

## 「MRI の性能評価」

～均一性の測定方法～

済生会栗橋病院

渡邊 城大, 大谷 真由美

### 1. はじめに

最終回となる今回は「均一性の測定」について解説する。画像均一性は、撮像される物質が同種（均質）である場合、撮像領域全体にわたって同一信号応答をもたらす MR 画像処理システムの能力とされている。画像均一性は、送信系・受信系の両方の精度に関与するため、臨床に必要な画像コントラストを日常管理する意味でも非常に重要な品質管理項目の1つである。

画像均一性の評価に関しては、NEMA 基準、AAPM 基準などがあるが、今回は専門技術者試験で定められている NEMA 基準を中心に解説する。

### 2. 測定手順

#### 2-1 受信コイルおよびファントム

ファントムは頭部を想定した直径 10cm 以上または、使用 FOV の 85% 以上の大きさを要するものと、腹部を想定した直径 20cm 以上または、使用 FOV の 85% 以上の大きさの 2 種類を用意する。

以下に測定用ファントムの組成、条件を示す。

- (a) 科学的・熱安定性があること。
- (b) 顕著なケミカルシフトがないこと。
- (c) 使用する静磁場強度において、 $100\text{ms} < T_1 < 1200\text{ms}$ 、 $50\text{ms} < T_2 < 400\text{ms}$ 、プロトン密度  $\div$   $\text{H}_2\text{O}$  密度であること。すなわち人体等価で測定して十分な信号が得られるもの。

(d) 充填される溶液は、コイルを無負荷にすることで RF 浸透効果が防止できる非導電性（例：硫酸銅液なら  $0.3\text{g}/\text{dm}^3$  以上  $0.8\text{g}/\text{dm}^3$  以下）の溶液がよい。市販のものでは、オイルファントム（オリーブオイル： $T_1=200\text{ms}$ 、 $T_2=60\text{ms}$ ）がよいと考える。

#### 2-2 撮像条件および方法

全均一性の測定はピクセルにおける最大と最小

の信号強度のみで評価するので、画像ノイズに強く影響される。これを考慮し、臨床で使用しうる撮像条件で測定を行う。以下に、撮像条件と測定の際の注意事項を提示する。

(a) ピクセルあたりの帯域幅（Hz/pixel）は臨床可能範囲で制限はない。

(b) 撮像視野は撮像面内における RF コイル最大径の 110% 以内とする。

(c) 撮像マトリックスは  $256 \times 256$  を基準に臨床可能範囲とする。

(d) パルスシーケンスは spin echo (SE) 法の第 1 エコーを使用する。

(e) TR はファントムの  $T_1$  値の 5 倍以上とする。基準は  $\text{TR}=1000\text{ms}$  で  $\text{TE}=15\text{ms}$ 。

(f) スライス厚は 10mm 以下。

(g) SNR が 80 以上になるように加算回数を設定する。

(h) ファントムが非導電性か導電性であるかを記載する。

✓硫酸銅溶液： $0.3\text{g}/\text{dm}^3 \uparrow$ 、 $0.8\text{g}/\text{dm}^3 \downarrow$ ：非導電性

✓塩化マンガン溶液： $0.0016\text{g}/\text{dm}^3 \uparrow$ 、 $0.0032\text{g}/\text{dm}^3 \downarrow$ ：弱導電性

✓オリーブオイル： $T_1$  値 =  $200\text{msec}$ 、 $T_2$  値 =  $60\text{msec}$ ：非導電性

(i) RF コイルは通常の頭部用コイルまたは全身用コイルとする。

(j) ファントムの温度、室温は  $22 \pm 4^\circ\text{C}$  とする。

(k) 撮像断面はシングルスライスで同一中心の 3 方向（横断、冠状断、矢状断）とする。

(l) ファントム設置後、10 分以上経過してからスキャンを開始する。（溶液のゆらぎ除去）

(m) 9 点ローパスフィルターの有無を記載する。

### 2-3 計算・解析方法

ファントムの中心からファントム総面積の約75%以上のエリア内のピクセル値に対し、最大値 ( $S_{MAX}$ ) と最小値 ( $S_{MIN}$ ) を求める。この際、ROI内にエッジアーチファクトを含まないように注意する (図1)。

