

第1章 乳腺MRIのbasic science

はじめに

X線診断装置や超音波検査に加えMRIが生体の画像診断の手段として応用されるようになったのは近年のことである。もっぱら頭部、骨軟部領域が主な撮像部位であったが、ハード面とソフト面が著しく進歩し、時間・空間分解能の大幅な向上により全身の診断に用いられるようになった。マンモグラフィと超音波検査が中心に行われていた乳腺領域でも、乳腺専用コイルが出現し、高分解能の画像が得られるようになり、乳腺疾患の質的診断、乳癌の広がり診断に利用されるようになってきた。MRIの理論は複雑で敬遠されがちであるが、得られた画像情報の解析と臨床面での応用のためにはある程度の基礎知識は必要である。本章では、乳腺MRIの読影に必要な最小限の基礎に限定して概説する。MRIの原理に関するより詳しい内容は、多くの専門書が既刊されているのでそちらを参照されたい。

MRIの原理

MRI (magnetic resonance imaging) はNMR (nuclear magnetic resonance : 核磁気共鳴) の原理を応用して人体の断層像を構成する検査法で、特定の原子核のエネルギー変化を利用して画像を作っている。しかし、1つの原子核のエネルギー変化は非常に小さく、十分な情報を得ることができないため、大量に分布している原子核を対象にする必要があり、生体内では広範囲で最も多く存在する水素原子 (プロトン) を標的としている。適切な条件下で体内のプロトンに対して体外よりラジオ波 (radio frequency pulse) をあてると、プロ

トンはエネルギーを吸収し共鳴する (NMR現象)。ラジオ波がなくなるとプロトンはまた元の状態に戻るが、この時、吸収したエネルギーを放出する。これがMR信号として検出される (図1.1)。このMR信号をフーリエ変換など複雑な処理をして作られた画像がMR画像である。実際の検査では、MR装置本体の静止磁場が適切な条件をつくりラジオ波を送信し、乳腺専用コイルでMR信号の受信を行っている (図1.2)。

プロトンの発するMR信号の強度は、生体内外のいくつかの因子の影響を受けて変化する。生体内の因子を内的因子、生体外の因子を外的因子と呼んでいる。内的因子は生体の各組織固有のものでプロトン密度、T1 (縦緩和) 時間、T2 (横緩和) 時間、流速、拡散係数などがあり、人為的に調節することはできない。一方、外的因子には静止磁場強度やパルス系列などがあり適切な条件を設定することができる (図1.3)。内的因子のどれか1つを強調し画像にできれば、各組織の信号強度の違いを画像に反映でき、組織間のコントラストをつけて組織の分解が可能になる。例えば、T1時間を強調させる目的で外的因子を適切に設定したものがT1強調像、T2時間を強調させたものがT2強調像である。

診療に必要なMRI専門用語

1. 静止磁場 (外部磁場)

通常、生体内のプロトンの磁力ベクトルは無秩序にさまざまな方向を向いている。このままの状態では、プロトンの正味磁場 (磁力ベクトルの総和) はゼロで、ラジオ波をあててもMR信号を検出することはできない。そこで、生体外に大きな磁

