

箇条書きのまとめ

「B1+RMS」って知っていますか？

私はつい最近まで知りませんでした。調べてみると・・・安全にかつ合理的にMRI検査を行うために重要なキーワードでした。

まず「B1+RMS」を学ぶための重要なポイントを以下に示します。

- ① 最新の添付文書を手に入れろ！
- ② 条件付きMR対応デバイスの条件に変化！？
- ③ B1ってなに？, RMSってなに？
- ④ B1+RMSとSARの違い
- ⑤ 体内金属がある場合のSAR制限管理の弱点
- ⑥ Safety Margin
- ⑦ B1+RMSと撮像条件の関係

これらのポイントをすべて盛り込んだ原稿は・・・

ボリュームが多くなりすぎたため、下記よりダウンロードをお願い致します！

「添付文書に変化!？」

近年 MRI 対応ペースメーカーや MRI 対応埋め込み型除細動器など、従来 MRI 検査禁忌だった体内金属が MRI 検査可能になってきています。このように体内金属がある場合でも、一定の条件下であれば MRI 検査可能なデバイスを「条件付き MR 対応デバイス」といいますが、これは 2005 年に米国材料試験協会(American Society for Testing and Materials (ASTM))が設定した「MR Conditional (条件付きで MRI 可能)」に該当するものです。

・・・でも条件付きという言葉に戸惑いを隠せないのは私だけでしょうか・・・？ その条件はデバイスの添付文書に書いてあります。SAR？, dB/dt？, 磁場強度？, 部位の限定？・・・たくさんの条件があり、またデバイスによって異なるわけですから混乱するのも当たり前です。つまり最新の添付文書をしっかり確認し、整理したうえで検査に臨むことが重要です。最新の医療機器添付文書の検索に役立つのは、pmda (独立行政法人 医薬品医療機器総合機構)のサイトです (<https://www.pmda.go.jp>)。是非「条件付き MR」などでキーワード検索をしてみてください。

最近？, 条件付き MR 対応デバイスの添付文書内に変化があることに気づかされました。見慣れない言葉として「高周波(RF)強度: B1+RMS」の記載があります(図 1)。これは IEC 第 3 版, JIS Z 4951 第 3 版 (いわゆる 2012 年版)の改定により B1+RMS の表記が追加になったそうです。つまり、この頃から条件付き MR 対応デバイスの添付文書はもちろん、MRI 装置メーカーもコンソール上でこの値が確認できるように変更してきているわけです。

条件付きMR対応デバイスの項目の変化

Mectronic
承認番号: 207082700880000

機械器具 (12) 理学治療用器具
脳卒中用脳電気刺激装置
JMDSコード: 37307000

DBS-D
(条件付き MRI 対応)

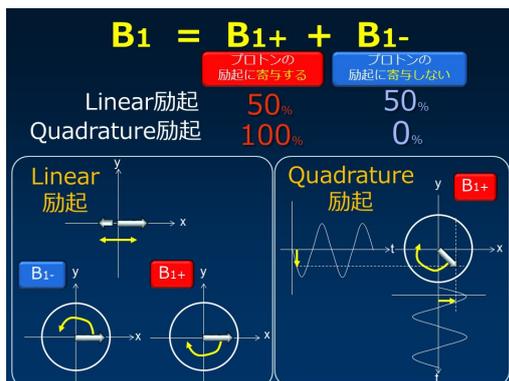
項目	条件
静磁場強度	1.5 テスラ(T)
マグネットガントリーの形状	水平方向クローズドボア(トンネル)型
コイルタイプ	送受信型頭部用クワドラチャ RF コイル、 送受信型全身用クワドラチャ RF コイル 及びすべての受信用コイル
高周波(RF)強度	$B_{1\text{rms}} < 2.0\mu\text{T}$ 以下 $B_{1\text{rms}}$ を表示できない MRI 検査装置の 場合: SAR 0.1W/kg 以下
残留磁場強度	スレープト: 200T/m/s 以下

IEC 第3版, JIS Z 4951 第3版 (2012年版)
より B_{1+RMS} の表記が追加

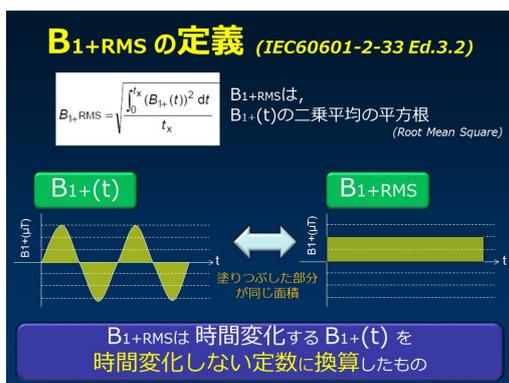
「B1+RMS ってなに?」

ではこの「高周波(RF)強度: B1+RMS」について理解を深めていきたいと思います。まず B1 とは原子核を励起するために用いる磁場のことで RF 磁場の事です。また B1 はプロトンの励起に寄与する「B1+」とプロトンの励起に寄与しない「B1-」の和から成り立ちます。直線上に変化する磁場を生成する Linear 励起の場合、B1+が 50% , B1-が 50% ですが、最近の MRI 装置は、位相が $\pi/2$ ずれた正弦波状に変化する磁束密度ベクトルを直交する 2 方向から加えることで回転磁場を生成する Quadrature 励起のため、B1+が 100% , B1-が 0% となります(図 2)。つまり「B1+」の成分のみ

考えれば良いわけです.



