

垂直型オープン MR 装置を用いた MR ガイド下肝腫瘍治療

来見良誠¹, 仲 成幸¹, 遠藤善裕¹, 花澤一芳¹,
 谷 徹¹, 森川茂廣², 犬伏俊郎², 山崎道夫³,
 古川 颯³, 村田喜代史³, 石塚義之⁴, 馬場忠雄⁴,
 野坂修一⁵

¹滋賀医科大学第一外科 ²同分子神経科学研究センター ³同放射線科 ⁴同第二内科 ⁵同麻酔科

はじめに

1. MR 環境下治療

オープン MR 装置は、本来被検者の検査環境を向上させる装置として開発されてきたが、その空間の解放性は MR 環境下での侵襲的手技の導入すなわちインターベンショナル MRI (以下, IVMR) へと発展してきた。この IVMR の分野では、臨床応用への展開が、オープン MR 装置の開発のみならず、MR 対応機器の開発とその進歩の鍵を握っていると考えられる。MR 環境下治療は、患者および術者を MR 環境下に置き、リアルタイムに身体の内部構造を観察し、各種手術機器（通常の外科手術器具・電気メス・マイクロ波凝固装置など）を用いて行う治療法である。オープン MR 装置には、水平型と垂直型があるが、現在 IVMR に使用されているオープン MR 装置の多くは、ハンバーガータイプと呼ばれる水平型の装置で、上下に設置された磁石の隙間から患者にアクセスするため、手技はおのずから限定される。あらゆる方向からのアクセスが可能な垂直型オープン MR 装置による MR 環境下治療の多様性・精密性・利便性など空間自由度の

大きさに由来する利点は、他の形式を大きく引き離していると考えられる。当院に導入された垂直型オープン MR (GE 社製 Signa SP/i) は、0.5T の超伝導磁石を用いた装置である^{1)~5)}。正面および側面へのベッドのドッキングが可能で、頭頂部をはじめ体幹部および骨盤内の操作も容易であり、しかも全方向のアクセスが可能である (Fig. 1)。手術に必要な空間は十分あり、患部へのアクセスルートにも制限がなく、IVMR の分野は急速に発展するものと考えられる。

一方、MR 対応機器の開発は着実に進んでおり、MR 対応の内視鏡をはじめ MR 対応モニターや麻酔器も開発され、オープン MR における IVMR の可能性は飛躍的に向上した。しかしながら、画像の精度を上げるために、体表面に置かれ信号を送受信しているサーフェスコイルは、手術操作あるいは侵襲を伴う外科的処置の際、手術野が制限されることになり、開腹と同様の手術を行う場合には、通常の手術より煩雑な手術操作を余儀なくされることになる。約 60 cm の円筒形の中に入り、さらに水平ギャップが 58 cm と制限されている点では、閉塞感が解消されず、しかもこの環境でさらに常時磁

キーワード open MRI, interventional MRI, MR-guided therapy, microwave ablation therapy, temperature mapping

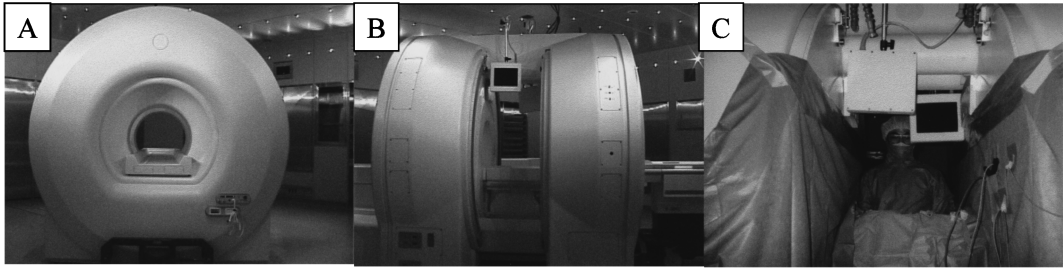


Fig. 1. 0.5T GE Signa SP/i
A : Front view, B : Side view, C : Intra operative view

場が存在することは、やはり術者の大きな負担となることは否定できない。

2. 肝臓腫瘍への応用

IVMR を導入するに際し、その対象となる臓器には種々のものが考えられる。術中に動きの少ない臓器がその対象となっており、欧米においては、頭蓋内や骨盤内などがその代表的なものである。しかしながら、体動がコントロール可能な臓器であれば対象と考えて差し支えない。消化器外科領域で最も大きな実質臓器であり、内部構造が比較的均一で体表面に近く、しかも IVR (interventional radiology) の対象として多くの臨床医が扱っている臓器として、肝臓は正に IVMR に最も適した臓器である。これより肝腫瘍に対する治療法の変遷について述べる。

