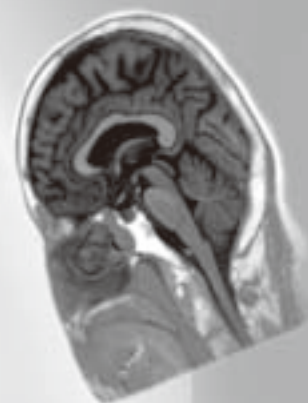


連載企画 MRI

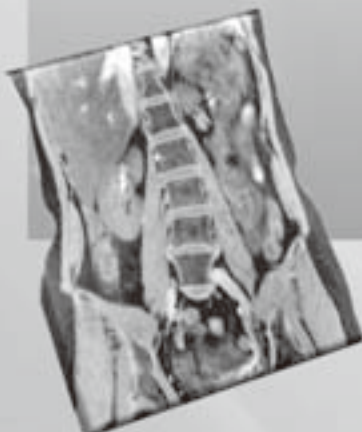


▶ MR 画像のコントラスト

～MR 画像は特定因子強調画像～

済生会川口総合病院

放射線技術科 浜野 洋平



埼玉県放射線技師会
編集・情報委員会

MR画像のコントラスト ～MR画像は特定因子強調画像～

済生会川口総合病院
放射線技術科 浜野 洋平

1. はじめに

MR画像のコントラストを決定する因子は、X線写真やX線CTと比べて多数存在しますが、大きくは内的因子と外的因子に分けられます。内的因子には、プロトン密度 (ρ)、縦緩和時間 (T_1)、横緩和時間 (T_2)、流速分布 [$f(v)$]、拡散係数 (D) などがあり、これらは生体組織自体の特性であり撮影者により変化させることはできません。外的因子としては、繰り返し時間 (TR)、エコー時間 (TE)、反転時間 (TI)、フリップ角 (α) などがあり、これらは撮影者によって設定可能なものです。

MR画像を評価していく上で、画像のコントラストを決定している因子を知ることは重要なことです。今回は内的因子である縦緩和時間 (T_1)、横緩和時間 (T_2)、外的因子である繰り返し時間 (TR)、エコー時間 (TE) を中心に考えていきたいと思えます。

2. T_2 緩和曲線 (MR信号の減衰)

RFパルス照射によって生じるMR信号は図1のように指数関数的に減衰していきます。

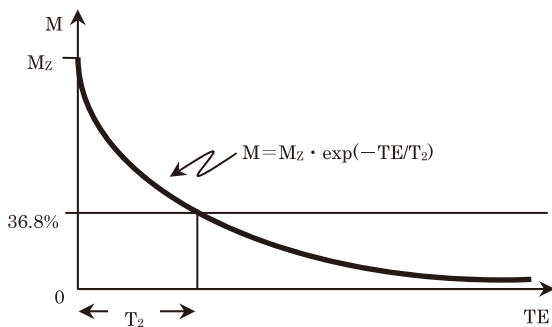


図1: T_2 緩和曲線

MR信号 (M) の減衰は次式で表すことができます。

$$M = M_z \cdot \exp(-TE/T_2) \dots \dots \textcircled{1}$$

M : TE時間後の信号強度

M_z : 最初の信号強度

TE: エコー時間 (減衰に費やす時間)

T_2 : 横緩和時間

①式で T_2 時間後の信号強度は $M = M_z \cdot \exp(-T_2/T_2)$ 、すなわち $M/M_z = e^{-1} \approx 0.368$ 。したがって、 T_2 は信号が36.8%に減衰するのに要する時間となります。

T_2 は組織によって様々な値をとり、 T_2 が短いほど信号は急激に減衰し、逆に長いと信号はなかなか弱くなりません。つまり T_2 は信号の持続時間を表す指標と考えられます。

