

## 「済生会栗橋病院における勉強会の取り組み」

埼玉県済生会栗橋病院  
内海 将人

埼玉県済生会栗橋病院放射線技術科では「医療の質・サービスを高めるヒトづくり～頼られる診療放射線技師を目指して～」を年間スローガンに掲げ、さまざまなスキルアップを目標とした勉強会を行っている。勉強会は8時15分から始まる朝のミーティング後の15分間を利用し、プレゼンテーションソフトをプロジェクターで投影する発表スタイルで行う。平成29年度は週2回のスケジュールで行われた。以下に各勉強会の内容を紹介する。

### 1. 症例検討（1回/月）

平成23年から始めた症例検討会は、当直時や日常業務において検査に携わったスタッフが気付いたことや、スタッフ全員で共有した方がよい症例などを、あるテーマに沿って各モダリティごとに担当者が出題する。出題者はローテーションで行い、1年で一回以上は担当することになっている。モダリティがCTで脳梗塞をテーマとした検討会を例にとると、単純CTで急性期脳梗塞を考えると重要な所見となるEarly CT signの画像所見と、転移性脳腫瘍に付随する脳浮腫と脳梗塞の画像差異を問うために、急性期脳梗塞と転移性脳腫瘍の2症例を患者名・患者ID・来院主訴などを明記して掲示する。回答者は検像端末を使用して、各症例について1週間以内に読影し、無記名で読影レポートを回答ポストに投函する。出題者は後日、回答および解説を行う。今月で86回目となるが、ローテーションで業務を担当すると慣れないモダリティの症例を経験する回数が少なくなりがちだが、症例検討会を行うことで情報共有が図れている。また全ての問題・回答・解説がファイリングされており、いつでも閲覧可能となっている。

### 2. インシデント・アクシデント報告（1回/月）

当科では、院内で規定されているインシデント・アクシデント報告書の他に、科内でインシデント報告書（図1）を作成し、全ての事例の報告を義務としスタッフ全員で共有するようにしている。提出された事例は、科内インシデント担当者がモダリティ責任者・安全管理担当者と原因分析を行い、対策を講じ、勉強会内で報告、スタッフ全員で情報共有を図っている。



図1 科内インシデント報告書

### 3. 接遇勉強会（2回/月）

接遇マナーは現在の医療にとって重要かつ必要なスキルである。患者の状態など状況に応じた個別対応が必要であり、マニュアルに沿った画一的な対応ではいけない。そのため当院では、平成17年より接遇やマナーに関する勉強会を継続して行っている。2017年度は隔週で月に2回開催、さまざまな状況を想定した内容としている。診療放射線技師は社会人マナーを専門的に学ぶ機会に乏しいため、マナーの基本である敬語や謙譲語などの言葉遣い、エレベーターやタクシーなどの着座位置や上座、下座の場所についても学んでいる（図2）。



図2 エレベーター内の席次を問うスライド

その他、患者と相対するときの自分の立ち位置やコミュニケーションスキル向上のため、話す速度についての勉強も行っている（図3）。

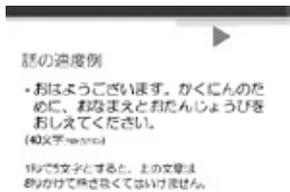


図3 話すときの速度を説明するスライド

座学で学んでも、実際に患者と相対すると実践できないことが多い。そのため、実技での勉強会も多く行っている（図4）。



図4 お辞儀（会釈・敬礼・最敬礼）の実践

視力障がいのある患者に対する対応実践では患者の立場になって考えるために、目隠しをして胸部撮影台に向かって歩いてみたり、車椅子に座って移動してみることで相手の立場に立って考えることができる（図5）。



