

## MRI ガイド下の低侵襲性手術

原田潤太、成田賢一、最上拓児、土肥美智子

MRI は非被曝性で組織分解能に優れ、高速スキャンによる MR 透視は MR 誘導下の手術を可能とした。低侵襲性治療において、治療を確実にするためには治療範囲の正確なモニターが必要であり、MRI は非常に有用なモダリティである。

### 1. はじめに

近年 MR 画像をガイドにした治療が行われるようになり Interventional MRI (iMRI) として注目されている。これは MRI 室内でのプランニング、ガイディング、モニタリングにより、治療範囲を正確にモニターすることで治療を正確・安全に行うことである。iMRI の利点は X 線被曝がなく任意の断層面が得られ組織分解能に優れるとともに、血流情報、温度感受性画像、凍結手術における凍結範囲がモニターできることである。患者へのアクセスはほとんどの機種で水平方向であるが、垂直・軸方向でのアクセスが可能な機器の開発もなされ比較的広い撮影空間内での治療手技が可能となった。MR 対応の穿刺針、生検針はニッケルクロム合金やチタン合金製のものが用いられ、MR 透視像で低信号に明瞭に描出される。脳腫瘍の生検では定位的に、頭頸部、縦隔、骨盤内および軟部腫瘍の生検や膿瘍、嚢胞のドレナージ治療ではフリーハ

ンドに術者の指をマーカーとして穿刺部位とその方向を確認し、MR 透視下で穿刺目標点まで進めていく。iMRI には穿刺・生検のほかレーザー照射、ラジオ波、マイクロ波、focused ultrasound などの温熱治療、超低温による組織内凍結手術などがあり MRI がモニタリング画像として低侵襲性治療に大きく期待される。

### 2. オープン型 MRI

MRI ガイドで行うインターベンションではオープン型 MRI 装置が手技を進める上で必要となる。オープン型 MRI には横方向に空間が広がるハンバーグ型や C アーム型の装置、上下方向に空間が広がるダブルドーナツ型の装置がある。今回使用した MRI 装置はハンバーグ型 0.3T オープンタイプ垂直磁場装置 (AIRIS II、日立メディコ) である。本装置は前面 270 度、後面 70 度、高さ 38~45cm のオープンスペースを有し、頭尾方向、左右方向から



Fig1. インルームモニターはオープン型 MRI 装置と一体となっている。

のアプローチが可能となる。本体には 360 度回転できるインルームモニターが設置されており、術者は MR 透視画像を見ながら手技を進めることができる (Fig.1)。MR 透視は T1 強調として 1) T1W GrE : TR/TE/FA:35/11.5/35, matrix: 192×128、2) SSFP GrE EPI: TR/TE/FA: 25/11.8/30, matrix: 100×228、T2 強調として 3) TR-SARGE : TR/TE/FA: 16/25.4/50, matrix: 152×128, を用い、最近では 1 フレーム 1 秒の連続透視が可能である。再構成処理時間は 1 イメージあたり 1.5 秒であるが、ワークステーションタイプの AIRIS II 型にグレードアップされた現在、再構成処理時間は 0.05 秒に短縮された。

### 3. 穿刺・生検とドレナージ

MR ガイドによる穿刺・生検では任意の撮像断面であらゆる方向から MR 透視下に穿刺・生検針をリアルタイムに観察しながら病変部に正確、安全に進めることができる。穿刺・生検針は MR 対応の金属製で、穿刺針、生検針にはクック社製のニッケルクロム合金のものやダウム社製のチタン合金のバイオプシーガンが市販されている。フリーハンドで行う穿刺・生検やドレナージ術では T1 強調画像を撮像し、まず病変の位置確認と最適な穿刺経路を検討し、次に穿刺経路に合わせて MR 透視のスキャン面を設定する。術者の指をマーカーとして穿刺点を MR 透視画像上で確認し、この指の位置を目安に局所麻酔を行う。穿刺点の皮膚に小切開を加えた後、MR 透視画像を見ながら、穿刺・生検針を穿刺目標点まで進める。膿瘍や嚢胞のドレナージにおいては病変部位への穿刺は生検と同様に行うことで確実な穿刺が可能である。Fig.2 は骨盤内嚢胞のドレナージ術を示す。MR ガイド下に穿刺し、MR 透視下でリアルタイムに観察しながら吸引し、病変の縮小を確認することができる。リアルタイム性や簡便性に関しては、MR 透視は超音波や CT 透視に比べ劣ることは否めない。

