

心臓 MRI 検査における撮像技術

(株)フィリップスエレクトロニクスジャパンメディカルシステムズ

営業本部 テクニカル&クリニカルサポート部 MRアプリケーション 松本 光代

1. はじめに

近年、CT・MRIといった画像診断機器の急成長がめざましい。このような背景の中、“胸痛患者に対する確定診断のプロセス”に変化が出てきている。現在と過去を振り返った時、様々な画像診断装置の急成長が確定診断、治療へのプロセス(治療後のフォローアップも含む)に変化を与えてきたのである。今回は、心臓MRI検査におけるフィリップスの最新撮像技術について紹介する。

2. 心電同期法

MRI画像に影響を与える因子には生理的体動がある。生理的体動に合わせた撮像を同期撮像という。人体において、最も大きな生理的体動が心拍動である。心電同期法は、心電図波形と同期させてMRI信号を収集することにより、拍動によるアーチファクトの少ない画像を得る技術である。

1) 心電同期トリガー

心電同期を行うために通常、電位変化の大きいR波を撮像の起点(トリガー)とする。このR波を検知するのがVCG(ベクトル心電図)である(図1)。

従来の3点電極ECGでは、大動脈の拍動等から影響するノイズのためにR波を高く検知できない、またマグネット内に被写体が入ると磁場の影響によりT波が上昇する現象が起こる。その際は、電極装着位置を再設定していたため、検査開始までの準備時間が非常に長くかかっていた。それに比較してVCGは電極を4点装着し、2方向ベクトル

の電位差よりR波を精度良く検知する事を可能とし、検査スループットを向上させた。

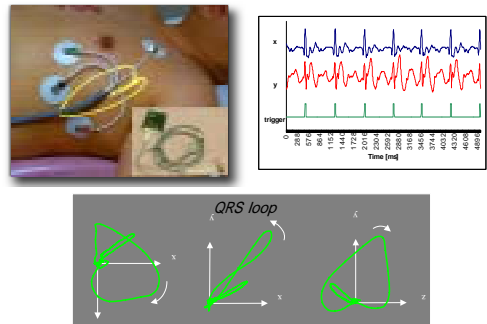


図1:ベクトル心電図

XY方向の2方向ベクトルの電位差を検知することにより、大動脈拍動の影響によるノイズ成分と心電波形とを正確に分離することが可能である。

2) 心電同期撮像

心電同期撮像には、R波が検知できた時点を撮像開始とするTrigger法(Prospective gating)、R波とは無関係に連続的にデータ収集を行い、画像再構成時に同一時相データを並び変えるRetrospective gatingがある(図2)。

はR波直前のデータ収集が困難であるが、では心周期全体のデータ収集が可能であり、心機能解析などに有効である。

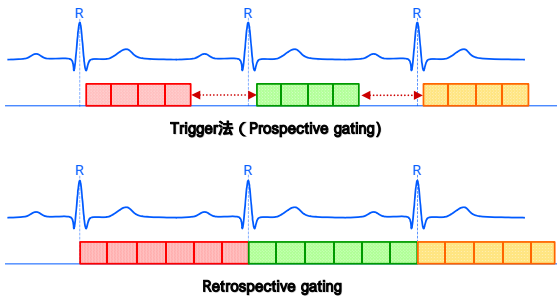


図2：心電同期法

Retrospectlive gating は、Trigger と比較して心周期全体のデータ収集が可能である。

3. 心筋壁運動評価

心筋壁運動評価では、ある断面を1心拍間にわたり多時相で撮像し、心筋の収縮拡張機能の評価するCINE撮像を行う。近年、高速撮像技術であるSENSE法とSteady Stateグラディエントエコー法であるBalancedシーケンスの登場により、高速かつ高コントラスト画像が得られるようになった。