3. 肝腫瘍に対するマイクロ波凝固療法の位置付け

肝癌に対する治療法は、時代とともに大きく変遷してきている。原発性肝癌においては、肝臓局所療法として、肝動脈塞栓術（以下、TAE）エタノール注入療法（以下、PEIT）、マイクロ波凝固療法（以下、MCT）、ラジオ波凝固療法（以下、RFA）などがある。いずれの治療法も利点および欠点を有しており、甲乙つけがたい状況にある。また、転移性肝癌に対しても上記の治療法のいずれも局所療法として

は優れており、治療の第一選択となることもある。

4. MR ガイド下 MCT と超音波ガイド下 MCT の問題点

従来の MCT には、開腹下 MCT・腹腔鏡下 MCT・胸腔鏡下 MCT・経皮的 MCT などがあるが、いずれの手法においても断層画像は超音波を利用したものであり、治療法の限界および問題点は超音波の性質に依存することになる。超音波の最大の問題点は、空気・骨の影響を受けることであり、このことが治療法の選択において大きな制限になる。超音波下であっても治療可能な領域を拡張しており、経皮的、開腹下あるいは内視鏡下などのアクセス法を改良することにより、現在では肝臓のほぼ全領域がその対象となっている。しかし、超音波ガイド下では、マイクロ波照射中に発生する microbubble の影響を回避できず内部構造の観察が不可能となり治療の完成度が評価できないのみならず、複数回の穿刺治療は不十分なものとならざるをえない。

一方、MR ガイド下 MCT(以下、MR-MCT)では①画像が空気や骨の影響を受けない、②温度変化の観察が可能である、③腫瘍内部組織の変化の観察が可能である、④ablation 時に生じる microbubble の影響を受けないなど決定的に異なる有利な点があり、⑤断層画像の死角が

2001年6月13日受理

別刷請求先 〒520-2192 滋賀県大津市瀬田月輪町 滋賀医科大学第一外科 来見良誠

Table 1. Comparison with Other Therapy

<ul style="list-style-type: none"> • Comparison with PMCT —Without disturbance by air or bone —Possible to observe temperature —Possible to observe changing tumor structure —Without disturbance by microbubble —Few dead angle 	<ul style="list-style-type: none"> • Comparison with resection —Possible to repeat therapies —To gain same safety margin —Small operation scar —Possible to do under local anesthesia
--	--

少ないなどの大きな利点もある (Table 1). これらを利用すると現在まで困難であった部位の肝腫瘍に対する治療と評価が可能になってくる.

5. ラジオ波とマイクロ波

両者は共に電磁波の一種であり, 治療に供される周波数は, ラジオ波が 460 KHz, マイクロ波が 2.45 GHz である. オープン MRI では通常 8.5 MHz~20 MHz の電磁波が使用されており, ラジオ波とオープン MR システムが干渉し合うことになり, 同時に使用することができない. 真のリアルタイムで体内情報をオープン MR システムから得るためには, ラジオ波の使用は適切でないと考えられる. 一方, マイクロ波は, オープン MR システムと干渉し合うことなく, 同時使用が可能である. このことから, オープン MR におけるデバイスの選択に際し, まずマイクロ波が第一選択となる. ラジオ波の使用に関しては, switching circuit を作成することにより, ラジオ波と MR システムをほぼ同時に使用することができ, 臨床応用は可能となる⁶⁾. したがって, オープン MR システムでの使用は可能であるが, 若干の時間のズレが生じることは回避できない. 一方, 腫瘍の焼灼能に関しては各々特徴がある. マイクロ波はエネルギー強度が大きいために, 腫瘍周辺の脈管に影響を及ぼす可能性があり, 特に胆管への影響が問題視されることが多い. ラジオ波は, エネルギーが小さいために, 焼灼時間が長くなる可能性が示唆される. 現時点での MR 環境下での ablation 治療にはマイクロ波が最適であると考えられる.