スパン  $\Delta$  と信号平均値  $S_{AVE}$  は次式で求める。

$$\Delta = (S_{MAX} - S_{MIN}) / 2$$

$$S_{AVE} = (S_{MAX} + S_{MIN}) / 2$$

したがって、均一性 (U) は次のようになる。

$$\text{均一性 (U)} = 100 - ((\Delta / S_{AVE}) \times 100\%)$$

完全に均一な場合は、この式より U は 100% となる。

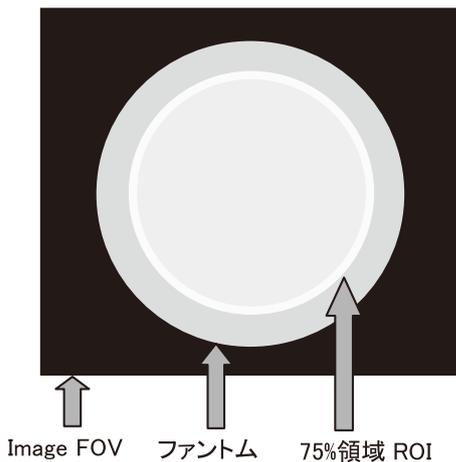


図1 均一性試験における ROI の設定

### 3. 測定手順のまとめ

コイル	頭部用コイル
ファントム	直径 10cm 以上の球 (または使用する FOV の 85% 以上の大きさを要するもの)
ファントム充填物質の電気伝導率 (または組成)	硫酸銅溶液: 0.3g/dm <sup>3</sup> ↑、0.8g/dm <sup>3</sup> ↓
	塩化マンガン溶液: 0.0016g/dm <sup>3</sup> ↑、0.0032g/dm <sup>3</sup> ↓
	オリーブオイル: T <sub>1</sub> 値=200msec、T <sub>2</sub> 値=60msec

ファントムの T1 (msec)	100 < T1 < 1200
ファントムの T2 (msec)	50 < T2 < 400
ファントム温度および室温 (°C)	22 ± 4°C
パルスシーケンス	SE 法の第 1 エコー
ピクセルあたりの帯域幅 (Hz/pixel)	通常使用する範囲で可 (例: 150-300)
撮像視野 (FOV)	撮像面内におけるファントム径の 110% 以内
TR: 繰り返し時間 (msec)	TR ≤ 5 × ファントムの T1 (例: 800-1000)
TE: エコー時間 (msec)	通常使用する範囲で可 (例: 15-20)
スライス厚	≤ 10mm
NAQ: 信号加算回数	SNR > 80 (例: 1)
撮像マトリックス	通常使用する範囲で可
ローパスフィルタ処理の有無	なし
測定 ROI の大きさ (cm <sup>2</sup> )	ファントムの中心からファントム総面積の約 75% 以上

コイル	腹部用コイル
ファントム	直径 20cm 以上の球 (または使用する FOV の 85% 以上の大きさを要するもの)
ファントム充填物質の電気伝導率 (または組成)	硫酸銅溶液: 0.3g/dm <sup>3</sup> ↑、0.8g/dm <sup>3</sup> ↓
	塩化マンガン溶液: 0.0016g/dm <sup>3</sup> ↑、0.0032g/dm <sup>3</sup> ↓
	オリーブオイル: T <sub>1</sub> 値=200msec、T <sub>2</sub> 値=60msec
ファントムの T1 (msec)	100 < T1 < 1200

ファントムの T2 (msec)	50<T2<400
ファントム温度および室温 (°C)	22±4°C
パルスシーケンス	SE 法の第 1 エコー
ピクセルあたりの帯域幅 (Hz/pixel)	通常使用する範囲で可 (例: 150-300)
撮像視野 (FOV)	撮像面内におけるファントム径の 110% 以内
TR: 繰り返し時間 (msec)	TR ≤ 5 × ファントムの T1 (例: 800-1000)
TE: エコー時間 (msec)	通常使用する範囲で可 (例: 15-20)
スライス厚	≤ 10mm
NAQ: 信号加算回数	SNR > 80 (例: 1)
撮像マトリックス	通常使用する範囲で可
ローパスフィルタ処理の有無	SNR > 80 なし
測定 ROI の大きさ (cm <sup>2</sup> )	ファントムの中心からファントム総面積の約 75% 以上