1) SENSE法

複数の受信コイルを用いてデータ収集を行い、位相エンコード数を減少させることにより時間短縮を可能とする技術である。CINE撮像では、SENSE法の併用によりさらに多時相画像が得られる、もしくは同時相数でさらに高い空間分解能画像を得ることが可能である。

2) Balancedシーケンス

高周波パルスを短時間に連続照射することにより、MRI信号は定常状態に達する。データ収集時に磁化ベクトルの位相分散を、3軸方向のRewinder gradientにより収束させるため、従来のFFE法と比較して非常に高いSNRを示し、心腔内血流と心筋との高いコントラストが得られる。最近では、BalancedシーケンスはCINE撮像のみならず、後述する灌流画像Perfusion、冠動脈形態評価であるWhole Heart Coronary MRAにおいても使用されている。

4. 心機能評価

心機能評価には、心筋虚血を診断する灌流画像(Dynamic MRI)、梗塞心筋を診断する遅延造影画像(Delayed Enhancement)が行われている。

1) 心筋灌流画像(Dynamic MRI)

心筋虚血の診断には、ATPやシビリタモール等の冠動脈拡張剤を使用した薬物負荷心筋Dynamic MRIが行われる。MRI用造影剤(Gd-DTPA)を急速に静注し、4~6スライスを高速にダイナミック撮像を行う。撮像シーケンスは、Segment K-space型のTFEと超高速撮像法EPIを組み合わせたTFEPIや、上記Balancedシーケンスが用いられている。造影剤によるT1コントラスト増強効果をもたらす非選択的プリパレーションパルスを励起スライス毎に挿入するため、2心拍を1心拍として4~6スライス撮像する(図3)。

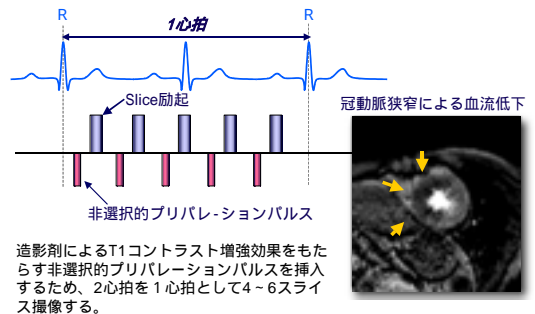


図3：心筋灌流画像 Perfusion

2) 遅延造影画像(Delayed Enhancement)

梗塞心筋の診断には、MRI造影剤注入15分後より遅延造影撮像(Delayed Enhancement)が行われる。Gd造影剤は血液と細胞外液に分布し、正常細胞内には取り込まれず、破壊された細胞内に長時間貯留する。この正常心筋と造影剤が貯留した病変部のコントラストを鮮明に描出するために、Segment K-space型TFEシーケンスにプリパレーションパルスとして180°パルスを挿入し、正常心筋を無信号にしている。患者毎で正常心筋が無信号となるTI delayが異なるため、最適TI delayを検索するLook-Lockerを撮像する。Look-Lockerは、一回の呼吸停止にてTI delayを変化させながら撮像するため、心筋信号のT1回復に

よる信号変化を観察できる。Look-Locker で検索した最適 TI delay を用いて遅延造影撮像を行う。最近では一回の呼吸停止で左室全体を撮像できる 3D にて、空間分解能を向上させて撮像している (図 4)。