しかし、脳、頭頸部、脊椎、骨、軟部領域ではターゲットがほとんど不動のため、MR 透視画像のリアルタイム性が問題となることは少なく、穿刺針をゆっくり進めることで対処可能である。

### 4. 温度モニタリング

近年、レーザー、マイクロ波)などを利用した腫瘍、椎間板ヘルニア、前立腺肥大などに対する経皮的温熱治療が可能となり、minimally invasive therapy として注目されている。これら体内深部で行われる治療には、その安全性と正確性が要求され、ガイディングとモニタリングに MR 画像が応用されるようになった。MRI による温度計測には T1 緩和時間、プロトンケミカルシフト、および水分子拡散係数など温度に感受性を有するパラメーターが用いられ、それぞれに対応して信号強度法、位相法、拡散画像法がある。中・低磁場では T1 緩和時間、プロトンケミカルシフトによる温度計測が可能となる。図は椎間板ヘルニアレーザー照射中の位相法による温度モニタリング画像を示す。位相法は組織依存性が少なくレーザー照射による温度分布画像をオンラインでリアルタイムに表示できる (Fig.3)。

### 5. 凍結治療

組織内凍結療法は液体窒素を用いたプローベ型の装置が開発され、画像モニターのもとに行う凍結療法が欧米を中心に試みられるようになってきた。また最近になり MRI 対応アルゴン・ヘリウム凍結端子による冷凍装置が開発された。本装置は、Joule-Thomson 効果により超低温を得る機器であり、凍結に高圧アルゴンガス、解凍に高圧ヘリウムガスを用いた冷凍手術器である。高圧 (300 気圧) のアルゴンガスが大気圧のプローベ内に噴出されるとプローベ先端で  $-185^{\circ}\text{C}$  の超低温となる。逆にヘリウムガスの噴出ではその先端で温度上昇を示し解凍が可能となる。本装置による凍結

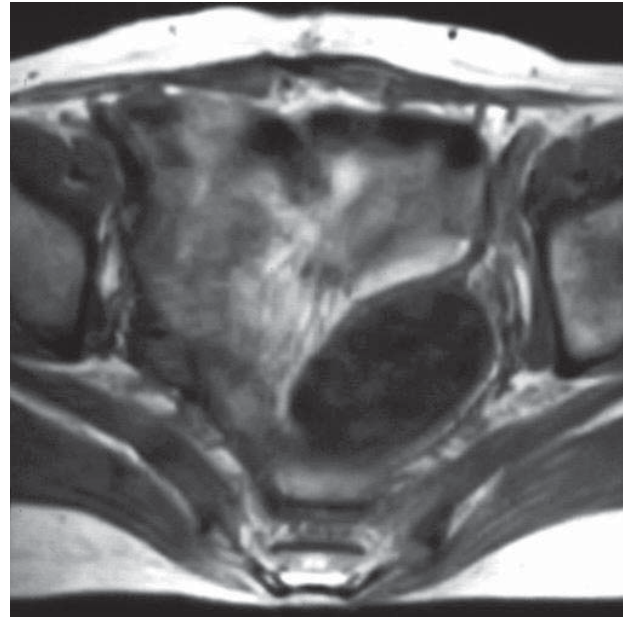
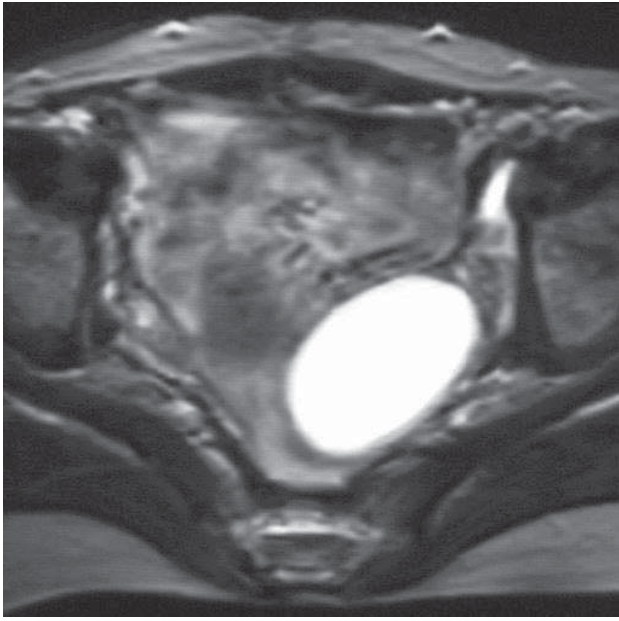
解凍の変換は容易で 10 秒の間に  $-165^{\circ}\text{C}$  と  $+54^{\circ}\text{C}$  の温度変化を得ることができる。超低温が得られる範囲はプローベ先端部 2 cm であり、3mm のプローベで 4 cm のアイスボールが形成される。本装置では 5 本のプローベを同時に作働することができるため、数本のプローベ穿刺によりさらに大きな腫瘍凍結もデザインできる。超低温による組織の影響は細胞内外の凍結、細胞外液凍結による高浸透圧性変化、微細血流の鬱滞と塞栓などによる細胞死である。体内深部で経皮的な凍結治療を行う場合、超音波、CT、MRI など画像によるモニターが必須となる。超音波や CT をモニタリングとして用いた報告はいくつかあるが、超音波では後方エコーの減弱が見られ、凍結範囲深部の情報に乏しい。CT ではアイスボールは低吸収域として描出できるがコントラストはそれほど高くない。一方 MRI は任意断層面、非被曝性であることに加え、T1,T2 緩和時間の著明な短縮効果で凍結部位を無信号域として非凍結部位との間に強いコントラスト差を生じる。MRI で観察できる無信号の辺縁は  $0^{\circ}\text{C}$  の境界を示すため、凍結範囲の評価に対し最良のモダリティといえる。図は腎癌の凍結手術を示す (Fig4)。凍結プローベの太さは 2mm であり、局所麻酔下にプローベを目標部位に MRI 透視下で誘導でき、凍結中に増大するアイスボールは経時的に MRI でモニターできる。凍結領域は腫瘍壊死とともに経時的に吸収される。凍結治療の特徴の 1 つとして凍結中の痛みがないことであり、穿刺・凍結に伴う合併症がなければ日帰り手術が可能な低侵襲性治療法となる。

