

論文の内容の要旨

論文題目 血管系 Interventional Radiology のための
X線-MRI ハイブリッドシステムに関する研究

氏名 増本 智彦

研究の背景・目的

Interventional Radiology (以下 IVR) は、画像によるガイド下で針・カテーテルなどを用いて治療手技を行う放射線医学の一分野である。IVR は、病変へのアプローチの観点から分類すると、血管系 IVR と非血管系 IVR の 2 つに大きく分けられる。原則として、血管系 IVR は、高い空間・時間分解能を有する X 線透視および Digital Subtraction Angiography (以下 DSA) という撮影方法が可能な X 線 DSA 装置を用いて行われる。

一方、最近では MRI を用いた IVR 手法が interventional MRI という分野を形成しており、主に非血管系 IVR に応用されている。この利点は、①放射線被曝がない、②任意の方向の断層像が得られる、③優れた軟部組織コントラストが得られる、といったことである。ただし、MRI には空間・時間分解能が X 線装置に劣るという欠点があるため、これまで血管系 IVR への応用は遅れていた。

そこで我々は、X 線装置と MRI を同時に使用可能なハイブリッドシステムを構築して血管系 IVR に応用すれば、両者の利点を享受することが可能であろうと仮定した。また、X 線下で行う手技の一部を MRI 下で行うことができれば、放射線被曝の

減少にも寄与できる可能性があると考えた。

本研究では、まず X 線 DSA 装置と MRI 装置の相互干渉を検討した上で、両者を同室に配置したハイブリッドシステムを構築し、技術的な実用性を検証する。

また、X 線透視下の手技の一部を MRI で代用するために、MR digital subtraction angiography (MRDSA) という撮像法の開発を行い、基礎的検討を行う。

最後に、本ハイブリッドシステムを用いた血管系 IVR の臨床応用として、軟部組織血管奇形の治療を行い、本システムが臨床での使用に耐えうることおよび治療にとっての有用性があることを示す。

基礎的検討(1) : X 線-MRI ハイブリッドシステムの構築・相互作用の基礎的検討

0.3T のオープン型 MRI 装置およびポータブル型 X 線 DSA 装置を使用し、両者の位置関係・状態による相互干渉を検討した。MRI 装置が X 線 DSA 装置に及ぼす影響は、MRI 室内の 3 ヶ所 (MRI 装置の 0.5mT ライン・1mT ライン・2mT ライン) に X 線 DSA 装置を設置してグリッドファントムの撮影を行い、グリッドの歪みおよびフォーカスに与える影響を視覚的に評価した。X 線 DSA 装置が MRI に及ぼす影響は、X 線 DSA 装置を MRI 室内の 0.5mT ラインの位置に設置した状態で円柱ファントムを撮像し、artifact の視覚的評価および signal-noise ratio (SNR) の比較を行った。

結果として、0.5mT ラインの外に X 線 DSA 装置を設置し、MRI 撮像中に X 線 DSA 装置の電源を全て OFF とすることで、相互影響は許容範囲内となった。

臨床で MRI 装置と X 線 DSA 装置を適宜切り替えられるように患者寝台の改良を行い、患者を移動せずに寝台の移動のみで両者の装置を適宜使用することを可能とした。

基礎的検討(2) : MRI 下の血管系 IVR における血流のモニタリング方法 (2D MRDSA) の開発

X 線下で行う手技の一部を MRI 装置で代用して行うことができれば、X 線被爆や両装置間の切替の手間を軽減することができると考え、two-dimensional MR digital subtraction angiography (2D MRDSA) という撮像法の開発を行った。0.3T のオープン型 MRI 装置で、2D RF-spoiled steady-state acquisition with rewind gradient

echo (2D RS SARGE) という撮像法を用い、撮像パラメータ・造影剤濃度の最適化を行った。

血管内に注入した Gd 造影剤を描出することを想定し、様々な造影剤濃度のファントムを、パラメータを調節して撮像したところ、10 あるいは 25 mmol/L の Gd 造影剤 (2%~5%希釈に相当) が高い SNR を示すことが確認された。

この結果をもとに、健常ボランティアの上腕動脈を用いて in vivo の評価を行ったところ、同様の造影剤濃度で良好な血管描出が得られ、血管解剖・血流動態をリアルタイムに確認することが可能であった。

臨床的検討： X 線-MRI ハイブリッドシステムを用いた軟部組織血管奇形の硬化療法

このシステムを用いて、軟部組織血管奇形に対する経皮的硬化療法を施行した。この治療は、病変となる異常血管腔内を穿刺して、硬化剤を注入することで病変を縮小させる治療法である。対象として、頭頸部・四肢などの血管奇形の患者 15 例 (男性：女性=7:8, 年齢は 15~69 歳, 平均 34.7 歳) に対して 17 回の硬化療法を施行した。

治療直前に、病変を穿刺して造影剤のみを注入し、X 線 DSA 装置下で治療のシミュレーションを行った。治療可能と判断された場合は、MRI 装置に寝台を移動し、硬化剤と造影剤の混合液を注入して、MR 撮像下で薬剤の分布を確認した。必要に応じてこの手技を繰り返した。また、一部の症例では、MRDSA を用いた血流動態の確認を行い、X 線 DSA の所見と比較した。

全例で、重篤な術中合併症なく全ての手技を施行できた。手技時間は平均 120 分であった。ハイブリッドシステムにおける MRI と X 線装置の使用については、患者の移動なくテーブルの移動・回転のみで両者間を行き来することができるため、短時間 (1 分以内) で両者を切り替えて使用することが可能であった。装置の切替に起因するトラブルはなく、手技の障害となるような相互干渉 (画像の歪み・アーチファクト) も認められなかった。

X 線装置下で行った治療のシミュレーションでは、治療前に病変の血流動態を把握することができ、不適切な部位への治療を避けることができた。MRI 下で行った硬化療法では、全例において、薬剤 (硬化剤と造影剤の混合) の分布をリアルタイムに

観察することができ、病変内の薬剤分布の把握・薬剤の注入量の調節に有用であった。また、治療のシミュレーション時に MRDSA を行った症例では、一部の例外を除いて X 線 DSA と類似する画像を得ることができた。

まとめと今後の展望

血管系 IVR の支援を目的として、低磁場オープン型 MRI 装置とポータブル X 線 DSA 装置を組み合わせたハイブリッドシステムを開発した。本システムの特徴は、X 線装置と MRI 装置といった異なる modality を同一治療手技中に適宜切り替えて使用できることである。患者自身は移動せずに、テーブルを移動するのみなので、装置間を複数回切り替えても再度患者の位置合わせを行う必要はなく、手技の正確さ・時間の短縮を図ることができる。本システムを用いることで、これまで主に X 線 DSA 装置下で行われてきた血管系 IVR の安全性を保ちつつ、MRI 画像という新たな情報を付加することができる。

本研究では、このシステムが臨床での使用に耐えうることを証明し、血管系 IVR 手技の一つとして軟部組織血管奇形に対する治療で有用性があることを確認した。また、MRDSA という新しい MR 撮像法の開発によって X 線を用いる手技の一部を MRI で代用することができ、手技中の放射線被曝を減少させられる可能性を示した。

今後は、さらに基礎的検討を積み重ね、特に MRI の恩恵を受けると思われる手技（例えば、超急性期脳梗塞の血栓溶解療法、悪性腫瘍の動注化学療法など）への臨床応用を検討したいと考えている。