図5 視力障がい者の立場

その他、多岐に渡る内容を学んでいる。以下に近年学んだ内容を記す。

- ・敬語と尊敬語、謙譲語、丁寧語
- ・ユニバーサルデザインについて
- ・電話対応の基礎、応用
- ・ディズニーにおける接遇
- ・ホスピタリティについて

#### 4. 被ばく勉強会（1～2回/年）

放射線技術科以外の院内スタッフの放射線に関する知識向上を図るために、年1回～2回、被ばくに関する勉強会を行っている。病棟でのポータブル撮影時や血管撮影業務時の被ばく低減、防護の方法、放射線の身体的影響などについて30～40分程の内容としている。勉強会の内容について終了後にアンケートを集計しているが、参加者からはおおむね高評価であり、今後も継続して行っていく予定である。当院は、平成28年にJARTの医療被ばく低減施設認定を取得したが、認定評価項目の一つに「院内スタッフを対象とした放射線知識向上のための勉強会や講習会を定期的に行っている」という項目がある。今後、医療被ばく低減施設認定を取得しようと考えている施設は、定期的に院内スタッフ向けの勉強会を開催することを勧める。

当院ではその他にも日常業務の疑問を自ら掲示し、上司・同僚と皆で討論しながら解決することで研究・学会発表意欲向上を目的とした科内研究発表会も行っている。

#### 5. 終わりに

当院で行っている勉強会について述べた。勉強会はスタッフのスキルアップや情報共有など非常に有用であるが、勉強会の回数が多くなると参加者の負担も多くなるため、各病院に合った適度な開催が望まれる。

## 「MRI の性能評価」

～ T<sub>1</sub> 値・T<sub>2</sub> 値の測定～

埼玉県済生会栗橋病院<sup>1)</sup>，埼玉県済生会川口総合病院<sup>2)</sup>

渡邊 城大<sup>1)</sup>，大谷 真由美<sup>1)</sup>，浜野 洋平<sup>2)</sup>

### 1. はじめに

MRI 業務に携わる上で基本的原理や臨床的知識を得ることも重要であるが、診療放射線技師として装置の管理は欠かせない。今回は磁気共鳴専門技術者試験（以降、専門技術者試験）の受験資格にも定められている性能評価について、平成23年に行ったMRI基礎講習会の資料を基に、現在と異なる部分については改良点を加え、1年間（4回）にわたって解説する。

今回は「T<sub>1</sub> 値・T<sub>2</sub> 値の測定」であるが、反転回復法（inversion recovery: IR）、スピネコー法（spin echo: SE）、グラジエントエコー法（gradient recalled echo: GRE）、EPI 法（echo planar imaging）とさまざまなシーケンスを用いた方法が各種報告されている。その中から専門技術者試験に定められている反転回復法とスピネコー法について述べる。

### 2. 測定原理

#### 2-1 T<sub>1</sub> 値の測定

IR 法における信号強度は以下に示す式で表される。

$$M = M_0 \left\{ 1 - 2 \exp\left(-\frac{TI}{T_1}\right) - 2 \exp\left(-\frac{TR - \frac{TE}{2}}{T_1}\right) + \exp\left(-\frac{TR}{T_1}\right) \right\} \exp\left(-\frac{TE}{T_2}\right) \dots (1)$$

TR が長くなるとカッコ { } 内の第3項、第4項は無視できるので、

$$M = M_0 \left\{ 1 - 2 \exp\left(-\frac{TI}{T_1}\right) \right\} \exp\left(-\frac{TE}{T_2}\right) \dots (2)$$

180°反転パルスを印加してから90°パルスを印加するまでの縦磁化成分 M<sub>z</sub> の変化は、

$$M_z(\tau) = M_0 \left\{ 1 - 2 \exp\left(-\frac{\tau}{T_1}\right) \right\} \dots (3)$$

で与えられる。(3)式において M<sub>0</sub>=1、T<sub>1</sub>=500 msec とし、τ を変化させた時の IR 法による縦磁化の回復過程を図1に示す。

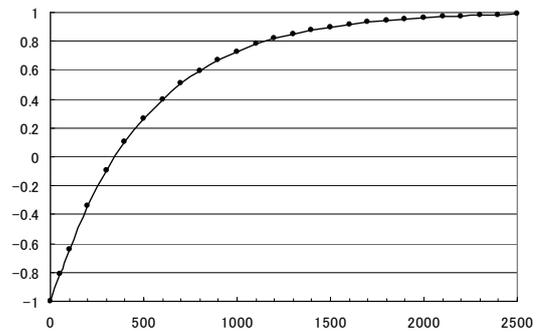


図1 IR法の縦磁化 M<sub>z</sub> の回復過程

T<sub>1</sub> 値の測定では IR 法による縦磁化の回復過程を利用する。しかし、実際の測定では縦磁化の回復を直接求めることはできない。

(2)式に注目すると実際の測定では、TE、T<sub>2</sub> が一定であるため、信号強度 M は縦磁化の回復過程によって変化する。従って、「信号強度の変化 = 縦磁化の回復過程」と考えることができる。

