

MR 対応内視鏡システムの構築とその臨床応用

森川茂廣¹, 犬伏俊郎¹, 鈴木幹男², 来見良誠³
藤村昌樹³, Viswanathan Seshan⁴

¹滋賀医科大学分子神経科学研究センター ²同耳鼻咽喉科 ³同外科 ⁴GE 横河メディカルシステム

はじめに

いわゆるダブルドーナツタイプと呼ばれる 0.5T 縦形オープン MR 装置は、患者へのアクセスが大幅に改善され、2人の術者が患者の両側および上方のスペースから治療を行うことができ、様々な疾患部位に対して MR ガイド下に手術やインターベンション治療が行われている^{1),2)}。こうした特長を生かして、欧米では、MR 対応の内視鏡の開発が進められている³⁾。しかしながら、現在、本邦でこうした内視鏡を入手することは、不可能であった。

そこで、市販されている内視鏡の中から MR の中で安全に使用でき、しかもマグネット内という限られたスペースでの使用に適した内視鏡を選び出すとともに、CCD カメラ、C マウントレンズ、ライトガイドなどを改造したり、特注品を入手したりして、MR の中で安全かつ有効に使用できる内視鏡システムを構築したので、そのシステムの詳細を述べるとともに、その有効性について検討したので報告する。

対象および方法

装置

MR 装置は GE 社製、超伝導型 0.5T SIGNA

SP/i である (Fig. 1)。リアルタイム MR 画像は、spoiled gradient echo (SPGR) 法 (14/3.7: TR/TE), T₂ 強調画像を必要とする場合には、single shot fast spin echo (2000/90: TR/TEeff) を用い、7 mm slice thickness, FOV 240~350 mm², 256×128 matrix で約 2 秒間ごとに撮像した。

マイクロ波手術装置は、アズウェル社 OT-110M を用い、銅合金製 MR 対応針型深部電極 (直径 1.6 mm, 長さ 250 mm) を 14G MR 対応穿刺針 (DAUM, Germany) を通して腫瘍に刺入した。また、腹腔鏡用の MR 対応電極も銅合金で製作した。マイクロ波は、腫瘍の



Fig. 1. A "double-donut" type open MRI system, 0.5T SIGNA SP/i

キーワード open MRI, interventional MRI, endoscopic surgery, MR-compatible endoscopy, MR-guided therapy

大きさにあわせて 60 W, 1 分間照射を 3 回以上繰り返し施行した。

MR 画像への内視鏡システムの影響を検討するために、寒天ファントムを 2% 寒天末, 0.5 mM Gd-DTPA の濃度で, 2.5 リットルのポリロビレン容器に作成した。MR 画像は, susceptibility effect をより受けやすい SPGR 法を用いて撮像した。

MR 対応内視鏡システム

内視鏡は Storz 社 (Germany) 製, 直径 4 mm, 有効長 180 mm, 全長 220 mm の直視型 (K7210AWA) および斜視型 (K7210BWA) を使用した。ELMO 社 (Japan) 製 CCD カメラ (CN42H, 1/2 インチ 41 万画素) は, シャーシ, ネジなどの磁性体の部品をすべて非磁性体のものに取り替えて使用した。C マウントレンズ (ELMO T627R) の磁性体のバネは取り外し, ロック機構を用いてスコープに固定した。CCD コントロールユニット (ELMO CC421) は磁石室の隅に設置し, MR 画像への外来ノイズの混入を避けるために, NTSC の映像信号はペネトレーションパネルを通して外部のビデオスイッチャーに導いた。ライトガイドは, 10 m のものを特注し, 操作室に設置した光源にペネトレーションパネル経由で接続した。また, 気腹装置も操作室に設置し, CO₂ の送出力用のシリコンチューブを術野に導いた。直視スコープ, C マウントレンズ, CCD カメラ, ライトガイドを組み合わせたシステムを Fig. 2 に示す。ポートは胸腔鏡には Frexipath (Ethicon Endo-Surgery) を, 腹腔鏡にはラパロサック (Hakko, Japan) を用いた。ビデオスイッチャーに導かれたリアルタイム MR 画像と内視鏡映像は, ビデオ編集装置 (Futek, MX1) によるピクチャーインピクチャー機能を用いて組み合わせ, 一つの画像としてマグネット内の液晶モニター上に送出し, 術者の必要に応じて主画面と副画面を切り替えた。