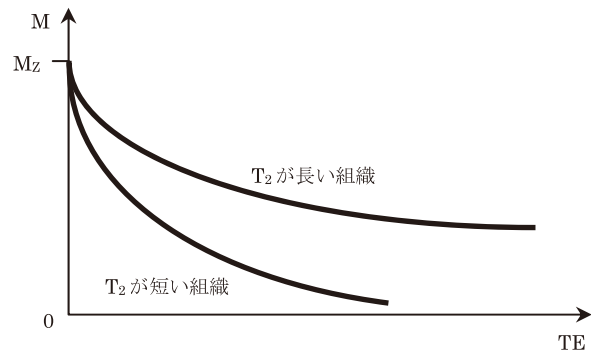


図2: T_2 の異なる組織の T_2 緩和曲線

3. T_2 (横緩和時間) とTE (エコー時間)

T_2 は組織によって固有の値ですが、TEは撮影者側で設定可能な値です。

図3のように、TEを長めに設定した場合 (TE②)、 T_2 が長い組織と T_2 が短い組織との信号強度差 (コントラスト) はTEが短い時 (TE①) と比べて大きくなります。

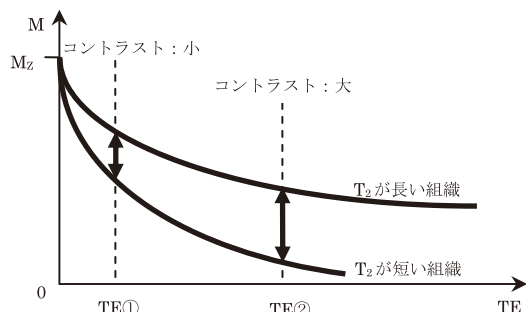


図3：T₂とTEの関係

4. T₁緩和曲線（縦磁化の回復）

MR画像を取得する場合、多数のボクセルの信号強度を特定するために何回もの信号測定が必要です。1度信号を出したあとにRFパルスを照射して信号を得るためには、縦磁化（信号放出能）の回復時間が必要になります。縦磁化の回復が不十分だと、次のRFパルスによって信号を出させたとしても信号は弱くなります。この縦磁化の回復過程も指数関数として表せます。（図4）

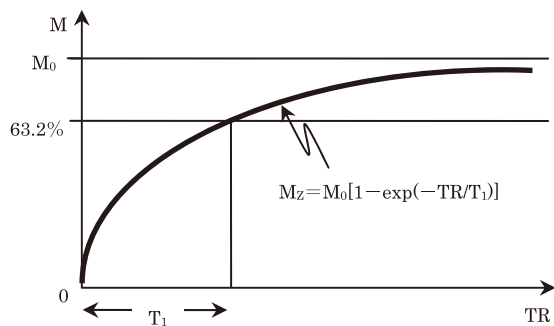


図4：T₁緩和曲線

縦磁化（Mz）の回復は次式で表せます。

$$M_z = M_0[1 - \exp(-TR/T_1)] \quad \dots \dots \textcircled{2}$$

Mz：TR時間後の縦磁化

M₀：100%回復時の縦磁化

TR：繰り返し時間

（縦磁化の回復に費やす時間）

T₁：縦緩和時間

②式で、T₁時間後の縦磁化はMz = M₀ [1 - exp(-T₁/T₁)]、すなわちMz/M₀ = 1 - e⁻¹ ≒ 0.632。つまり、T₁は縦磁化が63.2%まで回復するのに要す

る時間となります。

T₁もT₂と同じように組織固有の値をとり、T₁が短い組織ほど回復能力が高く、短時間の回復時間でも次のRFパルスで強い信号を得ることができます。つまり、T₁はMR信号を放出する能力がどのくらい早く回復するかを表す指標と考えられます。