縦磁化 M<sub>z</sub>(τ) が熱平衡状態における M<sub>0</sub> に戻っていく過程は、ピークが1本の場合、時定数 T<sub>1</sub> によって式(3)のように表すことができる。

(3)式の両辺に対数をとると、

$$M_z(\tau) = M_0 \left\{ 1 - 2 \exp\left(-\frac{\tau}{T_1}\right) \right\}$$

$$\begin{aligned} \ln M_z(\tau) &= \ln \left[ M_0 \left\{ 1 - 2 \exp \left( -\frac{\tau}{T_1} \right) \right\} \right] \\ &= \ln M_0 - \ln 2M_0 - \ln \left\{ \exp \left( -\frac{\tau}{T_1} \right) \right\} \\ &\quad - \{ \ln M_0 - \ln M_z(\tau) \} \\ &= - \left[ \ln 2M_0 + \ln \left\{ \exp \left( -\frac{\tau}{T_1} \right) \right\} \right] \dots (4) \end{aligned}$$

となり、(4) 式を整理すると次式 (5) が得られる。

$$\ln M_0 - \ln M_z(\tau) = \ln 2M_0 - (\tau / T_1) \dots (5)$$

実際の想定では、 $\ln M_0 - \ln M_z(\tau)$  を  $\tau$  に対してプロットする。その勾配から傾きを求めるために (5) 式を変形する。(5) 式を  $f(\tau)$  として傾きを求めると、

$$\begin{aligned} \text{傾き} &= \frac{f(\tau_1) - f(\tau_2)}{\tau_1 - \tau_2} \\ &= \frac{\{ \ln 2M_0 - \ln 2M_z(\tau_1) \} - \{ \ln 2M_0 - \ln M_z(\tau_2) \}}{\tau_1 - \tau_2} \\ &= \frac{\ln 2M_0 - (\tau_1 / T_1) - \{ \ln 2M_0 - (\tau_2 / T_1) \}}{\tau_1 - \tau_2} \\ &= \frac{-(\tau_1 / T_1) + (\tau_2 / T_1)}{\tau_1 - \tau_2} = \frac{-(1/T_1)(\tau_1 - \tau_2)}{\tau_1 - \tau_2} \\ &= -\frac{1}{T_1} \dots (6) \end{aligned}$$

専門技術者試験では、測定結果を片対数グラフに記入するため、計算式を自然対数から常用対数に変換しなくてはならない。

$$\begin{aligned} \ln M_0 - \ln M_z(\tau) &= \frac{\log M_0 - \log M_z(\tau)}{\log e} \text{ より、} \\ \text{傾き} &= \frac{\log M_z(\tau_1) - \log M_z(\tau_2)}{\tau_1 - \tau_2} \\ &= -\log e \left( \frac{1}{T_1} \right) = - \left( \frac{1}{2.303} \right) \frac{1}{T_1} \dots (7) \end{aligned}$$

2-2 T<sub>2</sub> 値の測定

T<sub>2</sub> 値の測定には 90°-τ-180°パルス系列後の 2τ 時間後にエコー信号が得られる SE 法を用い

る。τ = TE とすると、SE 法の信号強度は以下の式で表される。

$$M = M_0 \left\{ 1 - \exp \left( -\frac{TR}{T_1} \right) \right\} \exp \left( -\frac{TE}{T_2} \right) \dots (8)$$

$M_0 \left\{ 1 - \exp \left( -\frac{TR}{T_1} \right) \right\}$  は縦磁化の回復を表し、T<sub>2</sub> 値測定では TR を一定とする。

そこで、 $M_z = M_0 \left\{ 1 - \exp \left( -\frac{TR}{T_1} \right) \right\}$  とすると、

(8) 式は以下の式で表される。

$$M = M_z \exp \left( -\frac{TE}{T_2} \right) \dots (9)$$

(9) 式において M<sub>z</sub> = 1、T<sub>2</sub> = 100 msec とし TE を変化させた時の横磁化の減衰を図 2 に示す。