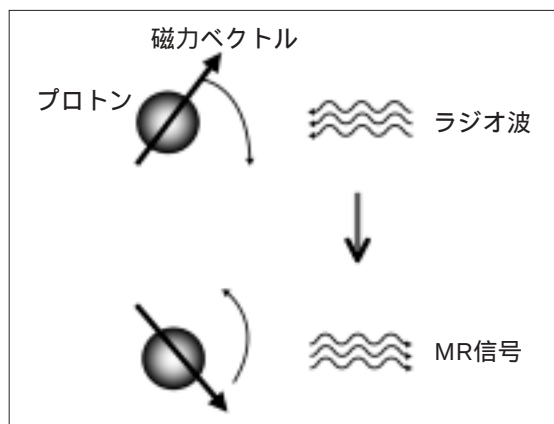


図1.1 MRIの原理

プロトンにラジオ波をあてるとNMR現象のため磁力ベクトルの方向が変化する。ラジオ波がなくなるとベクトルは元の状態に戻り、その際にMR信号を放出する。

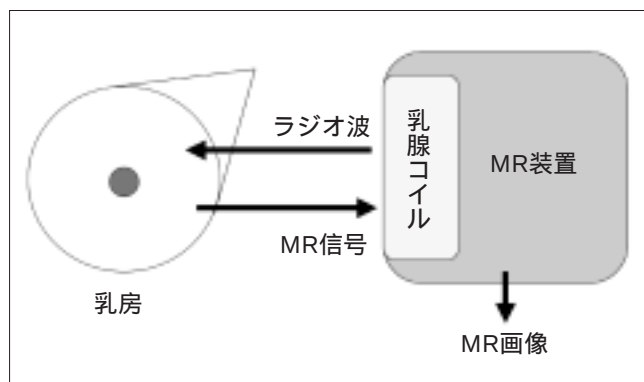


図1.2 乳腺コイルの役割

乳房の場合には、MRI本体の静止磁場が適切な条件をつくり、ラジオ波の送信を行い、乳腺コイルでMR信号の受信を行っている。

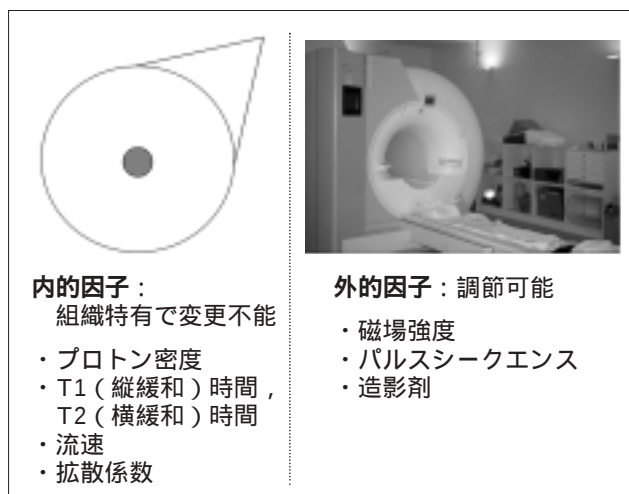


図1.3 内的因子と外的因子

場（外部磁場）をつくりプロトンをなるべく多く一方向に整列させる必要がある（図1.4）。整列したプロトンにラジオ波をあてると、正味磁化ベクトル（外部磁場により整列したプロトンの磁力ベクトルの総和）はエネルギーを吸収し特定の方向を向く。その後、エネルギーを放出し元の状態（外部磁場により整列した状態）に戻る過程でMR信号が検出される（図1.5）。この外部磁場は静止磁場と呼ばれMR装置により決まっている。大きな静止磁場をつくることで、より多くのプロトンが整列し正味磁化ベクトルが大きくなる。つまり、高磁場（1.0T以上）のMR装置の方が、得られるMR信号も大きく分解能も高い（図1.6）。MR装置の磁場の単位は「T：テスラ（tesla）」が用いられ、全身用の

臨床装置としては1.5Tが最も高磁場である。

2．MR信号

MR画像を構成する情報である。静止磁場で整列したプロトンの正味磁化ベクトルは、特定の周波数のラジオ波のエネルギーを吸収し、その方向を変化させる。その後静止磁場内で元の方向に再び整列する。この時、体内から発する信号がMR信号である。この信号に適切な変換、処理を加え作られた画像がMR画像である。乳腺MRIでは乳腺専用コイルを用いMR信号の収集を行っている。

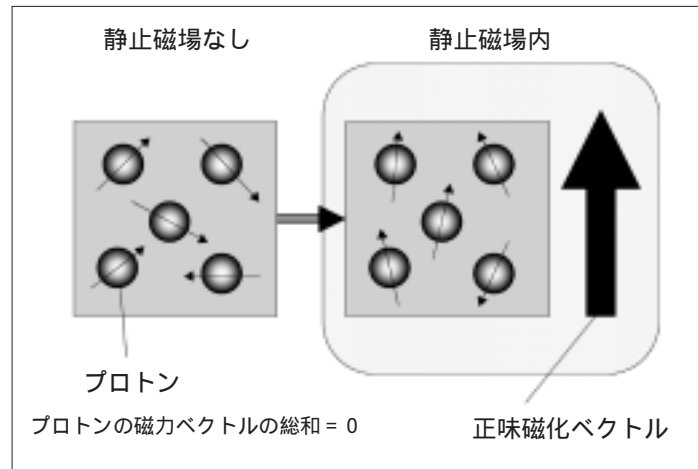


図1.4 静止磁場

生体内ではプロトンの磁気ベクトルは無秩序な方向を向いており、その総和はゼロとなるが、静止磁場内にプロトンを置くと一方向に整列し、プロトンの磁気ベクトルの総和である正味磁化ベクトルが生じる。