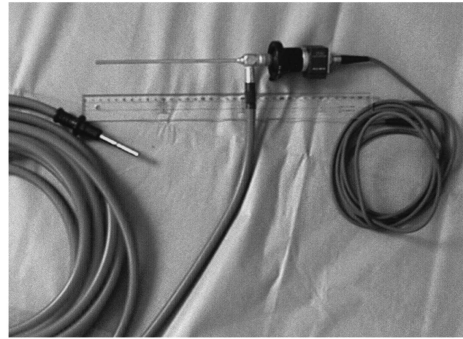


Fig. 2. Our MR-compatible endoscopic system. This system was constructed from a telescope (K7210AWA, Storz, Germany), C-mounted lens (T627R, Elmo, Japan) and CCD camera (CN42H, Elmo, Japan) with some modifications.

臨床症例

内視鏡を用いた症例は全部で 30 例である。耳鼻科領域の 7 例 (副鼻腔嚢胞 4 例, 副鼻腔炎再発 1 例, 上顎癌 1 例, 甲状腺眼症 1 例, 43~84 歳 (平均 58.8 歳), 男性 3 名, 女性 4 名) に対して MR ガイド下鼻内視鏡手術^{4),5)}を行った。原発性肝腫瘍 13 例, 転移性肝腫瘍 10 例, 合わせて 23 例 (45~75 歳 (平均 64.3 歳), 男性 14 名, 女性 9 名) に対して MR ガイド下マイクロ波凝固壊死療法^{6),7)}を内視鏡補助のもとに行った。原発性肝腫瘍の 3 例は, 腹腔鏡を他の 20 例は胸腔鏡を補助として使用した。MR ガイド下肝腫瘍マイクロ波凝固壊死療法については, あらかじめ滋賀医科大学倫理委員会の承認を得た。新しく導入する器具は, 学内 IVMR (インターベンショナル MR) 運営委員会による安全マニュアルに沿って, まず永久磁石でスクリーニングを行った後に MR マグネット内でテストを行い, その安全性を確認した。いずれの患者にも手術の内容について十分な説明を行い, 書面でインフォームドコンセントを得た。

2001 年 3 月 7 日受理 2001 年 4 月 2 日改訂

別刷請求先 〒520-2192 滋賀県大津市瀬田月輪町 滋賀医科大学分子神経科学研究センター 森川茂廣

結 果

MR 適合性の検討

MR 環境での装置の安全性については、内視鏡、C マウント、CCD カメラはすべて非磁性体の部品で構成されており、永久磁石によるスクリーニングでも、MR 装置内に持ち込んでも、全く磁石からの外力は検出できなかった。胸腔鏡、腹腔鏡用のいずれのポートも磁力を受けず、患者や術者に危険を及ぼさなかった。Endo Peanut (Auto Suture) や吸引管などの補助器具は使用可能であったが、一般の内視鏡用鉗子類のほとんどは磁力を受けるため使用できず、必要なものはチタン製で準備した。

寒天ファントムを用いた MR 画像の撮像テストでは、内視鏡システムのスコープは非磁性体であるが、susceptibility effect のため、撮像対象に接近するとその付近の MR 信号が検出できなくなった (Fig. 3A)。しかしスコープを対象に接触させて使用することはあり得ず、対象から 3 cm 離すとこのような影響は無視できる (Fig. 3D) ので、通常の使用に関しては問題にならなかった。周波数ノイズが、時として出現したが (Fig. 3 の横方向のノイズ)、日によりあるいは時間帯により認められないこともあり、再現性がなく、実用上 MR 画像による画像ガイドに支障をきたさなかった。一方、この内視鏡システムは、MR 装置の中でも正常に作動した。

臨床症例に対する適用

まず、Fig. 4 は、耳鼻科領域の副鼻腔内嚢胞の症例で、術者に送出されたピクチャーインピクチャーの MR 画像と内視鏡画像である。副鼻腔内の嚢胞の描出には、SPGR よりも single shot fast spin echo 法が有効であった。綿棒の消息子を取り付けたナビゲーション用のポインタ²⁾で撮像面を決定し、そのリアルタイム MR 画像をガイドとして、骨の開放部位や病巣への到達経路を正確に決定することができた。