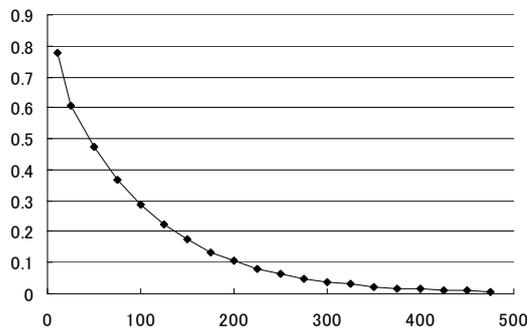


図2 SE法の横磁化の減衰

T<sub>2</sub> 値の算出は (9) 式、図 2 で示した横磁化の減衰を利用する。T<sub>1</sub> 値と同様に片対数グラフの 2 点から傾きを求める。(9) 式において、TE を TE<sub>1</sub>、TE<sub>2</sub>、M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> とした場合の傾きは、

$$\begin{aligned} \text{傾き} &= \frac{\ln M_1 - \ln M_2}{TE_1 - TE_2} \\ &= \frac{\ln M_z \exp(-TE_1 / T_2) - \ln M_z \exp(-TE_2 / T_2)}{TE_1 - TE_2} \end{aligned}$$

…(10)

ここで、

$$\ln M_z \exp(-TE_1 / T_2) - \ln M_z \exp(-TE_2 / T_2)$$

$$\begin{aligned}
&= \ln Mz + \ln \exp(-TE_1/T_2) - \{ \ln Mz + \ln \exp(-TE_2/T_2) \} \\
&= -(TE_1/T_2) + (TE_2/T_2) \\
&= -(TE_1 - TE_2)/T_2 \\
&\text{よって、(10) 式は、} \\
\text{傾き} &= \frac{\ln M_1 - \ln M_2}{TE_1 - TE_2} = \frac{-(TE_1 - TE_2)/T_2}{TE_1 - TE_2} = -\frac{1}{T_2} \\
&\dots(11)
\end{aligned}$$

T<sub>1</sub> 値測定同様、専門技術者試験では片対数グラフから計算するため、計算式を自然対数から常用対数に変換しなくてはならない。

$$\begin{aligned}
\ln M_1 - \ln M_2 &= \frac{\log M_1 - \log M_2}{\log e} \text{ より、} \\
\text{傾き} &= \frac{\log M_1 - \log M_2}{TE_1 - TE_2} \\
&= -\log e \left( \frac{1}{T_2} \right) = -\left( \frac{1}{2.303} \right) \frac{1}{T_2} \quad \dots(12)
\end{aligned}$$

### 3. 測定手順

#### 3-1 T<sub>1</sub> 値の測定

##### 3-1-1 受信コイルおよびファントム

ファントム容器は薬品などが入っていたプラスチック製容器で十分である。

ファントム作成後すぐに測定はしない。

測定する前日にファントムを作成してMRI室内に24時間程度保管する。

測定時のファントムの移動や設置は静かにを行い、30分以上放置する。

測定する溶液は、専門技術者試験に定められているように、Gd製剤を希釈して作成する。(例えば、Gd製剤0.5 mlを蒸留水500 mlで希釈する。)

##### 3-1-2 撮像条件および方法

IR法で撮像し、TEとTRを一定にしてTIを変化させていく。

マトリックス、FOV、スライス厚は撮像時間とSNRを考慮して設定する。

専門技術者試験では、撮像条件の規定はない。

受診コイルは、SNRが高いQDコイルを推奨する。

撮像条件の例として、TR=3000 msec (測定物質のT<sub>1</sub>値の5倍以上)、TE=10 msec、TI=50~2900 msec、マトリックス128×128、BW=31.2 kHz、FOV=250 mm、スライス厚=5 mm、室温=22℃