Table 2. Indication for MR-MCT

<ul style="list-style-type: none"> • A few number of tumor • Less than 5 cm diameter • Detecting by some modalities • excluding severe hepatic dysfunction • excluding close to hepatic hillar • excluding cholangial infection • excluding tumor thrombus • excluding bleeding tendency
--

6. 適 応

原発性肝癌および転移性肝癌は共に MCT の適応となっているが, 腫瘍の局在および腫瘍の進行度により治療法の選択に際し, その優先順位が異なることは明白である. 肝腫瘍に対する MR-MCT の適応は, 現在のところ通常の MCT の適応と同様に, 個数が数個以内, 長径が 5 cm 以下, 断層画像が描出可能であって, 高度の肝機能障害や肝門部近傍の腫瘍, 腫瘍血栓を有する症例, 胆道感染症例および出血傾向のある症例は除外する (Table 2).

手術手技

肝腫瘍に対する MCT は, 腫瘍の局在・大きさ・脈管との位置関係によりアプローチの方法および麻酔法が異なっている. MR-MCT は通常の MCT と同様に断層画像で確認しながら腫瘍および穿刺針の方向を決定する. 基準となるガイドラインを同一平面状に置き, リアルタイムに MR 画像を観察しながら腫瘍を穿刺する.

MR 画像で描出できない腫瘍に関しては特殊な手法を用いない限り治療は困難である。

1. 撮像法

リアルタイム MR 画像は、高速撮像法により、撮像・再構成・画像表示を連続して行い透視画像を得る方法で、ファースト SPGR 法を原則として用いている。TR/TE/FA: 14.5/4.8/45, 位相エンコード数 128, スライス厚 7 mm, マトリックス 256×256, 加算 1 回, 再構成時間 1.5 秒, 撮像時間は 3 秒であるが、症例ごとに最適の条件設定を行っている。

2. 麻酔法

局所麻酔又は全身麻酔を用いる。麻酔関連の機器、すなわち、麻酔器から心電図の電極に至るまで、すべての機器は MR 対応のものを使用する。全身麻酔下に行う場合が多いが、局所麻酔での対応が可能な症例もある。胸腔鏡あるいは腹腔鏡使用の症例は、全例全身麻酔としており、特に胸腔鏡使用の場合には術中右側肺を虚脱させる必要があるため分離肺換気を行っている。局所麻酔下では、患者の体動が術中画像に影響を与えることがあることと、患者自身が疼痛に耐えられない可能性があり、安全かつ正確な治療を行う上では全身麻酔の方が望ましいと考えている。また、温度画像の精度向上には、体動が大きな障害となるため、体動をコントロールできる全身麻酔が望ましい。気管内挿管は緊急時に迅速かつ安全な対応ができるよう

に MR 手術室の前室で行っている。ベッドを MR 手術室内に移動し、オープン MR 装置にドッキングし、ガントリ内に患者を搬入し必要な体位をとった上で固定する (Fig. 2)。

3. 体位

腫瘍の存在部位によって体位が異なる。仰臥位又は左半側臥位とし、ガントリ内に配置する。サーフェスコイルを関心領域直上の皮膚に固定し、清潔区域を設定する。術者は患者の右側、助手は患者の左側に立ち、手術操作を行う。

4. 穿刺部位の決定

前胸壁を中心に Flash Pointer を用いてリアルタイム MR 画像により穿刺部位を決定する (Flash Pointer とは 3 個の LED (light-emitting diode) を放射状に配置したハンドピースでインボアセンサーにより、スライス面を決定する装置である。)。胸腔鏡併用の場合には、胸腔鏡挿入部位を決定する。胸腔鏡は通常は第 4 肋間又は第 5 肋間鎖骨中線に約 7 mm の皮膚切開をおき、7 mm トロッカーを挿入留置する。続いて胸腔鏡を胸腔内に挿入した後、右肺を虚脱することにより胸腔鏡による視野を確保し、横隔膜の観察と穿刺針の刺入点近傍の壁側胸膜を観察する。胸壁に Flash Pointer を置き、リアルタイム MR 画像により、腫瘍および穿刺ルートを確認し、14G 外套針 (DAUM 社製) を経皮経胸腔経横隔膜経肝的に肝腫瘍を穿刺する (Fig. 3)。

