

● 死後MRIの撮像技術と画像解釈

— 臨床技術の常識と非常識 —

1) 千葉大学大学院医学研究院 法医学
2) 東京大学大学院医学系研究科 法医学

小島正歳¹⁾、槇野陽介^{1, 2)}、岩瀬博太郎^{1, 2)}

死後MRIの撮像は臨床で得た撮像技術をもって行ってきた。しかし、臨床の知見からでは解釈できない画像コントラストが現れることもしばしば経験してきた。本項では、臨床での常識が通用しなかった死後MRI特有の非常識な経験をテクニカルな側面から解説する。

Postmortem MRI has been performed using imaging techniques acquired in living body. However, image contrasts appear that cannot be interpreted from this experience. In this section, I will explain the technical aspects of the unique and insane experience of postmortem MRI, where the common sense of clinical practice has not been applied.

● はじめに

MRIは超音波検査を除くと診療放射線技師の業務の中で放射線を使用しない唯一のモダリティである。RFパルスを人体に照射し組織のスピン(水素原子核)から発生する信号を画像化している。CTにはCT値という絶対値があるのに対し、MRIの信号強度は相対値でありシーケンスごと、患者ごとにすべての画像の信号強度は異なる。画像コントラストは組織ごとに異なるT₁値、T₂値、プロトン密度(PD)から作られる。正常組織のT₁値、T₂値、PDについては多くの報告があり固有値がわかっている¹⁾。よって健常者や多くの疾患において画像コントラストには一定のコンセンサスがある。現在では、施設ごとに多少の違いはあっても日常臨床においてルーチン検査用の撮像条件がセットされていてオペレーターの違いが画質に影響しないように標準化が進んでいる。本

項では、撮像技術と画像について臨床との違いを述べていく。

● 死後MRI (PMMR : postmortem MRI) の現状

日本においてPMMRを実施している施設は私の知る限り5施設ほどで、他にもスポット的に実施している施設も存在するかもしれないが、いずれにせよ極めて少ないのが現状である。この先も急速に増加する可能性は極めて低い。また、施設の特徴も様々で院内死亡例、小児、警察依頼、法医学案件と対象が異なる。そのような環境で海外の文献を調べたり国内の実施施設と経験を共有し、PMMRの正常と異常について撮像技術を含めて情報を蓄積している。

● PMMRの長所と短所

生体のMRI撮像では被曝がない、非造

影で血管像が撮像できるなどの長所があるがPMMRにおいては被曝と造影剤投与の侵襲性の考慮は必要ない。MRIの代表的な短所は、撮像時間が長い、空間分解能が低い、呼吸や拍動など動きに弱いなどが挙げられる。PMMRにおいては、装置の確保ができ撮像時間の制限がなければ分解能と信号雑音比(SNR: Signal-to-noise ratio)を大幅に上昇させられる可能性がある。金属や空気による磁化率アーチファクトは撮像時間の延長では解決できないが、生体において短所とされるもののほとんどを解決できる可能性がある。このように撮像の環境や条件においても生体とは異なる常識がPMMRには多く存在する。

● 撮像対象の常識と非常識

PMMRの撮像対象である死体は、死後直後でない限り低温である。臨床において脳の温度を計測する研究²⁾が行われて

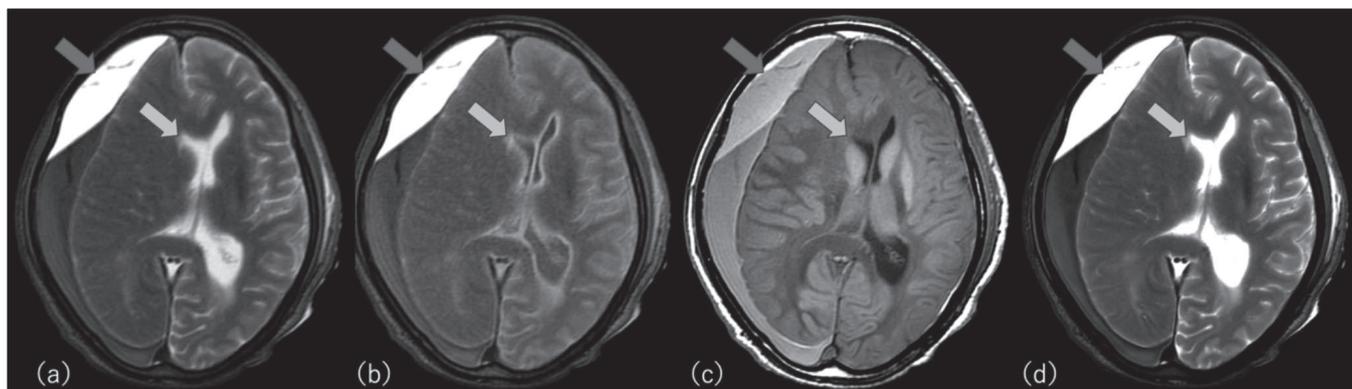


図1 硬膜下血腫の事例 (a) FLAIR (TI: 2,400ms)、(b) FLAIR (TI: 1,700ms)、(c) T₁WI、(d) T₂WI

→巻頭カラー参照

いるが、生体の温度変化量と死後の温度変化量は大きく異なる。生体では体温の違いを考慮して撮像条件を変更することはない。当教室では死体を4℃設定の冷蔵庫にPMMR撮像時まで保管している。そのため撮像時の直腸温は4℃から高くても15℃程度である。死体は恒温機能が停止しているためRFの印加、コイルの発熱、室温などの影響により撮像中に温度上昇する³⁾。