また、信号のオーバーフローを防ぐため、TI<sub>max</sub>から先にスキャンを行う。

RF系の送信ゲインを一定にする。(ユーザー側で調整できない装置もある) RF系の送信ゲインを一定にする方法は装置メーカーに確認する。

#### 3-1-3 計算・解析方法

##### 3-1-3-1 信号強度の測定

信号強度の測定はファントムの60~80%程度の大きさのROIで統一する。

##### 3-1-3-2 測定結果

測定結果と緩和曲線の例を表1、図3~5、に示す。

IR法では、null pointよりも短いTIでの信号強度は負の値となるが、実際の装置では正の値で表示される。このため、負の信号強度を推定し補正する必要がある。

表1 IR法の実測値、補正值、M<sub>0</sub>-M<sub>z</sub>(τ)

TI	実測値	補正值	M <sub>0</sub> -M <sub>z</sub> (τ)
50	463	-463	1414
70	288	-288	1239
90	157	-157	1108
120	13	13	938
150	157	157	794
200	349	349	602
300	603	603	348
400	752	752	199
600	882	882	69
800	926	926	25
1000	945	945	6
1200	951	951	0

例) TI = 50 msec の M<sub>0</sub>-M<sub>z</sub> は

$$951 - (-463) = 1414 \text{ msec}$$

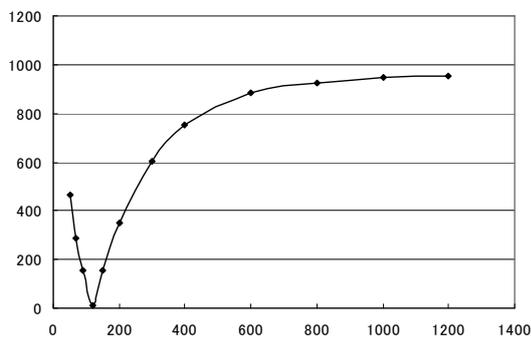


図3 IR法の緩和曲線(実測値)

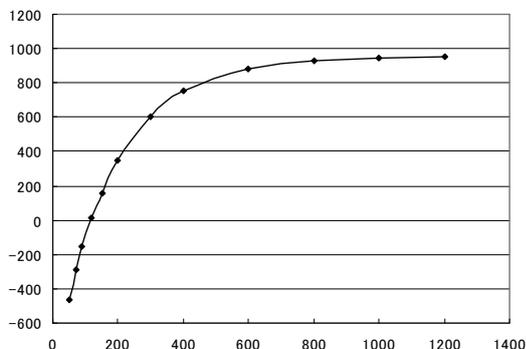


図4 IR法の緩和曲線(補正值)

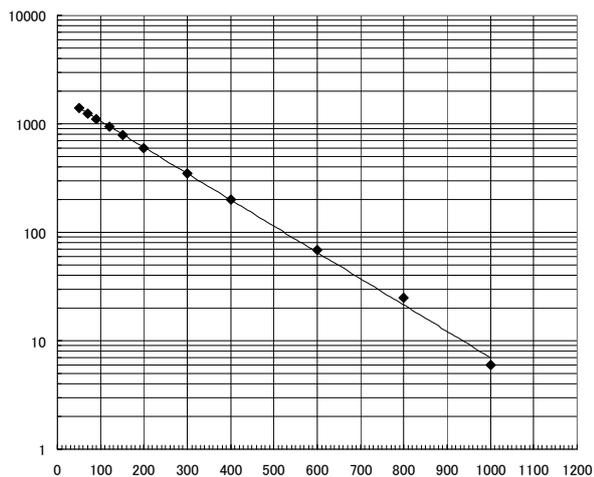


図5  $M_0-M_z(\tau)$  を片対数グラフにプロット

3-1-3-3 計算

図5のグラフより直線部分の傾きを求める。例としてTIが100 msecと530 msecの  $M_0-M_z$  の値をグラフから読み取る。TI=110 msecでは

1000、TI = 525 msec では100になる。この値から傾きを計算すると、

$$\text{傾き} = \frac{\log 1000 - \log 100}{110 - 525} = -\frac{3 - 2}{415} \doteq -0.002409$$