横隔膜直下の肝腫瘍に対しては、胸腔鏡補助

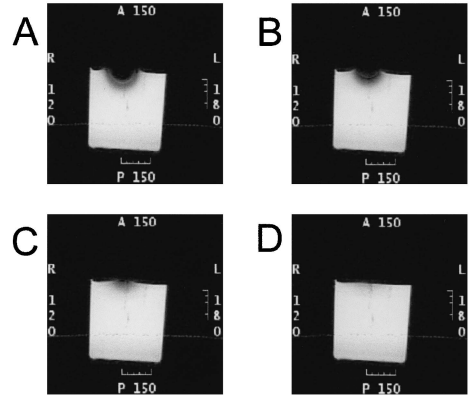


Fig. 3. MR images of an agar phantom acquired with a spoiled gradient echo sequence (14/3.7: TR/TE). The tip of the endoscope was placed at distances of 0 cm (A), 1 cm (B), 2 cm (C) and 3 cm (D) from the surface of the agar. Contact of the endoscope with the agar phantom caused MR signal loss (A), but this drawback disappeared when it was placed at a distance of 3 cm from the object (D).

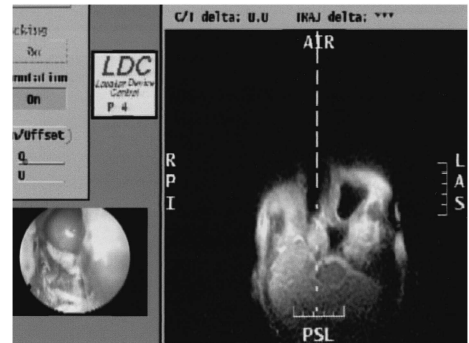


Fig. 4. Combined real time MRI and endoscopic images in a case of nasal sinus cyst. MR image was acquired with a single shot fast spin echo sequence.

で MR ガイド下肝腫瘍マイクロ波凝固壊死療法を行った。手術は全身麻酔で行い、必要に応じて分離肺換気を用いた。胸腔鏡を挿入し右肺を虚脱させ、胸腔内を観察しながら、同じくナビゲーションポインタを用いたリアルタイム

MR 画像により横隔膜經由の穿刺経路を決定した。肺を損傷せぬよう注意して、MR 画像で針先を確認しながら、経皮・経横隔膜幕的に正確な腫瘍の穿刺が行えた (Fig. 5)。穿刺針の内筒を抜去、マイクロ波の電極を挿入し、有効な凝固壊死療法を施行することができた。

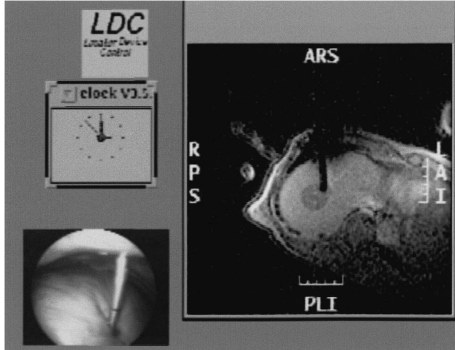


Fig. 5. Combined real time MRI and thoracoscopic images in a case of a metastatic liver tumor just below the diaphragm. MR image was acquired with a spoiled gradient echo sequence.

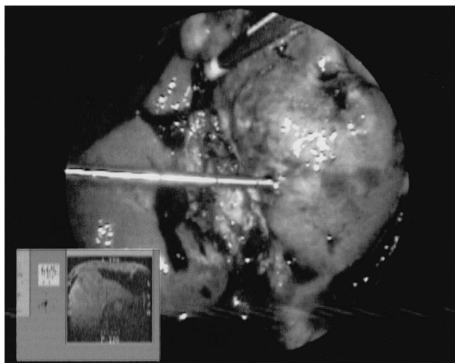


Fig. 6. Combined laparoscopic images and real time MRI in a case of cholangiocarcinoma located near the gall bladder bed. MR image was acquired with a spoiled gradient echo sequence. Laparoscopic cholecystectomy has already been carried out. A needle type electrode was inserted to the tumor through a transcutaneously punctured needle.