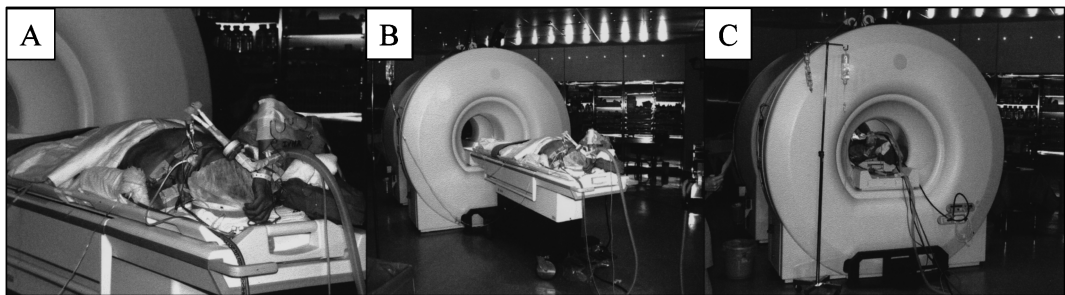


Fig. 2. Clinical case under general anesthesia
A : Separate ventilation, B : Docking the bed to Signa SP/i, C : Entering the dome

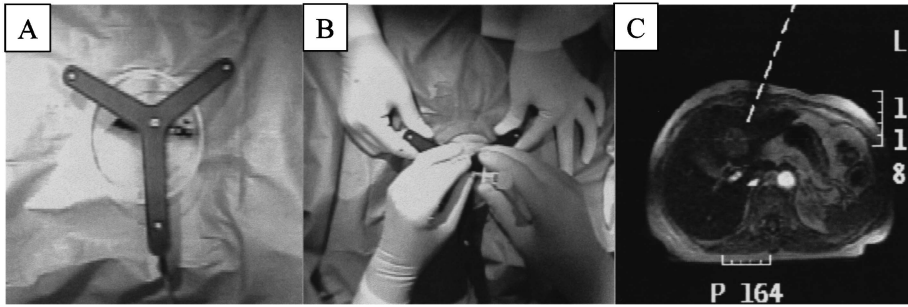


Fig. 3. MR-guided microwave ablation therapy
 A : Flash Pointer
 B : Puncture needle (14G, DAUM Co.), Electrode (1.6 mm AZWELL Co.)
 C : Ablation (60W, 60 s) FSPGR, TR/TE/FA : 14.5/4.8/45

5. マイクロ波焼灼

穿刺針の内筒を抜去した後、マイクロ波凝固装置のプロープを挿入し、60ワット、60秒を1回とし、腫瘍径に応じて必要回数マイクロ波凝固を施行する。1回のマイクロ波の組織焼灼範囲はプロープを中心に約20mm×30mmであった。

6. 内視鏡併用

腫瘍の位置により内視鏡を併用している。腹腔側において他臓器と接している場合には、腹腔鏡により腫瘍の表面を観察しながら、リアルタイムのMR画像をもとに治療を行う。肝ドーム直下の腫瘍に対しては、胸腔鏡を併用している。胸腔内は胸腔鏡での観察を常時行っており、肺損傷の危険性は皆無である。抜針後、横隔膜を胸腔鏡で十分観察し、脱気用の16Fr胸腔内ドレーンを留置し手術を終了する。

当科での経験

垂直型オープンMRは当院にアジアでの第1号機が導入されたため、当科での経験について述べる。原発性肝癌、転移性肝癌の計18例にMR-MCTを施行した (Table 3)。肝腫瘍に対するMR-MCTは、肝癌の局在によって治療法が制限されることなく肝の全領域に対して治

Table 3. Clinical Cases of MR-guided Therapy for Hepatic Tumors

Hepatic tumor	No. of Cases
primary	5
hepatoma	5
metastatic	13
colorectal cancer	8
gastric cancer	3
pancreatic cancer	1
breast cancer	1

(2000. Jan-2000. Sept)

療可能であった。肝ドーム下腫瘍に対しては、腹腔アプローチで治療が可能な場合もあるが、MR環境下で胸腔鏡を使用し、横隔膜を経由して肝腫瘍を穿刺しマイクロ波凝固療法を施行することにより、肺損傷の回避と横隔膜からの出血の完全止血が可能となった。また、腹腔内に突出する肝腫瘍に対しては、腹腔鏡を併用することにより、安全かつ確実に腫瘍の焼灼を行うことが可能であった。重篤な合併症はなく、胸腔鏡併用症例での胸腔ドレーンチューブも術後3日以内にすべて抜去している。治療効果はdynamic CTで判定しており、治療成績は、原発性肝癌症例では全例再発が見られず、