(7) 式より

$$-0.002409 = -\left(\frac{1}{2.303}\right) \frac{1}{T_1}$$

$$T_1 = \frac{1}{2.303 \times 0.002409} \doteq 180.2 [\text{msec}]$$

3-2 T<sub>2</sub> 値の測定

3-2-1 受信コイルおよびファントム

T<sub>1</sub> 値測定と同じファントムを使用する。ファントムの取り扱いは T<sub>1</sub> 値測定と同様とする。

3-2-2 撮像条件および方法

撮像条件はSE法 (FSE法は用いない)。TRを一定としてTEを変化させて測定する。参考として、TR=3000 msec、TE=20 ~ 300 msec、マトリックス 128×128、BW=31.2 kHz、FOV=250 mm、スライス厚=5 mm、室温=22℃。

RF系の送受信ゲインを一定にする。ユーザー側で調整できない装置もある。RF系の送受信ゲインを一定にする方法は装置メーカーに確認する。

3-2-3 計算・解析方法

3-2-3-1 信号強度の測定

T<sub>1</sub> 値測定と同様にする。

3-2-3-2 測定結果

測定結果と緩和曲線の例を表2、図6、図7、に示す。

表2 SE法の実測値

TE	測定値
20	1447
40	1289
60	1150
80	1058
120	866
180	620
400	183
600	44

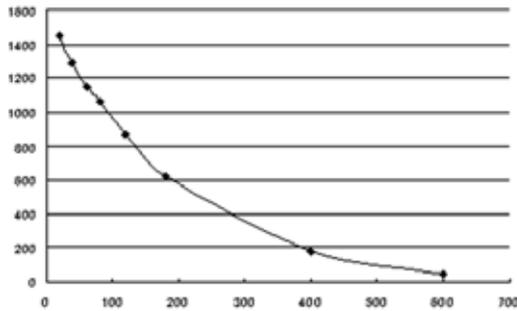


図6 SE法の緩和曲線(実測値)

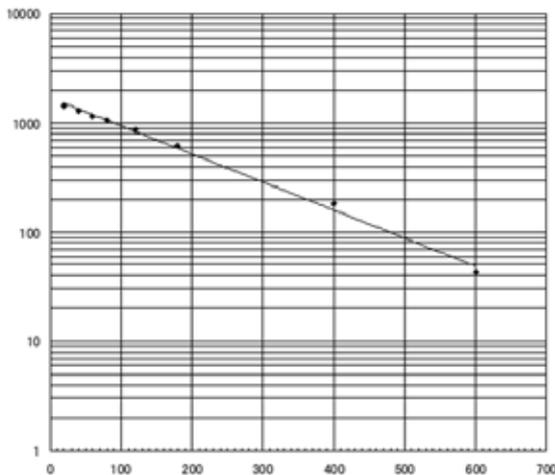


図7 実測値を片対数グラフにプロット

### 3-2-3-3 計算方法

図7のグラフより、直線部分の傾きを求める。例として、TEが90 msecと480 msecの信号強度をグラフから読み取る。TE=90 msecでは1000、TE=480 msecでは100になる。この値から傾きを計算すると、

$$\text{傾き} = \frac{\log 1000 - \log 100}{90 - 480} = -\frac{3 - 2}{390} \doteq -0.002564$$

(12) 式より、

$$-0.002564 = -\left(\frac{1}{2.303}\right) \frac{1}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{1}{2.303 \times 0.002564} \doteq 169.4 \text{ [msec]}$$

## 4. 測定手順のまとめ

### 4-1 T<sub>1</sub> 値測定

T <sub>1</sub> 値測定	
	Inversion recovery: IR 法
コイル	規定なし (SNRを考慮すると QD コイルを推奨)
ファントム充填物質	Gd 製剤を希釈 (例: Gd 製剤 0.5ml を蒸留水 500ml で希釈)
TR: 繰り返し時間 (msec)	TR ≥ 5 × ファントムの T <sub>1</sub> (例: 2000 ~ 3000)
TE: エコー時間 (msec)	規定なし (例: 10 ~ 20)
TI: 反転時間 (msec)	変化させて測定 (変化量の大きいところは密に測定)
NAQ: 信号加算回数	1
撮像マトリックス	規定なし (SNRを考慮) (例: 128 × 128 ~ 256 × 256)
ピクセルあたりの帯域幅 (Hz/pixel)	規定なし (SNRを考慮) (例: 150 ~ 250)
撮像視野	規定なし (SNRを考慮) (例 25.6 × 25.6cm)
スライス厚	規定なし (SNRを考慮) (例: 5mm)
室温 (°C)	22 ~ 25