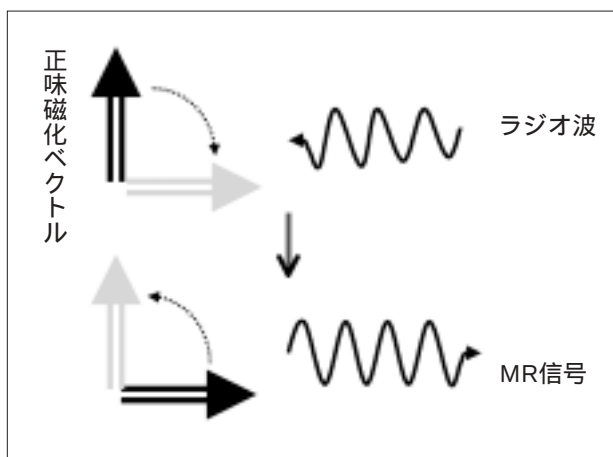


図1.5 正味磁化ベクトルとMR信号

静止磁場内で生じた正味磁化ベクトルにラジオ波をあてるとエネルギーを吸収して特定の方向を向き、ラジオ波がなくなるとMR信号を放出して正味磁化ベクトルは元に戻る。

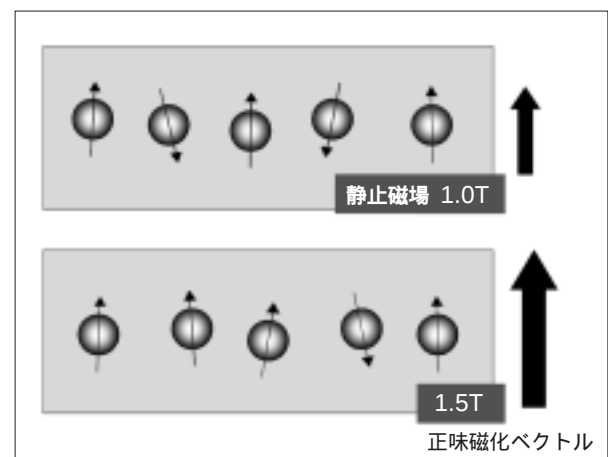


図1.6 静止磁場強度と正味磁化ベクトル

静止磁場強度の大きい方が、プロトンが同じ磁場を向く割合が増えて正味磁化ベクトルが増大する。

3. T1時間とT2時間

組織固有の内的因子でT1時間は縦緩和時間、T2時間は横緩和時間と呼ばれている。緩和とは、ラジオ波をあてて特定の方向を向いた正味磁化ベクトルが、静止磁場方向に再整列する（平衡状態に戻る）状態のことである。

静止磁場内では正味磁化ベクトルはZ軸方向（静止磁場方向）で平衡状態になっている。この正味磁化ベクトルを特定の周波数のラジオ波により

90°角度を変えることにより、ベクトルはXY平面を向く（図1.7）。ラジオ波がなくなるとプロトンの緩和が始まり、正味磁化ベクトルはZ軸方向に戻っていく（縦緩和）。この縦緩和の速度を表す時定数がT1で、約63%の縦緩和が得られるまでの時間である。縦方向（Z軸方向）のベクトルはラジオ波をあてる前の静止磁場方向に整列した状態が最大となる。縦緩和の過程では信号強度は回復曲線を描く（図1.8）。