局所コントロールは良好であった。

Segment IV の症例では、局所麻酔下での治療は可能である。腹壁を1%キシロカインで麻酔し、筋膜まで十分に切開を加えた後、DAUM社製の穿刺針を用いて穿刺する。リアルタイム画像を用いて慎重に穿刺し、MR-MCTを行う。呼吸移動があることと、わずかなではあるが体動があることにより、局所麻酔では温度画像の観察は困難であるが、穿刺自体は極めて容易である (Fig. 4)。

Segment V の症例では、アクセスルートが長くなるため、体動や予期せぬ呼吸性移動は正確な手術操作が困難になるので、全身麻酔下で手術を行うのが望ましい。同様の配慮により血管近傍の腫瘍に対しても、安全かつ正確に治療が遂行しえた (Fig. 5)。術後再発もなく、胆汁漏出も認めなかった。

Segment VIII 症例では腹腔側からのアプローチは可能であるが、アクセスルートが極端に長く、また横隔膜損傷や肺損傷を併発する可能性が高いため、必然的に胸腔鏡を導入することとなった (Fig. 6)。

Segment VIII に対する胸腔鏡使用症例で、連続するリアルタイム画像を提示している (Fig. 7)。このMRの特徴は、超音波画像と異なりプローブを動かすことなく瞬時に直行する平面画像への切り替えが可能であり、立体的に観察することが容易である。特に穿刺針の先端位置確認の際には、強力な画像診断装置といえる。

胸腔鏡併用症例を示す (Fig. 8)。胸腔鏡の使用に必要な機器は、MR対応の胸腔鏡・CCDカメラ・Cマウント・ライトガイドなどである。適応は、通常のMR-MCTの適応症例

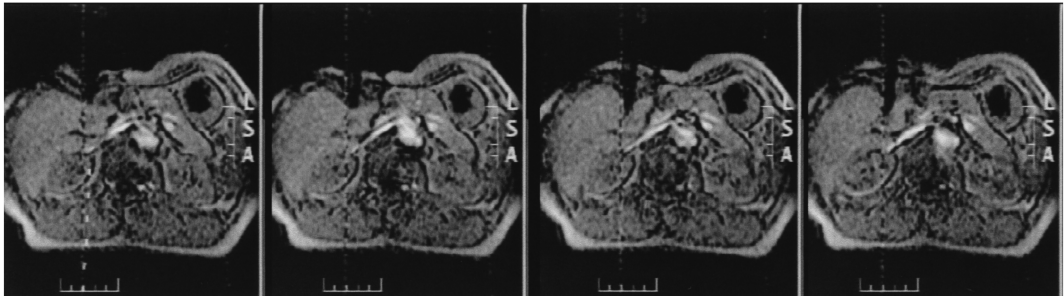


Fig. 4. Tumor located in Segment IV
Abdominal approach to tumor in Segment IV.

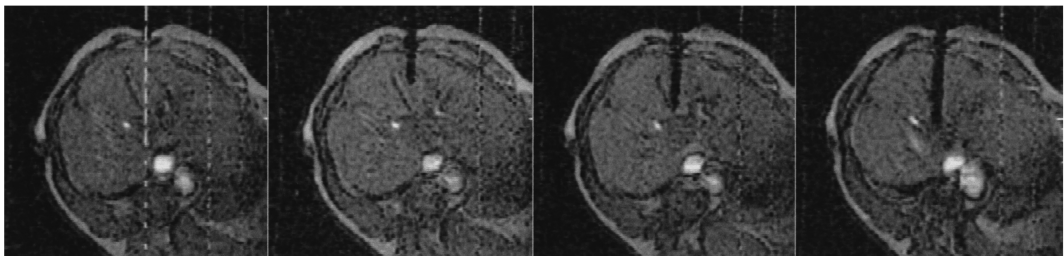


Fig. 5. Tumor located in Segment V
Abdominal approach to tumor in Segment V.