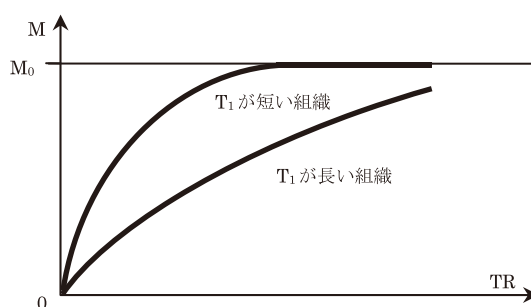


図5：T₁が異なる組織のT₁緩和曲線

5. T₁（縦緩和時間）とTR（繰り返し時間）

T₂とTEの関係と同じように、T₁とTRにも深い関係があります。T₁は組織によって決まった値をとりますが、TRはTEと同じように撮影者側で設定可能です。

図6のようにTRを短く設定した場合（TR①）、2つ組織の信号強度差（コントラスト）はTRが長い時（TR②）と比べて大きくなります。

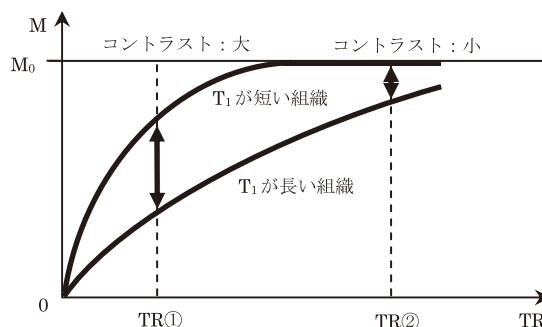


図6：T₁とTRの関係

6. 緩和曲線とT₂強調画像・T₁強調画像・プロトン密度強調画像

MR信号には前述したT₂緩和およびT₁緩和がRFパルス照射直後に同時に起こります。しかし、

画像のコントラストを考える上で、 T_1 緩和と T_2 緩和を個別に考えると非常に理解しやすくなります。ここでは、脳脊髄液と白質の緩和曲線を利用して、 T_2 強調画像、 T_1 強調画像、プロトン密度強調画像について説明します。

T_2 強調画像は組織の T_2 を強調して、 T_1 をできるだけ強調しない画像です。そのためには、長いTRで T_1 緩和での信号差を小さくし、長いTEで T_2 緩和での信号差を大きくします。したがって、脳脊髄液は白質よりも高信号となります。(図7)

T_1 強調画像は組織の T_1 を強調し、 T_2 を強調しな

い画像です。そのためには、短いTRで T_1 緩和での信号差を大きくし、短いTEで T_2 緩和の影響を小さくします。したがって、脳脊髄液は白質よりも低信号となります。(図8)

また、 T_1 も T_2 どちらも強調しない場合、つまりTRを長く、TEを短くした場合はプロトン密度強調画像となり、信号強度は組織のプロトン密度(ρ)によって左右されます。(図9)