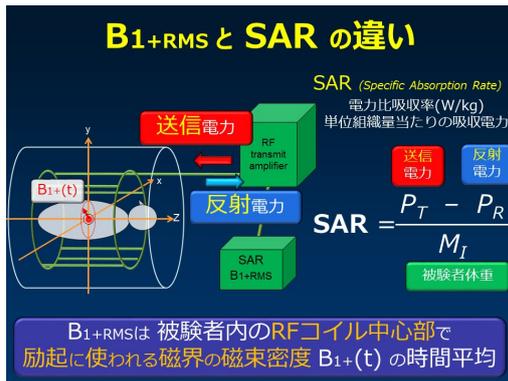
次に RMS (Root Mean Square) ですが、訳語は二乗平均の平方根の事です。これは、時間的に変化する信号（この場合は B₁₊磁場）を、時間的に変化しない実効的な大きさ (B₁₊RMS 値) として表す際に用いる方法です。例えば図 3 のように、時間的に変化する波形の大きさ(面積)を知りたい場合に、RMS を用いて表現すると、波形をならして同じ大きさ(面積)になるような直流信号に変換することができます。つまり B₁₊RMS とは、時間的に変化する B₁₊磁場の大きさを、時間的に変化しない定数(実効値)に換算したものであるということになります。



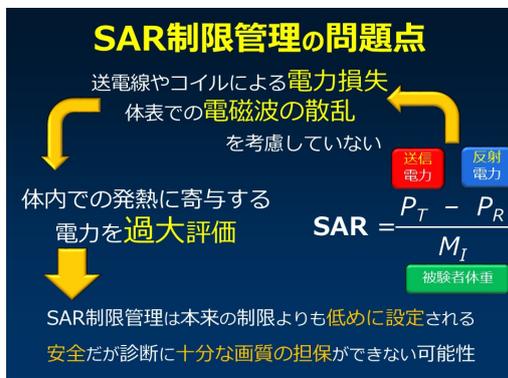
「B₁₊RMS と SAR」

B₁₊RMS は RF 磁場の強度のことなので、RF による人体の発熱と密接な関わりがあります。人体の発熱管理といえば Specific Absorption Rate (SAR) ですが、体内金属がある患者における発熱管理は B₁₊RMS の方が優れると言われます。それはなぜでしょうか？ B₁₊RMS と SAR を比較しながら見ていきましょう。

まず定義ですが、B₁₊RMS は被験者内の RF コイル中心部で励起に使われる磁界の磁束密度 B₁₊(t) の時間平均のことで、一方 SAR は単位組織量当たりの吸収電力のことです。SAR は図 4 に示すように RF アンプにおける「送信電力と反射電力の差」を被験者の体重で除したものです。



体内金属がある患者における発熱管理を SAR で行う場合、いくつか問題点があります。1つ目に、SAR 制限管理は、送電線やコイルによる電力損失や体表での電磁波の散乱を考慮していないため、反射電力を過小評価(体内での発熱に寄与する電力を過大評価)し、制限に引っかかりやすくなってしまう(撮像条件設定に苦慮する)。これは安全面ではよいのですが、診断に十分な画質の担保ができない可能性があります(図 5)。



次に Safety margin というものがあります。SAR は B_{1+RMS} の 2 乗に、システム・人・部位によって変化する比例係数 f を乗じたもので表されます。この比例係数 f を Safety margin といいます。この値は各 MRI 装置メーカーに委ねられているため、図 6 のように SAR を 1.0W/kg で制限をしようとしても、B_{1+RMS} 値は各社同じように制限ができないという問題があります。また Safety margin を過剰にとっているメーカーは B_{1+RMS} 値が低く制限されるため、これによっても画質の担保という点で弊害が生じます。以上のように体内金属がある患者の発熱管理に、人体の RF の吸収に強く依存する SAR を用いることは、撮像条件の制限や MRI 装置メーカーごとに統一した制限管理ができないため、困難であることがわかります。一方 B_{1+RMS} は、人体の RF の吸収に依存せず、RF コイル中心部での励起に使われる磁束密度の大きさを見ているだけなので、体内金属にどの程度の RF が照射され、どの程度の発熱をするのかを直接的に表現していることとなります。つまり体内金属がある患者は B_{1+RMS} の方が発熱管理をしやすいわけです。