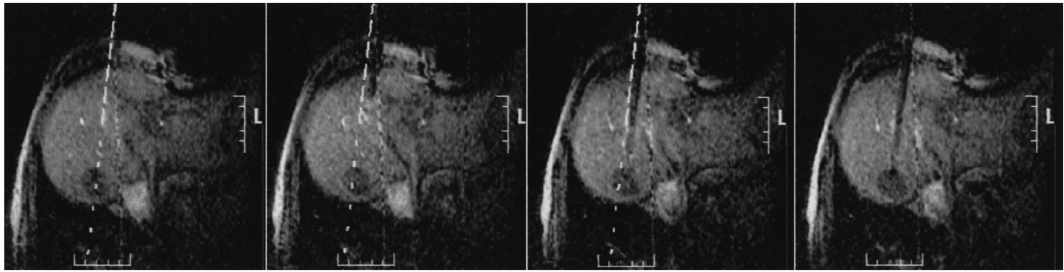


Fig. 6. Tumor located in Segment VIII
Abdominal approach to tumor in Segment VIII.

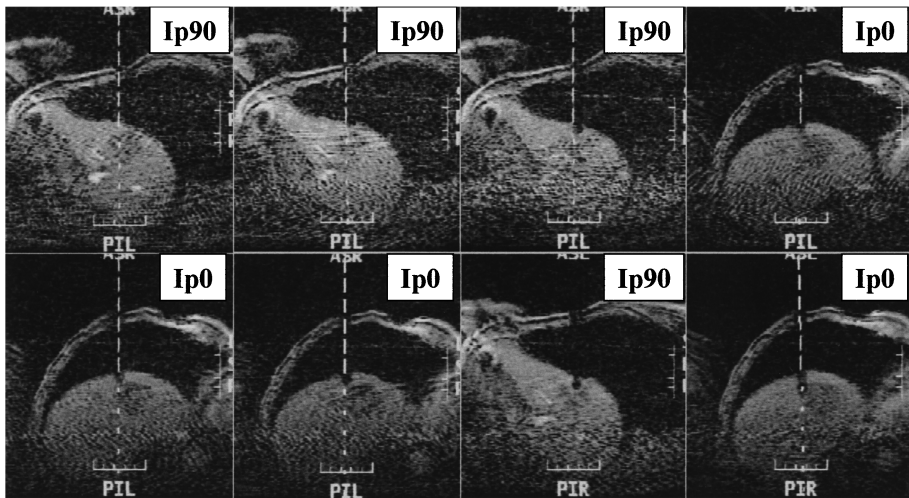


Fig. 7. Tumor located in Segment VIII (Ip90 : Inplane90, Ip0 : Inplane0)
Sequential real time MR imaging.

のうち肝ドーム直下であり、胸腔内の癒着のない症例である。

腹腔鏡使用症例を示す (Fig. 9). 腹腔側にあり隣接臓器の近傍に腫瘍が位置する場合に有効である. 腹腔鏡を留置し ablation を行う部分をカメラで常時観察しながら, MR-MCT を施行する. ピクチャー・イン・ピクチャー機能を有しているため腹腔鏡画像と MR 画像の同時観察が可能である. また, 主画面と副画面の切り替えも瞬時に可能であり, これらの機能によって安全性と正確さが保障される.

術後の確認画像を示す (Fig. 10). Segment VIII 症例の確認画像である. 造影 MR で血流のないことが確認でき, 効果判定が可能になる. Segment V 症例である (Fig. 11). 脈管の近傍であるが, 安全確実に MR-MCT が施行しえた.

Segment III および Segment VI の症例を示す. MCT 部分に血流のないことが確認できる (Fig. 12).

