3)。ただし, RF励起される3Dスライスが厚くサチュレーションの影響を受けやすいため, 将来血管内造影剤の投与が有用と考えられている。

心筋perfusion MRI

心筋perfusion MRIはEPIを含む超高速MRIの有用性が最も期待されている領域である。T1短縮MR造影剤をボラス投与すると正常心筋の信号強度は急速に上昇するが, 虚血部位では造影剤の到達が遅延し低信号の領域として認められる (図4, 5)。Gd-DTPAなどのMR用造影剤は心筋細胞に特異的に集積せず細胞外液に非特異的に分布するため, 正常—虚血心筋のコントラストは投与後時間とともに急速に消失する。したがって, 心筋perfusion MRIではボラス投与した造影剤の心筋first passの動態を観察する必要があり, ダイナミックMRIに高い時間分解能が要求される。超高速撮像法であるEPIを利用すると高速GRE法よりも時間分解能の高いマルチスライスダイナミックMRIを得ることができる。我々の施設において, 12例の虚血性心疾患患者を対象として, ジピリダモール負荷サチュレーションリカバリ (SR)-EPIによる心筋虚血検出能を負荷心筋シンチグラフィと比較したところ, SR-EPIによる心筋虚血の検出感度は81%, 特異度は100%であった。他施設における検討も含めて, 心筋perfusion MRIの心筋虚血検出感度は核医学検査と比較して低い傾向にあるが, その要因として1) ダイナミックMRIの時間分解能とスライス枚数がまだ不十分である, 2)



▲ 図1



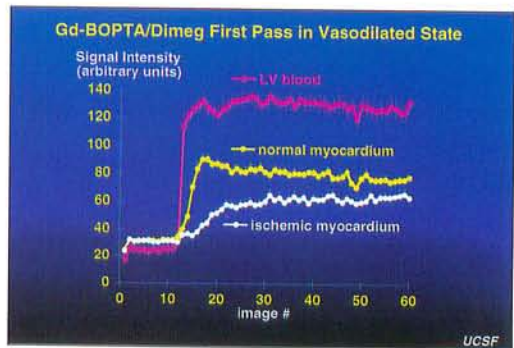
▲ 図2



▲ 図3



▲ 図4



▲ 図5

perfusion MRIでは運動負荷でなく薬物負荷が使用されることが多い、3)非可逆的障害を受けた心筋に血流が再灌流した場合、perfusion MRIは正常所見、核医学検査は異常所見を示す可能性があるなどが考えられる。

MRIによる冠動脈血流計測

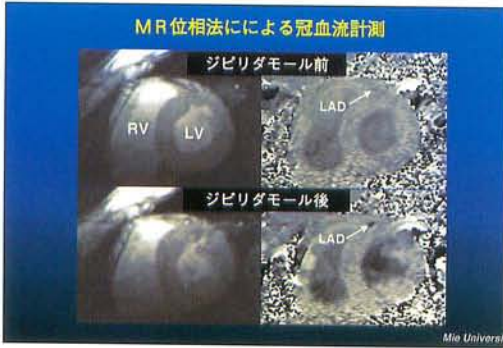
冠動脈血流予備能(CFR)は安静時冠血流量と冠血管拡張剤投与後の最大冠血流量の比であり、冠動脈の機能的狭窄度を反映する。CFRの評価にはドップラフローワイヤ等の侵襲的方法が用いられてきたが、最近の高速フェーズコントラストシネMRIを用いて、非侵襲的に冠動脈血流速度やCFRを計測できるようになった(図6)。我々の施設における検討では、冠動脈に有意狭窄を有する患者10例のMRIによるCFRは正常群10例における予備能よりも有意に低下していた(1.62 ± 0.50 vs. 3.14 ± 0.59 , $p < 0.01$, 図7)。MRIによる冠動脈血流計測を用いると、冠動脈バイパスグラフトやPTCA, ステント治療後の再狭窄の診断を非侵襲的に行うことが可能である。