## 6. おわりに

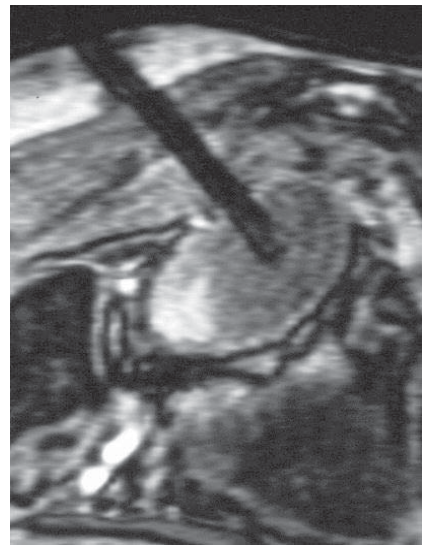
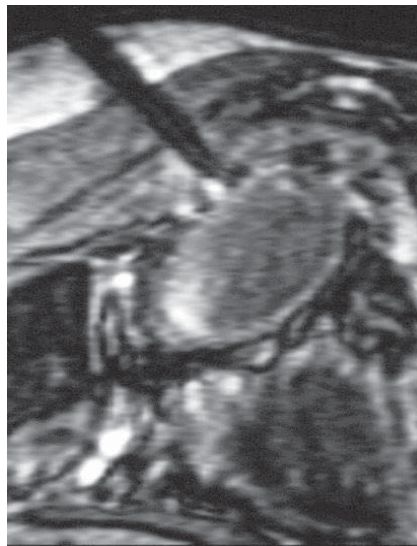
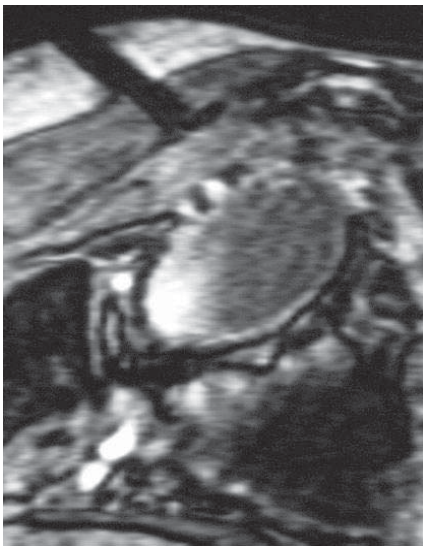
組織内凍結療法は液体窒素を用いたプローベ型の装置が開発され、画像モニターのもとに行う凍結療法が欧米を中心に試みられるようになってきた。また最近になり MRI 対応アルゴン・ヘリウム凍結端子による冷凍装置が開発された。本装置は、

