放射線学総論・MRI

新潟大・歯学部歯学科　２年生　講義ノート

2024.1.24　顎顔面放射線学分野・西山

●MRI とは？

Magnetic Resonance Imaging （磁気　共鳴　撮像法）の略

●見えるもの（量子力学は不要、臨床上の利用では、古典力学の範疇で十分）

生体内の**水素原子核（プロトン＝陽子）**は**磁場（0.3～3T 程度）内**に置かれると、量子力学的な**スピン（＝古典力学での自転相当と考える※）**として２つの状態に分裂し、古典力学的な**【小さな磁石】（磁気モーメント、磁気双極子）**になる。**【小さな磁石】**は**磁場強度に比例した Larmor 歳差運動**を行う。**この Larmor 歳差運動の周波数を有する電磁波（RF 波；Radio Frequency pulse、FM 帯域の電磁波）**を**【小さな磁石】**が吸収（**共鳴**）し（＝**核磁気共鳴現象**）、放出する現象（＝**緩和現象**）を利用する。単位体積（ボクセル）内の**プロトン密度**や、縦方向（静磁場方向）への **T1 緩和**、横方向（静磁場に直交する平面内）での **T2 緩和**状態を主として画像化する。（基本原理は右ネジの法則のみで理解可能）

※実際には古典力学では「量子力学のスピン」に対応するものはないが、角運動量としての相同性、および歴史的に教科書レベルで扱われてきた描出との整合性を取ることとする。

●必要な機材と安全対策

主磁場：主として超電導磁石（0.5～3T 程度）、永久磁石（0.2～0.4T 程度まで）もある。

変動磁場、傾斜磁場：複数の磁場勾配コイルを組み合わせ変化させる。→　空間内の位置決め

電磁波の送受信機：RF 波（FM 帯域の電磁波）を送受信するコイル

受信した電磁波を処理し、画像に変換するシステム

その他：アクティブシールド、電磁波・磁気シールド。参照：5 ガウスライン

緊急時の装置：緊急消磁ボタン。酸素濃度モニタ。換気システム。参照：クエンチ

立入制限区域の設定と警告表示　参照：吸着事故、ペースメーカー、体内金属、ジュール熱での熱傷

●画像の基本項目

基本的な撮像シーケンス：SE（Spin Echo、スピンエコー）法と GRE（Gradient Echo、グラディエントエコー）ないし FE（Field Echo、フィールドエコー）法

■装置側の主たるパラメータ：

◎**TR**（Repetition Time、繰り返し時間＝90 度パルスの間隔）

◎**TE**（Echo Time、エコー時間＝90 度パルスから信号を得るまでの時間間隔。スピンエコーの場合、90 度パルスと 180 度パルスの間隔の 2 倍）

○フリップ角（グラディエントエコーのパラメータ、スピンエコーでの 90 度に相当）

■組織側の主たるパラメータ：**PD（プロトン密度）、T1 緩和（縦緩和）、T2 緩和（横緩和）**、流速

■SE 法で主として得られる画像の種類：（WI=Weighted Image、強調像）

※最大の信号強度は「プロトン密度」、他の画像は「プロトン密度」×「1 以下の回復率（減衰率）」

PDWI（**プロトン密度強調像**）　--- T1、T2 緩和の影響も含まれる。

TR=2000～4000msec 程度、TE=20msec 以下程度

T1WI（**T1 強調像**）--- プロトン密度×T1 緩和状態（T2 緩和の影響も少しあり）

TR=500msec 程度、TE=20msec 以下程度

T2WI（**T2 強調像**）--- プロトン密度×T2 緩和状態（T1 緩和の影響も少しあり）

TR=2000～4000msec 程度、TE=100msec 程度

●T1 緩和と T2 緩和について（主たる要因）

１．吸収（共鳴）にて得られたエネルギーを放出する速度が影響（T1,T2 緩和共通）

２．磁気双極子・双極子相互作用（ランダムな局所磁場の変動）による位相の乱れによる緩和（T2緩和に影響）←水分子（液体）の場合、周囲に多くの原子・分子が存在する程、緩和速度が早い。