### 結果の評価および注意事項

- ・ RF系の送受信ゲインを一定にする。ユーザー側で調整できない装置もあるため、RF系の送受信ゲインを一定にする方法は装置メーカーに確認する。
- ・ 信号強度の測定はファントムの60 ~ 80%程度の大きさのROIで統一する。
- ・ IR法では、null pointよりも短いTIでの信号強度は負の値となるが、実際の装置では正の値で表示される。このため、負の信号強度を推定し補正する必要がある。

#### 4-2 T<sub>2</sub> 値測定

T <sub>2</sub> 値測定	
	Spin echo : SE 法
コイル	規定なし (SNR を考慮すると QD コイルを推奨)
ファントム充填物質	Gd 製剤を希釈 (例 : Gd 製剤 0.5ml を蒸留水 500ml で希釈)
TR: 繰り返し時間 (msec)	規定なし (例 : 2000~3000)
TE: エコー時間 (msec)	変化させて測定
NAQ: 信号加算回数	1
撮像マトリックス	規定なし (SNR を考慮) (例 : 128 × 128 ~ 256 × 256)
ピクセルあたりの帯域幅 (Hz/pixel)	規定なし (SNR を考慮) (例 : 150~250)
撮像視野	規定なし (SNR を考慮) (例 25.6 × 25.6cm)
スライス厚	規定なし (SNR を考慮) (例 : 5mm)
室温 (°C)	22 ~ 25

#### 結果の評価および注意事項

- ・ RF 系の送受信ゲインを一定にする。ユーザー側で調整できない装置もあるため、RF 系の送受信ゲインを一定にする方法は装置メーカーに確認する。
- ・ 信号強度の測定はファントムの 60 ~ 80% 程度の大きさの ROI で統一する。

#### 5. 測定例

##### 5-1 T<sub>1</sub> 値測定 (IR 法の測定値)

TI (msec)	測定値 (補正後)
50	-277.17
75	-120.44
100	698.81
150	1305.33
200	1694.77
400	2233.89
600	2318.15
800	2329.61
1000	2330.44
1600	2332.64

##### 5-2 T<sub>2</sub> 値測定 (SE 法の測定値)

TE (msec)	測定値
20	2208.71
40	1800.54
60	1465.11
80	1193.74
100	969.03
120	789.25
140	641.11
160	519.66
180	422.98
200	345.74
300	120.91
400	43.45
600	11.37

片対数グラフは <http://houganshi.net/taisuu.php> などからもダウンロードできます。

#### 6. 最後に

緩和時間の特徴として T<sub>1</sub> 値が T<sub>2</sub> 値よりも短くなることはない。同じファントムを用いた場合、T<sub>1</sub> 値が T<sub>2</sub> 値より短くなった場合は測定方法および計算方法の確認が必要である。

$T_1$  値・ $T_2$  値の測定結果は非常に曖昧な数値である。数種類のファントムを測定すると、そのことに気付くと思う。また緩和時間の測定の目的は正しい測定方法の習得はもちろんであるが、緩和現象を理解することが最も重要だと考える。

資料（専門技術者試験に記述されている項目）

- 1) 適当な溶液（例：ガドリニウム希釈溶液など）を作成して測定対象物質を作成する。
- 2) 装置に組み込まれた簡易法によらず複数の信号強度点から求める。
- 3)  $T_1$  値・ $T_2$  値を求めるための根拠となった片対数グラフとそのグラフからの読み取り値から  $T_1$  値  $T_2$  値を求めるための数値と計算式を示す。

※片対数グラフの取扱と、グラフの傾きを測定する場所に注意する。

#### 参考

- ・笠井俊文, 土井司 編：MR 撮像技術学 改訂 2 版. 191-195, オーム社, 2008
- ・宮地利明 編：標準 MRI の評価と解析. 102-111, オーム社, 2012
- ・東京都診療放射線技師会監修：MRI 集中講座 MRI 専門技術者認定試験にチャレンジするためのテキスト 改訂版. 9-25, 三恵社, 2016
- ・日本磁気共鳴専門技術者認定機構 <http://plaza.umin.ac.jp/~JMRTS/exam/exam2.html>, (accessed 2017-8-16)

以上