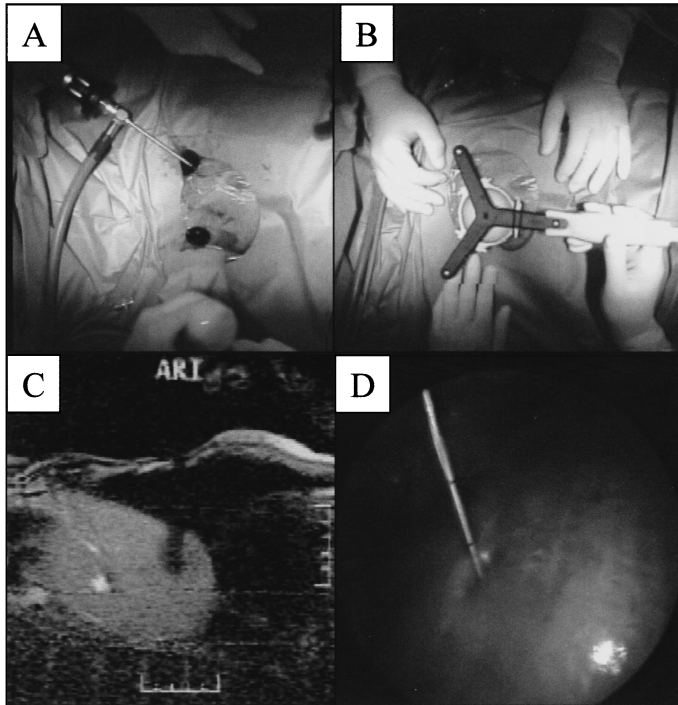


Fig. 8. Thoracoscope assisted MR-guided microwave ablation therapy
A: Thoracoscope, B: Targetting, C: Real time MR imaging, D:
Thoroscopic view

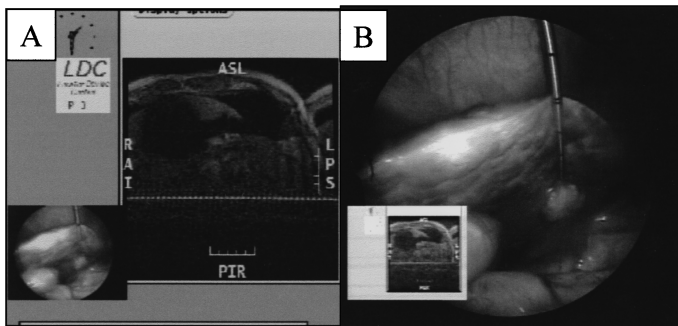


Fig. 9. Laparoscope Assisted MR-guided microwave ablation therapy
(Segment III)
Picture in picture function.