３．T1 強調像では、（縦）緩和の速度が速いと高信号　⇔　緩和速度が遅いと低信号。

４．T2 強調像では、（横）緩和の速度が速いと低信号　⇔　緩和速度が遅いと高信号。

５．参照：T2*（T2 スター）緩和 --- GRE 法（FE 法）での信号強度に影響。静的な局所磁場の影響。

●信号強度の基本（※重要）

１．基本的に脂肪成分・水成分の両方とも少ないところは黒い。

２．水と脂肪以外のプロトン（水素原子核）は、ほとんど無視してもいい。

３．プロトン密度×緩和による回復の程度（最大 100%）=各種の強調像（最大プロトン密度）

４．水が高分子の近くにある場合、プロトンのエネルギー放出が早く、T1,T2 緩和時間共に短くなる。

５．水の周囲に高分子がない場合、プロトンのエネルギー放出が遅く、T1,T2 緩和時間が長くなる。

６．脂肪は高分子のためプロトンのエネルギー放出が早く、T1,T2 緩和時間が共に短くなる。【注】

【注】脂肪の信号について

T2 強調像では、原理的にはプロトン密度が高く（高信号）、緩和速度が速い（T2 低信号）ので、中等度の信号強度になるはずだが、撮像時間を短縮するため通常は FSE（Fast Spin Echo）ないし TSE（Turbo Spin Echo）という高速撮像を用いるので、脂肪の信号強度が高くなってしまう。

→　顎顔面領域では脂肪抑制法が併用される場合が多い。参照：J-Coupling

●脂肪抑制法：主として CHESS 法、STIR 法の 2 種類

脂肪組織内ないし脂肪組織の混在する領域に病変があると、高速 SE 法での T2 強調像や、造影後の T1 強調像にて高信号となる場合に周囲脂肪と区別困難となる。このような場合に脂肪抑制法を併用することで、病変と周囲とのコントラストを付けることができる。

●造影剤（水溶性であり、体内動態は基本的に CT のヨード系造影剤と類似）

緩和を促進する物質、頭頸部では不対電子を多く含むガドリニウムイオン（Gd^{3+}）をキレートした薬剤を用いる。生理学的な動態や原理、禁忌については、腎排泄を含め、CT でのヨード系造影剤に準じる。緩和が促進されるので、血管からの造影剤が浸透しやすい組織では、T1 強調像で低信号な領域が高信号へと変化する。

●禁忌（絶対および原則、ならびに相対禁忌を含む）

体内に強磁性体金属（特に脳動脈瘤クリップ）、人工内耳、あるいは心臓ペースメーカーがあると禁忌（一部、MR 対応のペースメーカーで専属の ME が対応できる場合もある）。両手を組んだり金属を含めて比較的長い伝導回路が形成された場合に、RF 電磁波や変動磁場にて電磁誘導が生じ、界面にて熱傷（体内金属の場合は深部熱傷）を発生する危険性がある。参照：SAR

その他：刺青、金属粉の入った化粧品（アイシャドゥ等）、カラーコンタクトレンズ、ヒートテックの肌着、銀を含むマスクなど、閉所恐怖症、妊娠（の可能性、胎児に対する安全性は確立していない）

●アーチファクト

傾斜磁場（の均質性）にて位置を同定するシステムのため、透磁率の異なる組織周囲で歪が生じる。特に磁性体（金属）があると、周囲の信号がほぼ球状に欠損し、周辺部で画像の歪と信号強度が不均一となる。金・銀・パラジウムなどの貴金属系での影響は小さい。チタンは中等度。（矯正装置を含む）Co,Cr,Ni 等の合金や一部のステンレスは影響度が大きく、検査不可になる可能性がある。

●その他

撮影時の騒音、Perfusion（潅流）MRI、Diffusion weighted（拡散強調）MRI、dynamic（ダイナミック）MRI、MRA（MR アンギオグラフィー）、fMRI（functional MRI、機能的 MRI）