結果の評価および注意事項

- ・撮像断面はシングルスライスで同一中心の 3 直交平面 (横断、冠状断、矢状断) とすること。
- ・十分な SNR が得られるようにする。(SNR が 80 以上)
- ・ファントム設置後 10 分以上経過してからスキャンを開始する。(溶液のゆらぎ除去)
- ・撮像回数は各断面につき 1 回。(2 回の平均をとる必要はない)
- ・値が大きいほど均一であり、完全に均一な場合は 100% となる。

4. 例題

4-1 頭部を想定した場合

		横断	冠状断	矢状断
最大値 (S <sub>MAX</sub> )	ROI 内の最大ピクセル値	768.5	773	842
最小値 (S <sub>MIN</sub> )	ROI 内の最少ピクセル値	547	399	425
スパン (Δ)	$\Delta = (S_{MAX} - S_{MIN}) / 2$			
信号平均値 (S)	$S = (S_{MAX} + S_{MIN}) / 2$			
均一度 (U)	$U = 100 - (100 \cdot \Delta / S)$	%	%	%

4-2 腹部を想定した場合

		横断	冠状断	矢状断
最大値 (S <sub>MAX</sub> )	ROI 内の最大ピクセル値	404.5	401	441
最小値 (S <sub>MIN</sub> )	ROI 内の最少ピクセル値	219.5	183	187.5
スパン (Δ)	$\Delta = (S_{MAX} - S_{MIN}) / 2$			
信号平均値 (S)	$S = (S_{MAX} + S_{MIN}) / 2$			
均一度 (U)	$U = 100 - (100 \cdot \Delta / S)$	%	%	%

5. さいごに

全 4 回にわたり、磁気共鳴専門技術者の「装置の精度管理に関する性能評価項目」に基づき、実際の測定で役立つような形式で記述した。試験を受験する方はもちろん、受験をしなくとも精度管理は MRI に携わる診療放射線技師にとって重要であり、診断や患者の予後に大きく関わる。また、連載には含まれていないが CNR や歪みの測

定など多くの画像評価や性能評価がある。今回読んでくださった方が興味を持ち、MRIに触れるきっかけになれば幸いです。

#### 資料（専門技術者試験に記述されている項目）

- 1) 標準的な NEMA 法に準じて測定を行い、不均一度を算出する。
- 2) ファントムについて
  - ・頭部：最小寸法は撮像面内で直径 10cm の円または保証範囲の 85% のうち大きい方を満たすもの。
  - ・体幹部：最小寸法は撮像面内で直径 20cm の円または補償範囲の 85% のうち大きい方を満たすもの。
  - ・T1 値<1200ms、T2 値>50ms
  - ・頭部と体幹部の 2 種類の大きさのファントムを使用すること。
- 3) 撮像条件
  - ・撮像断面はファントム中心を含む 3 断面(axial、coronal、sagittal)。
  - ・ファントムは RF 受信コイルの中心に配置する。
  - ・室温およびファントム温度は  $22 \pm 4^{\circ}\text{C}$ 。
  - ・ $\text{TR} \geq 5 \times \text{T1}$ 、TE は一般的に臨床に使用される範囲。
  - ・FOV は面内において RF コイルの最大径の 110% を超えないこと。
  - ・SE 法 (first echo) を用いる。
  - ・スライス厚  $\leq 10\text{mm}$
  - ・マトリクスサイズは  $128 \times 128$  以上を用いる。
  - ・画像フィルタは使用しない。
  - ・十分な SNR を担保すること。
  - ・ROI は画像断面の 75% は少なくとも囲むこと。
  - ・表面コイルは使用できない。
  - ・Parallel imaging を使用してはいけない。
- 4) 測定方法を図示し、評価結果を求めるための数値を図中に直接書き込む。
- 5) 測定結果を求める計算式を添えて、評価結果を表示する。

#### 【補足】

NEMA 法とは異なるが、頭部用コイルとして表面コイルを使用する場合は、感度補正フィルタ処理を行う。

#### 参考

- ・National Electric Manufacturers Association : Determination of signal-noise ratio (SNR) in diagnostic magnetic resonance images, NEMA Standard Publication, MS1 (2008)
- ・宮地利明 編：標準 MRI の評価と解析. 40-43, 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. 27-31, 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 2018-8-17)

以上