最後に

MR 環境下の治療は、X 線透視下と異なり被

曝がなく長時間の治療にも対応でき、また超音波と異なり空気あるいは骨に影響されることなく内部の状況変化の観察が可能である。MR 対

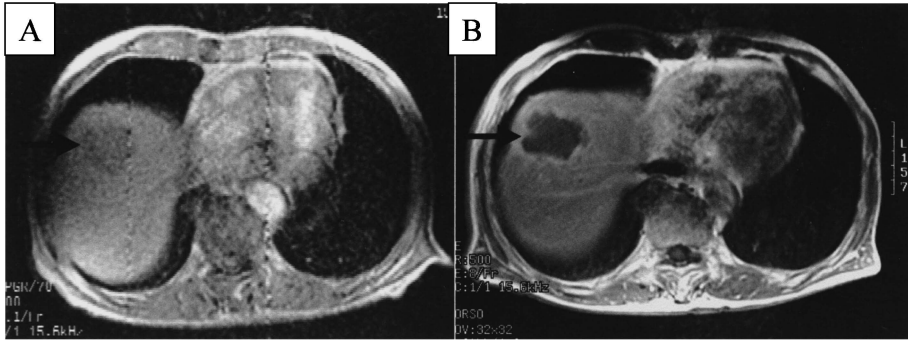


Fig. 10. MRI (Segment VIII)
A : Before MR-MCT, B : After MR-MCT

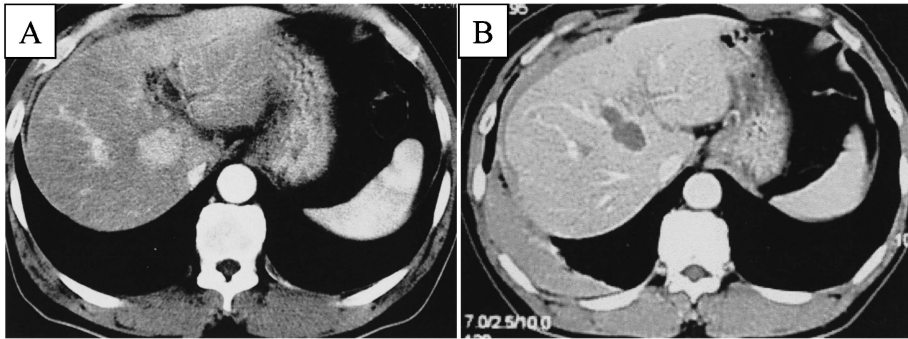


Fig. 11. MRI (Segment V)
A : Before MR-MCT, B : After MR-MCT

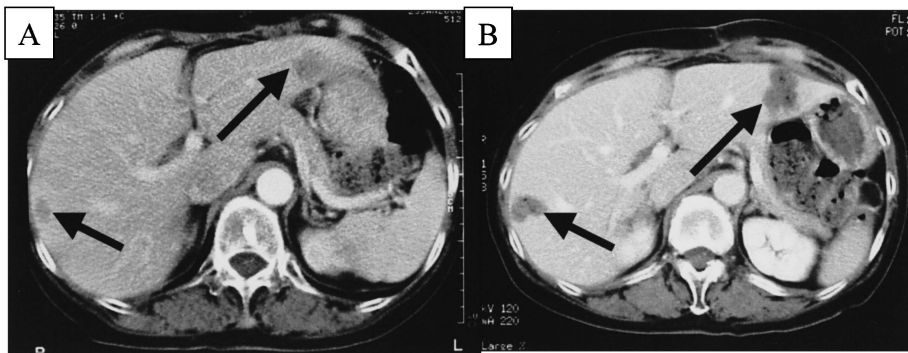


Fig. 12. MRI (Segment III & VI)
A : Before MR-MCT, B : After MR-MCT

応の内視鏡を用いることにより、直視画像・透視画像・鏡視画像を縦横無尽に駆使することにより、MR 環境下治療は無限の広がりを見せている。今後 MR 環境下での治療法は、ナビゲーションサージェリーとして急速に発展していくものと考えられる。

(本論文の要旨は、第 28 回日本磁気共鳴医学会大会のシンポジウムにおいて発表したものである。)

文 献

- 1) 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. 臨床外科 2000 ; 55 : 1199-1202
- 2) 来見良誠, 谷 徹, 花澤一芳, 他: MR ガイド下肝腫瘍穿刺術におけるスパーサの有用性. 肝臓 2000 ; 41 : 507-508
- 3) 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 : 41-48
- 4) 来見良誠, 仲 成幸, 谷 徹, 他: MR ガイド下肝腫瘍治療. 日磁医誌 2000 ; 20(Suppl) : 84
- 5) 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. INNERVISION 2000 ; 15(9) : 80-84
- 6) Zhang Q, Chung Y-C, Lewin JS, Duerk JL : A method for simultaneous RF ablation and MRI. JMRI 1998 ; 8 : 110-114

MR-guided Therapy of Hepatic Tumors Using Vertically Oriented Open MR System

Yoshimasa KURUMI¹, Shigeyuki NAKA¹, Yoshihiro ENDO¹,
Kazuyoshi HANASAWA¹, Tohru TANI¹, Shigehiro MORIKAWA²,
Toshiro INUBUSHI², Michio YAMAZAKI³, Ken HURUKAWA³,
Kiyoshi MURATA³, Yoshiyuki ISHIZUKA⁴, Tadao BANBA⁴,
Shuichi NOSAKA⁵

¹First Department of Surgery, ²Molecular Neuroscience Research Center, ³Radiology,
⁴Second Department of Internal Medicine and ⁵Anesthesiology, Shiga University of Medical Science
Seta Tsukinowa-cho, Ohtsu, Shiga 520-2192

Microwave ablation is one of the possible treatments of hepatic tumors. It was originally used with laparotomy, with direct exposure of the liver. Recently, it has been used as an interventional device for thermoablation therapy under ultrasonographic or laparoscopic guidance. We have done clinical studies of MR-guided microwave ablation of hepatic tumors since January 2000.

From January through September 2000, 18 patients with liver tumors were hospitalized in the 1st Department of Surgery at Shiga University of Medical Science. There were 13 cases of metastatic hepatic tumor, all of which had previously had primary surgery. The other 5 cases were primary hepatic cancer. All patients were selected because percutaneous ethanol injection therapy (PEIT) or transcatheter arterial embolization (TAE) were ineffective, and surgical resection could not be done because of hepatic dysfunction. The procedure was carried out under general anesthesia in 12 cases, and local anesthesia in the other 6 cases.

We had already performed this treatment under MR-guidance on tumors located in every segment of the liver. However, percutaneous puncture of the tumors in the subphrenic area was not easy with the abdominal approach. In these cases, a combination of thoracoscopic and MR-guidance has been beneficial. MR imaging could be employed as a reliable guide for percutaneous puncture. The effects of ablation were evaluated with T₁-weighted MRI or dynamic MRI. We anticipate an increase in the use of MR-guidance and monitoring for interstitial thermal therapy using microwave ablation. MR-guided microwave thermoablation is a feasible method of treatment for liver tumors.