Joule-Thomson 効果により超低温を得る機器であり、凍結に高圧アルゴンガス、解凍に高圧ヘリウムガスを用いた冷凍手術器である。高圧 (300 気圧) のアルゴンガスが大気圧のプローベ内に噴出されるとプローベ先端で  $-185^{\circ}\text{C}$  の超低温となる。逆にヘリウムガスの噴出ではその先端で温度上昇を示し解凍が可能となる。本装置による凍結解凍の変換は容易で 10 秒の間に  $-165^{\circ}\text{C}$  と  $+54^{\circ}\text{C}$  の温度変化を得ることができる。超低温が得られる範囲はプローベ先端部 2 cm であり、3mm のプローベで 4 cm のアイスボールが形成される。本装置では 5 本のプローベを同時に作働することができるため、数本のプローベ穿刺によりさらに大きな腫瘍凍結もデザインできる。超低温による組織の影響は細胞内外の凍結、細胞外液凍結による高浸透圧性変化、微細血流の鬱滞と塞栓などによる細胞死である。体内深部で経皮的な凍結治療を行う場合、超音波、CT、MRI など画像によるモニターが必須となる。超音波や CT をモニタリングとして用いた報告はいくつかあるが、超音波では後方エコーの減弱が見られ、凍結範囲深部の情報に乏しい。CT ではアイスボールは低吸収域として描出できるがコントラストはそれほど高くない。一方 MRI は任意断層面、非被曝性であることに加え、T1,T2 緩和時間の著明な短縮効果で凍結部位を無信号域として非凍結部位との間に強いコントラスト差を生じる。MRI で観察できる無信号の辺縁は  $0^{\circ}\text{C}$  の境界を示すため、凍結範囲の評価に対し最良のモダリティといえる。図は腎癌の凍結手術を示す (Fig4)。凍結プローベの太さは 2mm であり、局所麻酔下にプローベを目標部位に MRI 透視下で誘導でき、凍結中に増大するアイスボールは経時的に MRI でモニターできる。凍結領域は腫瘍壊死とともに経時的に吸収される。凍結治療の特徴の 1 つとして凍結中の痛みがないことであり、穿刺・凍結に伴う合併症がなければ日帰り手術が可能な低侵襲性治療法となる。