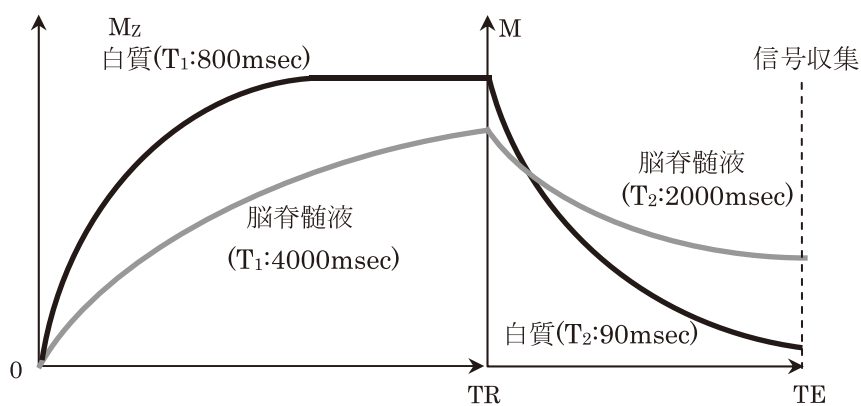


図7： T_2 強調画像

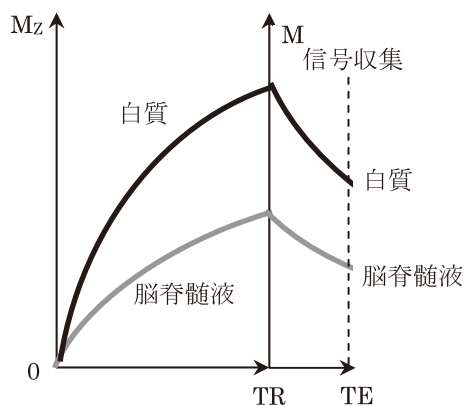


図8： T_1 強調画像

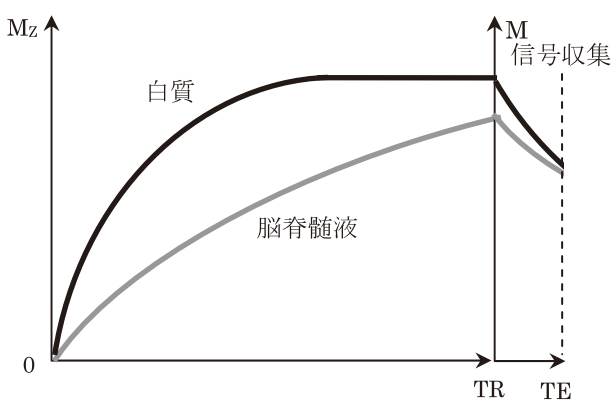


図9：プロトン密度強調画像

7. MR画像は特定因子強調画像

これまでの内容でT₂強調画像にはT₁の影響が、T₁強調画像にはT₂の影響が少なからずあることが理解できたと思います。

以下にスピンエコー法における信号強度 (S) を表す式を示します。特定の内的因子を強調するため、外的因子を適宜設定する必要があることが分かります。

$$S \propto f(v) \cdot \rho \cdot [1 - \exp(-TR/T_1)] \cdot \exp(-TE/T_2) \cdot \exp(-bD)$$

※[1 - exp(-TR/T₁)] : T₁を強調する要素

exp(-TE/T₂) : T₂を強調する要素

exp(-bD) : 拡散係数を強調する要素

内的因子

f (v) : 流速分布

ρ : プロトン密度

T₁ : 縦緩和時間

T₂ : 横緩和時間

D : 拡散係数

外的因子

TR : 繰り返し時間

TE : エコー時間

b : bvalue

頭部検査でよく撮像される拡散強調画像は、内的因子のD (拡散係数) を強調するためにMPG (motion probing gradient) と呼ばれる特殊な傾斜磁場を利用します。その磁場強度を外的因子のb valueとして設定しています。

拡散強調画像にも他の因子が影響してきます。その代表が組織のT₂延長効果です。高信号を示したとしても、それが組織の拡散制限を表しているのか、それともT₂が延長しているのかどちらか不明な場合があります。そのような場合には、ADCmapを作成して確かめます。このようにT₁強調画像、T₂強調画像だけでなく、拡散強調画像にも他の因子が影響していることが分かります。

MR画像にはこの他にも血液の流れを強調した

TOF画像、磁化率を強調した磁化率強調画像など多くあります。これら強調画像も特定の因子を強調したものであり、他の因子の影響を少なからず受けています。

MR検査では目的とする画像コントラストを得るために、如何にして特定の因子を強調し、その他の因子を目立たなくするかが重要になります。

8. 最後に

今回は、MR画像のコントラストについてお話をさせていただきました。

画質の評価項目には、空間分解能やSN比など重要なものが多数ありますが、MR画像は十分な画像コントラストがなければ臨床的価値を見い出せません。

MR画像の最大の特徴は、組織のコントラスト分解能が他のモダリティよりも優れていることにあります。

MR検査において、臨床的に有意義なコントラストを得ているのかを判断すること、また、撮像パラメーターを適宜変更して病変を明確に表現しようとすることは大変難しいことです。しかし、これらのことは技師に与えられた特権であり、MR検査の醍醐味でもあると考えています。

今回の内容を日々の業務に役立てていただけたら幸いです。

9. 参考文献

- 1) 荒木 力 : クイズMRI 秀潤社
- 2) 荒木 力 : 決定版 MRI完全解説秀潤社
- 3) ルイテン・ヤンセン編著 石川 徹 監訳 : MRIの原理と応用 通商産業研究社
- 4) 日本磁気共鳴医学会 教育委員会 編 : 基礎から学ぶMRI インナービジョン
- 5) 杉村 和朗 監修/編集 : MRIの原理と撮像法 MEDICAL VIEW

[執筆者紹介]

1980年生

技師歴 9年

担当歴 5年

第5回磁気共鳴専門技術者認定試験合格