肥大型心筋症(HCM)では心筋1gあたりの血流量とCFRの低下がみられるが、心筋血流量の計測にはPETが必要であった。左室心筋血流の約9割は冠静脈洞を通過して右房に流入するため、MRIによる冠静脈洞血流量の計測値は左室全体の心筋血流量のよい指標となる(図8)。さらに、高速シネMRIから左室心筋重量も計測すれば心筋1gあたりの心筋血流量を定量評価することも可能である。我々の検討では、HCM 17例におけるジピリダモール負荷後の心筋血流量と血流予備能は $0.98 \pm 0.36 \text{ ml/min/g}$ および 1.86 ± 0.56 であり、いずれも正常9例よりも有意に低下していた($2.14 \pm 0.51 \text{ ml/min/g}$, 3.11 ± 1.37 , $p < 0.01$, 図9)。MRIによる心筋1gあたりの心筋血流量の評価は肥大大心や拡張型心筋症における病態の評価、治療方針の決定などに有用性が期待される。

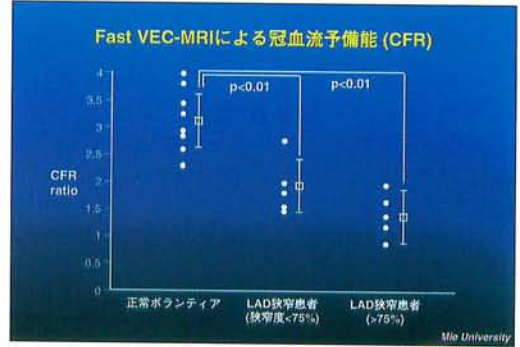
まとめ

心大血管の高速MRIの進歩に伴い、局所心筋壁運動、冠動脈の形態と血流、心筋perfusionなどを含む形態と機能両面の評価が可能となってきた(図10)。MRIは心臓の形態的診断と心筋壁運動の評価においては核医学検査よりも優れていると考えられる。心筋perfusion MRIは技術的に発展途上にあり、心筋シンチグラフィと比較して臨床的有用性はまだ低い。しかし、MRIは空間分解能が高く心内膜下虚血の検出も原理的に可能であり、形

態+局所血流+収縮拡張機能を1回の検査で総合的に評価できるため、長期的にみればMRIが冠血流および組織perfusionの評価に利用される可能性は高いと思われる。心筋代謝に関しては、P-31MRスペクトロスコピーを用いて高エネルギー燐酸代謝の評価を行うことができるが、P-31MRSの空間分解能は低く将来的にも解決困難と思われる。造影剤を用いた心筋代謝、レセプター、免疫イメージングに関しても、MRI上信号変化を生じるためには核医学トレーサーの 10^5 倍もの造影剤濃度が必要とされており、副作用等の点から診断に利用できるMR製剤はかなり限定される。従って代謝、レセプター、免疫イメージングの領域においては今後も核医学が主役でありつづけるとと思われる。



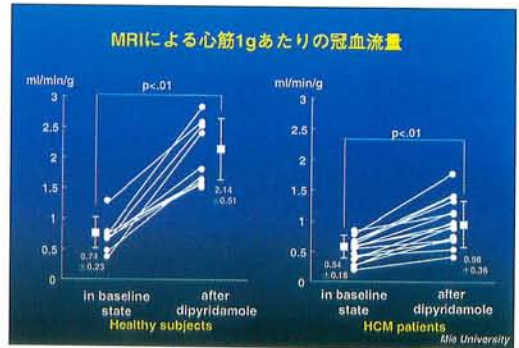
▲ 図6



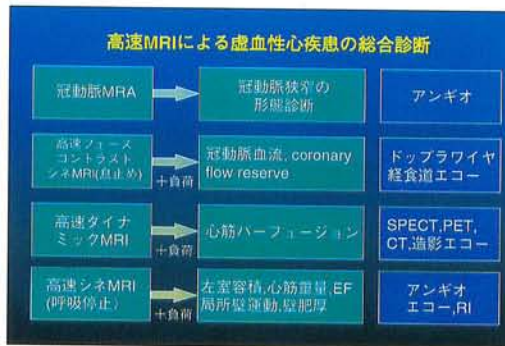
▲ 図7



▲ 図8



▲ 図9



▲ 図10