90°パルス（正味磁化ベクトルの角度を90°変えるために印加するラジオ波）印加後のベクトルは

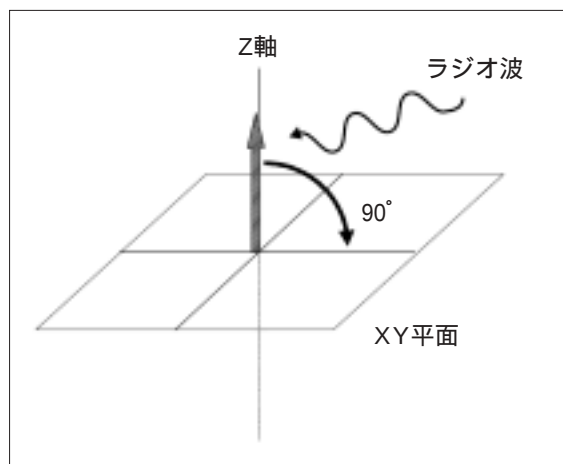


図1.7 正味磁化ベクトルとラジオ波

正味磁化ベクトルにラジオ波（90°パルス）をあてると、XY平面にベクトル方向が変わる。

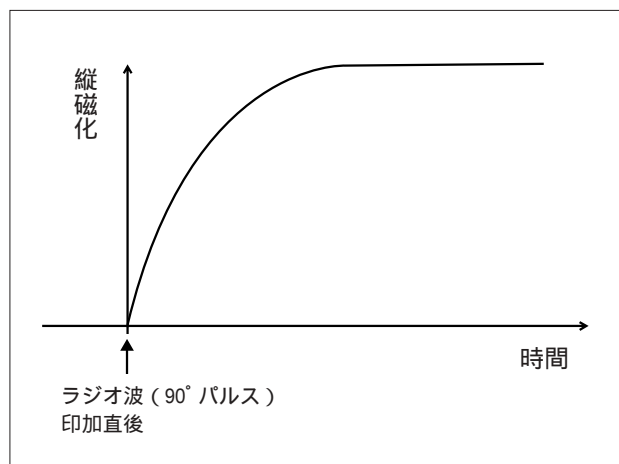


図1.8 T1回復曲線

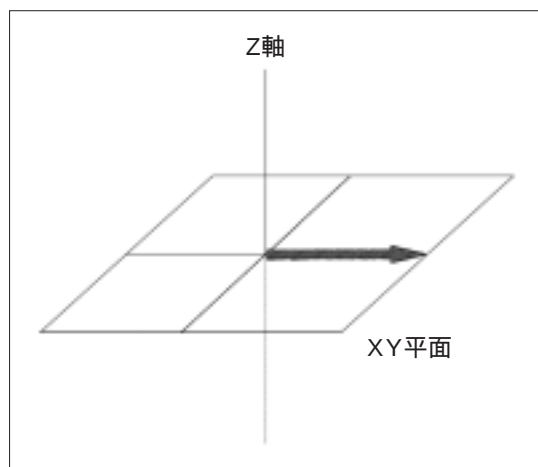


図1.9 ラジオ波印加直後の正味磁化ベクトル

ラジオ波の印加直後はXY平面上の信号強度は最大になる。

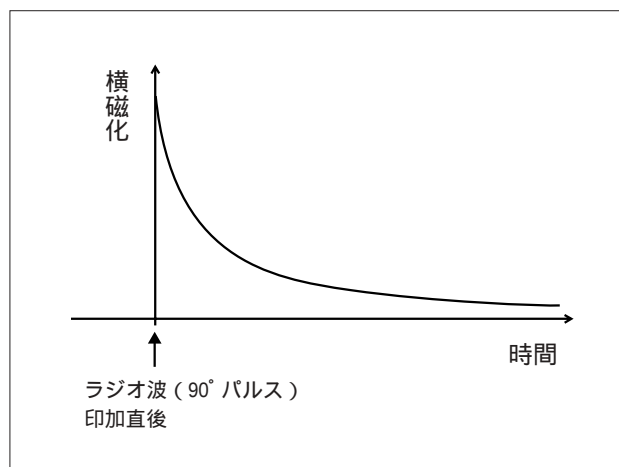


図1.10 T2減衰曲線

XY平面上にあり、印加直後ではXY平面上の信号強度が最大になっている（図1.9）。しかし、ラジオ波がなくなりプロトンが緩和を始めるとXY平面の磁化ベクトル成分が減少してくる（横緩和）。この横緩和の速度を表す時定数がT2で、約63%の横緩和が得られるまでの時間のことである。XY平面の磁化ベクトルは90°パルス印加直後が最大であり、横緩和の過程で信号強度は減衰曲線を描く（図1.10）。

T1回復、T2減衰ともに組織固有で回復曲線、減衰曲線も組織固有である。つまり、T1時間、T2時間各々適切な時間にMR信号を収集すれば、組織間の信号強度に差ができ、コントラストをつけるこ

とが可能になる（図1.11）。

縦緩和、横緩和について述べたが、T1回復、T2減衰は非常に複雑な過程を含んでいる。実際にはT2減衰はT1回復の5～10倍早い（図1.12）。

4. 乳腺専用コイル（breast coil）

MR装置の本体は大きな筒のような構造をしている。これはガントリーと呼ばれ静止磁場を作る部分である（図1.13）。高磁場MRIでは超伝導を利用し、ガントリー内で均一な静止磁場を保っている。ガントリー内に人体が入ると、内部の静止磁場により体内のプロトンが整列し、正味磁化ベクトル