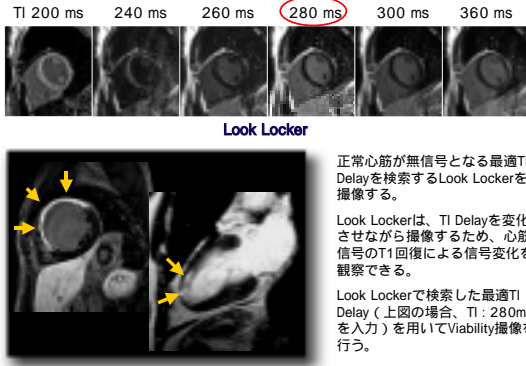


図 4 : 遅延造影画像 Viability

5 . 冠動脈形態評価

従来の冠動脈撮像は、1本の冠動脈に合わせてプランニングを行い、その撮像領域は 30 ~ 50mm 程度とわずかで、撮像時間は 5 分以上を要していた。3 分枝病変を疑う場合において、全ての冠動脈を描出するためには非常に時間がかかっていた。2004 年 Weber らによって考案された Whole Heart Coronary MRA は、一度の撮像で 3 本の冠動脈を Volume でデータ収集を行う。ボクセルサイズは 0.5mm x 0.5mm x 0.75mm であり、等方形に近いボクセルで撮像することにより、後処理にて任意方向の Carved MPR の作成や、Volume Rendering 画像を作成することが可能となる。

1) Navigator Echo による呼吸同期

位置決め画像より、肝臓の上縁部に肺野と肝臓の境界を含むよう、ペンシルビームである Navigator Echo を設定する。横隔膜の上下運動をリアルタイムで正確に検知した呼吸同期撮像となる。事前準備として、肝臓下縁レベルに腹帯をしっかり巻き、横隔膜の上下運動を固定することにより、撮像時間の短縮と体動による画質劣化を低減している。(Belt Technique : BLT) (図 5)

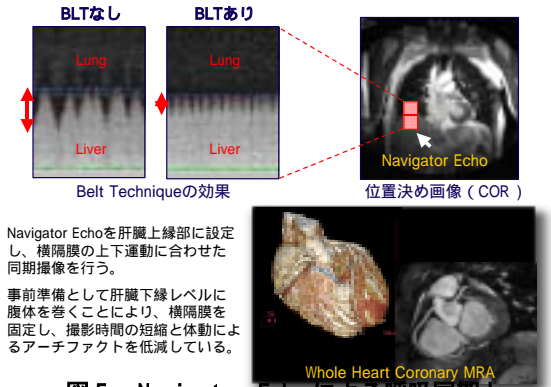


図 5 : Navigator Echo による呼吸同期と Belt Technique

2) 冠動脈静止時間の検索

心臓と共に拍動を繰り返す冠動脈だが、1心拍において同一位置に静止する期間が存在する。その冠動脈の静止時間を 50 ~ 200 時相の CINE 画像にて検索する。1心拍内を細かい時相で観察することにより、患者毎の冠動脈静止時間に合わせた撮像が行える (図 6)。

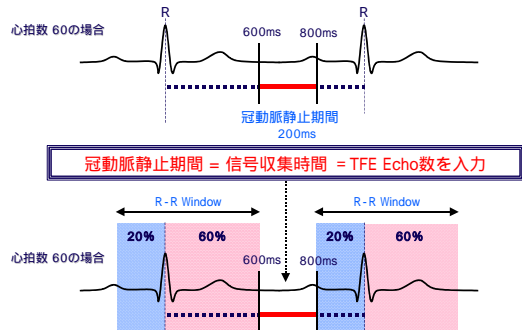


図 6 : Whole Heart Coronary MRA 詳細設定

3) 信号収集時間の設定

2) で検索した冠動脈の静止時間とデータ収集時間を一致するよう、Balanced-TFE シーケンスの Echo 数 (TFE-Factor) を設定する。

4) R-R Window (R 波感知領域) の設定

2) で検索した冠動脈の静止時間以外を R-R window (R 波検知領域) として設定する。1 心拍を 100% とし、R 波前後の時間をパーセンテージ% で設定することで、静止時間以外のいずれに R 波が到来しても、R 波を検知することが可能となり、心拍の変動に対応することができる。

6 . おわりに

心臓 MRI 検査は、様々な技術の向上に伴い一般検査への組み込みが可能となり、また “胸痛患者に対する確定診断のプロセス” に変化を与えた。今後も更に MRI ならではの安全性の高い低侵襲的検査の確立、予防医学への貢献等が期待できる。