Safety Margin

比例係数 (f) は各社に委ねられ
各社 Safety Marginをとる RFパワーの指標

SAR = f (システム・人・部位) × B1²+RMS

SAR = 1.0 W/kg

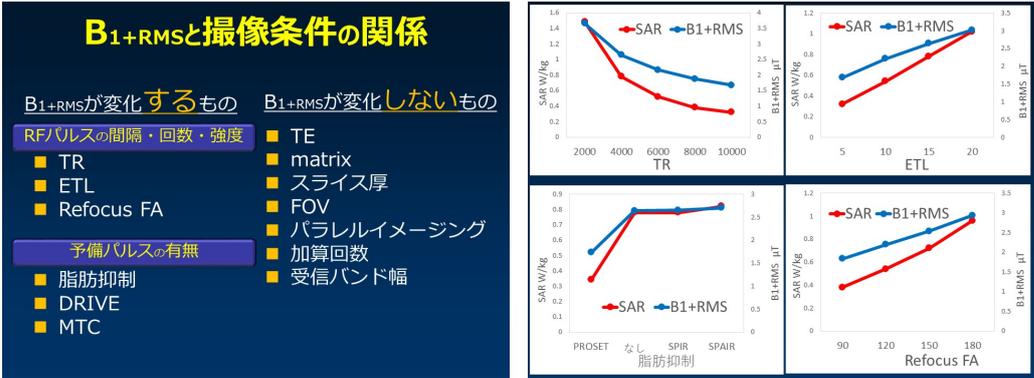
A社システム: SAR = 0.5 × B1²+RMS ∴ B1+RMS = 1.4 μT
 B社システム: SAR = 1.0 × B1²+RMS ∴ B1+RMS = 1.0 μT
 C社システム: SAR = 1.5 × B1²+RMS ∴ B1+RMS = 0.82 μT

SAR制限管理では、B1+RMSを各社 同様に制限できない

SARのSafety Marginをとるため、
必要以上にB1+RMSを制限し、意図した画質が得られない

「B1+RMS と 撮像条件の関係」

B1+RMSと撮像条件の関係を知ることは、条件付きMR対応デバイス挿入患者のMRI検査を行う上で必須です。例えば撮像条件を変更するとB1+RMS値が変化するものとして、TR, ETL, Refocus FA, 脂肪抑制パルス, DRIVE, MTC パルスなどがあります。つまりRFパルスの間隔・回数・強度のほか、予備パルスの有無に依存してB1+RMS値が変化します(図7)。また図8より、B1+RMS値を低減させる場合はSARを低減させるのと同じ考えでよいことがわかります。



B1+RMS値やdB/dt, スリューレートなどMR対応デバイスの条件に合わせて、細心の注意を払って撮像条件を変更することが現場の技師に求められ、シークエンスごとに調整と確認作業を繰り返します。これは非常に大変な作業ですが、最新のアプリケーションでは体内金属がある場合、安全に検査を行うアシスト機能 (ScanWise Implant) があります(図9. フィリップスエレクトロニクスジャパン様よりご提供)。これは患者登録時に、条件付きMR対応デバイスの制限値を数値で直接入力することで、シークエンスごとにパラメータを自動調整し、制限値に引っかからないようにアシストしてくれます。これによりシークエンスの調整・確認作業の負担軽減と、人の目による管理だけでなく機械による管理のダブルチェックが可能であり、現場の技師も患者もより安全に検査に臨めるのではないかと考えています。

ScanWise Implant

安全な検査のためのアシストインターフェイス

The screenshot displays the ScanWise Implant software interface. On the left, a sidebar lists protocols. The main window shows 'Examination conditions' with fields for 'Maximum SAR' (2.0), 'Spatial gradient field' (2000), and 'Maximum dB/dt' (Not specified). A warning message states: 'The implant must not touch the red areas.' Below this, there are radio buttons for 'SAR - Whole body', 'SAR - Head', and 'dB/dt'. A section titled 'What is the maximum specific absorption rate?' has radio buttons for 'SAR - Whole body', 'SAR - Head', and 'dB/dt'. A text box prompts to 'Enter the minimum SAR for the implant' with a value of '0.1' and a unit of 'W/kg'. To the right, a diagram shows a cross-section of a head with red areas indicating SAR limits. Below the diagram, text reads: 'Sign when horizontal section through the scanner'. At the bottom, a blue box states 'SARやB1+ms上限値を直接入力可能'.

- 直接SAR, dB/dt, 空間磁場勾配の制限値を入力
- プロトコルを一括管理
- 制限値内の条件で安全に検査
- 空間磁場勾配の制限値を超えるエリアを赤で表示
- インプラントが赤いエリアに配置されないようにポジショニングのガイドを表示

検査プロトコルを一括管理 設定値を常に確認可能 SARやB1+ms上限値を直接入力可能

9

PHILIPS

今後、条件付きMR対応デバイスの需要は増加すると思われるため、B1+RMSでの発熱管理がより注目されると思います。これを機に各施設でMRI検査の安全管理を見つめなおすきっかけになれば幸いです。

参考文献:

- 日本磁気共鳴医学会 安全性評価委員会. MRI 安全性の考え方 第2版. 2014
- 黒田輝. SARとB1+RMS. INNERVISION (30.9) 2015
- 荻野徹男. 日本工業規格 改正の要点. INNERVISION (27.9) 2012