緩和現象の常識と非常識

Bloembergen Purcell Pound (BPP) 理論⁴⁾によってT₁値は温度の低下とともに短縮し、T₂値も温度の低下とともに短縮する。MRIのスピンエコー法の信号強度は以下式(1)にて算出される。

$$SI=PD \times [\exp(-TE/T_2) \times (1 - \exp(-TR/T_1))] \quad (1)$$

信号強度は温度に大きく依存する。また、死体は組織の浮腫、脱水、脳脊髄液など水分産生機能の停止、乾燥など様々な要因により体内の水分分布が変化する。これにより信号強度の大きなパラメータであるPDが変化する。

ここまで、当教室におけるPMMRの背景と臨床とは異なる画像解釈の環境因子と基礎原理について解説した。

撮像技術の常識と非常識

1. T₁値がもたらす非常識

先に述べたように低温下で最も変動す

る信号パラメータはT₁値である。T₁値が大きく影響するシーケンスとしては、まずT₁WIやInversion recovery (IR) 法を用いたSTIRやFLAIRが容易に想像できる。臨床ではSTIRとFLAIRのInversion time (TI)を患者によって変更することはほぼない。しかし、T₁値は温度に依存し大きく変化するので死体の体温に合わせてTIを変化させる必要がある⁵⁾。

図1に硬膜下血腫の事例を示す。FLAIRのTIは臨床ではおよそ2,300msから2,600msが推奨されている。本事例では2,400ms (図1a) ではT₂WI (図1d) と同様に脳脊髄液の信号が抑制されていない。これでは硬膜下血腫の高信号域 (図1赤矢印) と同じ信号のため脳室内にも血液が存在する可能性がある。もちろんT₁WIで脳室は低信号であるため診断に苦慮はしないが、これではFLAIRを撮像する必要がなくなる。そこでTIを1,700msに設定すると脳脊髄液は抑制され生体と同様の画像コントラストを取得できる (図1b)。体温とTIの関係は多くの報告⁶⁾があり、TIを変更するという事は臨床では非常識であるがPMMRでは常識となっている。

2. 拡散強調像の常識と非常識

臨床で拡散強調像と聞くと脳梗塞患者の梗塞巣が高信号になった画像が真っ先に浮かぶであろう。しかし、脳梗塞で亡くなる方はそれほど多くなく、さらにPMMRまで撮像されることは極めて稀である。また、死後変化により脳梗塞巣が死後どのような経過 (信号変化) をたどるのかについての報告は知る限りない。ではまず、PMMRの拡散強調像のコントロール画像

コントラストはどのようなものか見てみる。PMMRでの頭部拡散強調像は、筆者の頭部拡散強調像 (図2d) に比べ基底核の解剖構造のコントラストが低いことがわかる。白質全体の信号低下により、灰白質とのコントラストが高く描出されている。大脳実質のApparent diffusion coefficient (ADC) 値は $0.3 \sim 0.5 \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$ であり生体⁷⁾のおよそ半分の値であった。拡散強調像では、脳梗塞のようにb0画像が中～高信号、高b値画像が高信号の場合ADC値は低下する。また、b0画像が高信号、高b値画像が中～高信号の場合ADC値は高く、これをT₂ shine-throughと呼ぶ。死後脳の拡散強調像のようにb0画像が低信号、高b値画像が低信号の場合ADC値は低く、これをT₂ dark-throughと呼ぶ。これは、低温によるブラウン運動の低下よりも画像取得時の信号そのものの低下によることが原因と考えられるが、詳細については報告はない。PMMRでの拡散強調像は死後経過時間の推定⁸⁾、ADC値による年齢推定⁹⁾、脳コネクティビティの解明¹⁰⁾など研究的な報告に留まっている。生体では脳に限らず病変の検出から病期の決定まで広く普及している拡散強調像であるが、PMMRでの日常的な有用性はまだ確立されていない。

3. 分解能の常識と非常識

生体において胸部、上腹部の撮像では息止めでの撮像や心電図同期を併用した撮像が必要である。当然、呼吸停止できる時間には限界があり、患者の状態によっては息止め自体が不可能なこともある。各メーカーから自然呼吸下でもモーショ