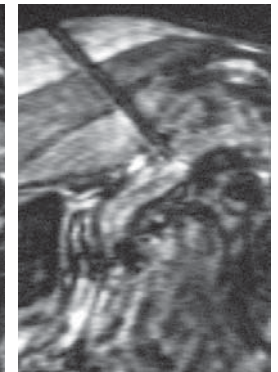




a.左骨盤内に嚢胞性腫瘤を認め、左水腎症を伴っていた。



b.MR 透視下で穿刺針を嚢胞中心部に穿刺している。



c.嚢胞吸引中の MR 画像を示す。吸引に伴い嚢胞が次第に縮小している。

Fig.2

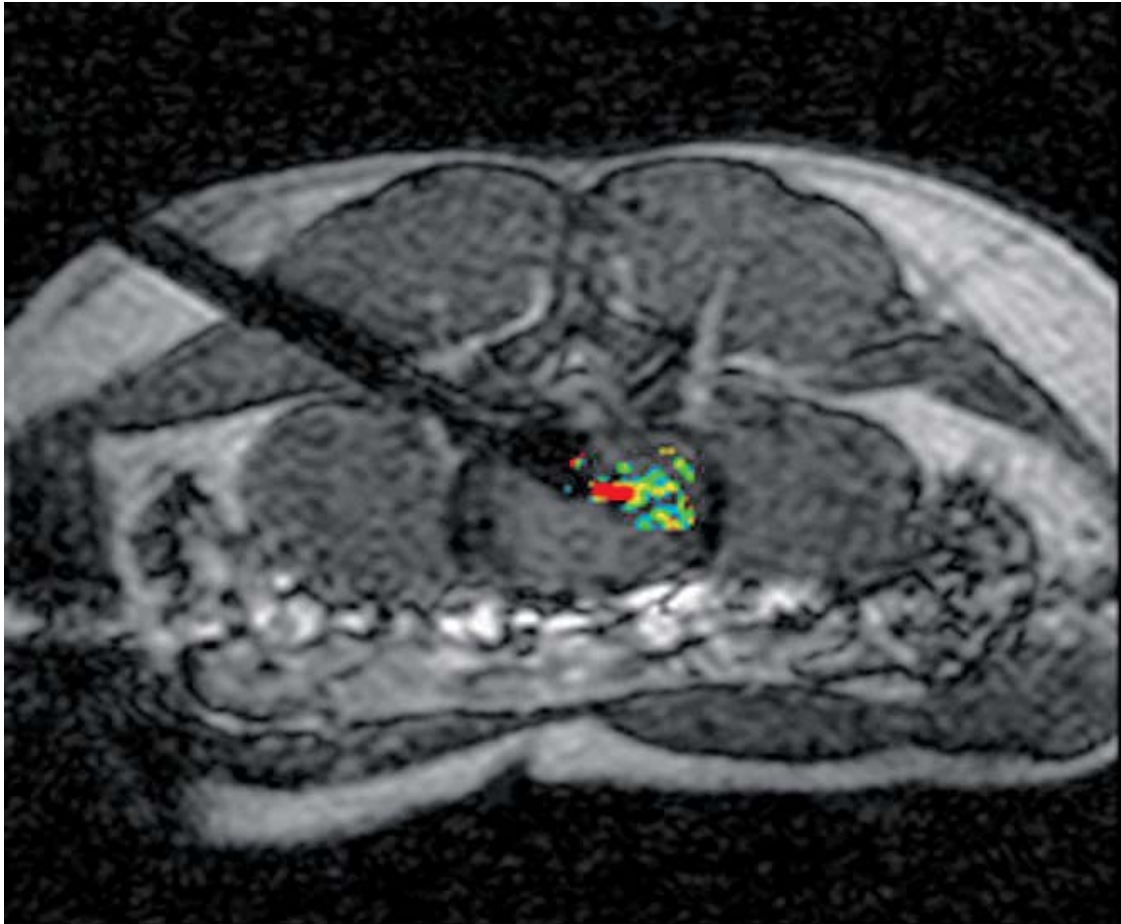
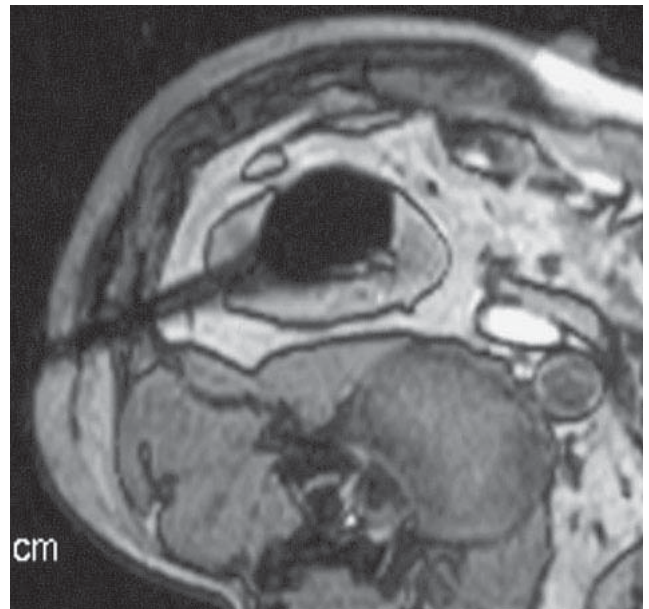
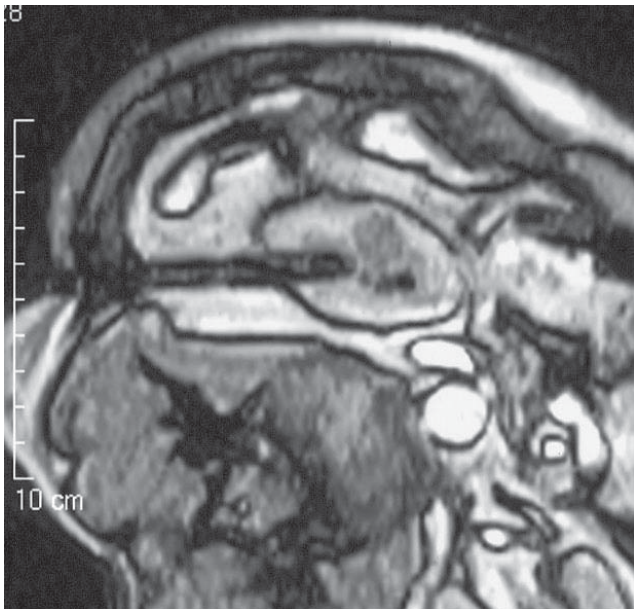


Fig3. 経皮的腰椎椎間板ヘルニアレーザー治療中の位相法による温度画像を示す。レーザー照射による椎間板内の温度上昇をカラスケールとしてオンラインでモニターできる。



a. MR透視により凍結プローブを腎癌に穿刺している。

b. 凍結治療中のMR画像ではアイスボールが腎癌を被っており、治療範囲は明瞭である。

Fig4.