表在性の肝腫瘍に対するマイクロ波凝固壊死療法では、隣接する腸管などの組織の損傷を避けるために腹腔鏡を補助としてそれらを遠ざけた。また、胆嚢床付近まで及ぶ肝腫瘍の1例では、マグネット外で腹腔鏡下に胆嚢摘除術を行った後、マグネット内に患者を移動し、マイクロ波の電極をMRガイド下に経皮的に穿刺、あるいは腹腔鏡のポートから直接挿入して、腹腔鏡補助のMRガイド下マイクロ波凝固壊死療法を行った (Fig. 6)。

考 察

一般に流通している内視鏡では、Auto Suture社の腹腔鏡にも、非磁性体のものを見いだした。しかし、スコープ部分だけで38 cmあり、58 cmの垂直ギャップの中で使用するには長すぎて、実用には至らなかった。ここに述べた内視鏡は、もともとはStorz社の耳鼻科用の内視鏡で、有効長180 mm、全長220 mmと腹腔鏡に比べて短く、磁石内の限られたスペースで使用するのに都合が良かった。完全に非磁性でアーチファクトも少なくMR内で使用の目的がたったので、次に小型でノイズの少ないCCDカメラとしてELMO社のCCDカメラシステムを見だし、改造を行い現在のシステムを完成させた。

この内視鏡システムは、十分な解像力と輝度を有し、ノイズ面でも良好な結果を得ることができた。再現性のないノイズは、時としてMR画像上に現れたが、ターゲットの領域の観察が妨げられない限り、内視鏡の有用性の価値が勝っていた。はじめはMRガイド下の耳鼻科手術に用い、内視鏡や超音波では観察することのできない骨の裏側に位置する副鼻腔内の嚢腫の占拠部位や眼窩内の眼筋の位置など深部情報をMRで得ることにより、内視鏡による表面の情報と組み合わせ、手術を円滑に進めることができた。このシステムの有効性が実証され、胸腔鏡、腹腔鏡としても十分に使用可能と考

え、その応用を拡張した。

それまで、MR ガイド下の肝腫瘍マイクロ波凝固壊死療法は、経皮的な穿刺によって行っていた^{6),7)}。しかし、横隔膜直下の肝腫瘍に対しては、肺損傷を起こさずに穿刺しようとする、穿刺経路が長くなり、脈管損傷の危険が増すとともに、正確さに問題が生ずる。また、マイクロ波による肺損傷を避けるために十分な治療を行うことが困難であった。胸腔鏡の補助により、こうした部位の肝腫瘍に対しても、安全で正確、かつ有効な治療が可能となった。Yamashita ら⁸⁾は、胸腔鏡下の経横隔膜的肝腫瘍マイクロ波凝固壊死療法について報告しているが、内視鏡用の超音波をガイドとしているので、横隔膜を穿刺した後、肝表面で針先がずれる可能性があり、胸腔鏡下に横隔膜を切開して肝臓表面を鏡視下におき、治療を行っている。これに対して、我々は、リアルタイム MR 画像によって針の進行を常時モニターできるので横隔膜切開は行わず直接に穿刺を行っている。また、温熱凝固治療の際に発生するマイクロバブルは、超音波による観察を妨げるが、MR 画像では、治療を繰り返しても腫瘍を観察することが可能で、十分な治療を行うことができるのも大きな特徴である。さらに、肋間や横隔膜から出血があったとしても止血操作を行うことが可能であり、安全性の向上にも寄与している。腹腔鏡の症例は胸腔鏡に比べて少ないが、表在性の腫瘍や胆嚢床付近の腫瘍に対しても周辺臓器への損傷を避けつつ、十分な MR ガイド下マイクロ波凝固壊死療法が実現された。MR をガイドとして用いることにより、治療を繰り返しても腫瘍と針先の位置関係を確認でき、治療の確実性が向上したと考える。