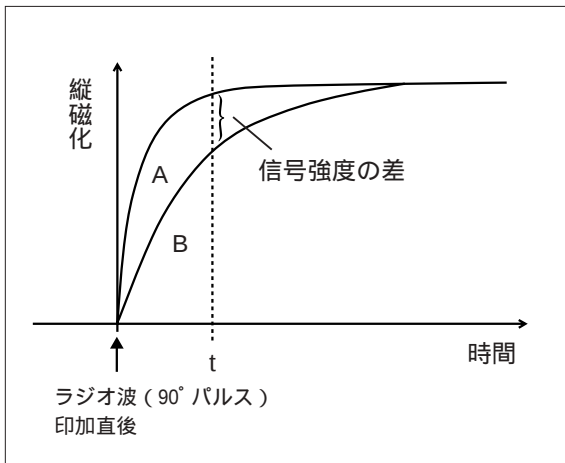


図1.11 T1回復曲線

t : MRI信号を収集するタイミング。
組織AとBの信号強度に差があるtの時点を設定するとコントラストが得られる。

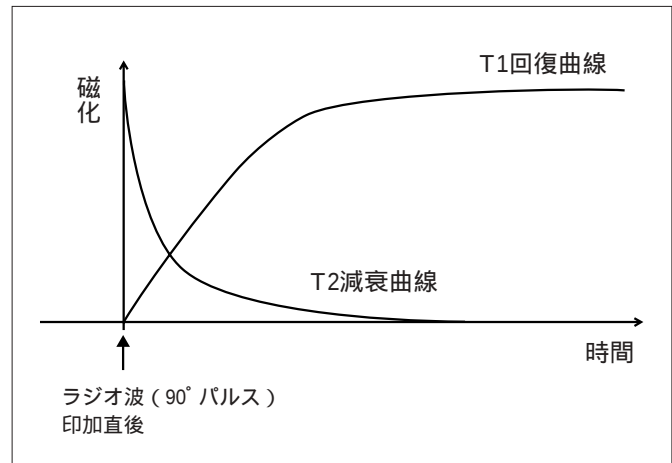


図1.12 T1回復曲線とT2減衰曲線

T2減衰はT1回復の5～10倍早い。

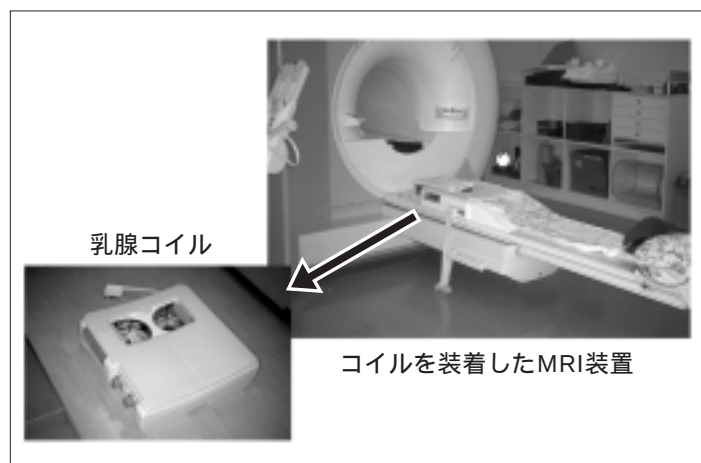


図1.13 MRI装置と乳腺コイル

検査台に乳腺コイルを装着している。

が生じる。この状態ならば、特定の周波数のラジオ波を印加してMR信号を計測することが可能である。診断に必要な標的組織のみにラジオ波を印加してMR信号を得るためには、部位に特化したコイルが必要である。標的組織外であってもラジオ波が印加された場合はMR信号が発生し、後述するアーチファクトの原因、S/N比（シグナル／ノイズ比）低下の原因となるからである。したがって、乳腺MRIではMR信号の受信を乳腺専用コイルが行っている。

乳腺専用コイルの利点

空間分解能，組織分解能を向上させる。

MR信号受信にロスがなく，S/N比の高い画像

を得られる。

腹臥位の撮像が可能のため呼吸によるモーションアーチファクトを軽減できる。

実際の乳腺MRIの場合，診断に必要な画質を得るためには乳腺専用コイルは必須である。

5. パルス系列（パルスシーケンス：pulse sequence）

内的因子は組織固有であり，調節することはできないが，その1つを強調した画像を得ることができれば，異なる組織間で信号にコントラストがつくはずである。特定の内的因子を強調するために，