結 語

縦型オープン MR 装置の中で安全かつ有効に使用できる内視鏡システムを独自に完成させ

た。この内視鏡システムを MR ガイド下手術と組み合わせることにより、表面の情報と深部の情報が有機的に統合され、MR ガイド下治療の適応の拡大、安全性と治療効果の向上が得られた。

文 献

- 1) Schenck JF, Jolesz FA, Roemer PB, et al. : Superconducting open-configuration MR imaging system for image-guided therapy. *Radiology* 1995 ; 195 : 805-814
- 2) 森川茂廣, 犬伏俊郎, 松田昌之, 来見良誠, 藤村昌樹, 野坂修一, 村田喜代史, Seshan V : インターベンション治療における縦型オープン MR 装置の初期経験. *日磁医誌* 2001 ; 21 (2) : 41-48
- 3) Melzer A, Stoeckel D, Busch M, Deli M, Schmidt A, Kipfmüller K, Grönemeyer D, Seibel RMM : MR-compatible instruments for interventional MRI. In : Lufkin RB, ed. *Interventional MRI*. St. Louis, USA : Mosby, 1999 ; 55-69
- 4) Fried MP, Topulos G, Hsu L, Jalahej H, Gopal H, Lauretano A, Morrison PR, Jolesz FA : Endoscopic sinus surgery with magnetic resonance imaging guidance : initial patient experience. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1998 ; 119 : 374-380
- 5) Hsu L, Fried MP, Jolesz FA : MR-guided endoscopic sinus surgery. *Am J Neuroradiol* 1998 ; 19 : 1235-1340
- 6) 来見良誠, 谷 徹, 花澤一芳, 他 : リアルタイム画像を用いた垂直アクセスによる MR ガイド下肝腫瘍マイクロ波凝固壊死療法. *臨外* 2000 ; 55 : 1199-1202
- 7) 犬伏俊郎, 森川茂廣, 松田昌之, 来見良誠, 藤村昌樹, 村田喜代史 : インターベンショナル MRI の動向—本邦初のダブルドーナツ型 MRI によるインターベンションの報告—. *インナービジョン* 2000 ; 15 : 80-84
- 8) Yamashita Y, Sakai T, Maekawa T, Watanabe K, Iwasaki A, Shirakusa T : Thoracoscopic transdiaphragmatic microwave coagulation therapy for a liver tumor. *Surg Endosc* 1998 ; 12 : 1254-1258

Construction of MR Compatible Endoscopic System and Its Clinical Application

Shigehiro MORIKAWA¹, Toshiro INUBUSHI¹, Mikio SUZUKI²,
Yoshimasa KURUMI³, Masaki FUJIMURA³, Viswanathan SESHAN⁴

¹*Molecular Neuroscience Research Center, Departments of ²Otolaryngology and ³Surgery,
Shiga University of Medical Science
Seta Tsukinowa-cho, Ohtsu, Shiga 520-2192*
⁴*GE Yokogawa Medical Systems*

In order to increase the availability of MR-guided surgery, an MR compatible endoscopic system was constructed. A commercially available telescope, C-mounted lens, CCD camera, and control unit were used. The ferromagnetic parts were replaced with non-magnetic ones. The telescope, which was 220 mm long and completely non-magnetic, was distributed as a nasal endoscope. It was suitable for use in the narrow space of the magnet. The safety and usability within the magnet was carefully examined and found to be satisfactory. Contact of the telescope with an object caused MR signal loss, but this hindrance was eliminated when the telescope was placed at a distance of 3 cm from the object. Since some distance was necessary for observation by the endoscope, no problems occurred during practical use. The CCD camera system sometimes caused electromagnetic noises in MRI, but they were not considered serious. In a strong magnetic field it worked properly.

Real time MRI and endoscopic images were combined using the picture-in-picture function of a video mixer and were sent to the surgeons between the magnets. Main and accessory images were exchanged, depending on the needs of the surgeons. This endoscopic system has been used in 7 cases of MR-guided nasal endoscopic surgery, 20 cases of thoracoscopy-assisted procedures, and 3 cases of laparoscopy-assisted MR-guided microwave ablation of liver tumors.

The combination of surface information provided by the endoscope and the in depth information from MRI was found to be very useful in increasing the safety, reliability, and availability of MR-guided intervention therapy.