

200400241A

厚生労働科学研究費補助金
基礎研究成果の臨床応用推進研究事業

術中MRI 下腹腔鏡下手術システムの確立に関する研究
平成16年度 総括研究報告書

平成17(2005)年3月

主任研究者 橋 爪 誠

目次

総括研究報告

術中MRI下腹腔鏡下手術システムの確立に関する研究	1
橋爪 誠	

厚生労働科学研究費補助金(基礎研究成果の臨床応用推進研究事業)

総括研究報告書

術中MRI下腹腔鏡下手術システムの確立に関する研究

主任研究者 橋爪 誠 (九州大学大学院災害・救急医学 教授)

現在のがん治療は、診断技術と治療技術の発展により、術前に得られた診断画像によって手術計画を立て、術中は光学的な内視鏡情報に基づいた腹腔鏡下手術が選択肢の一つとなっている。本研究では、術中MRIを併用した腹腔鏡下手術システムを確立し、術中に得られる診断情報と術中情報の連携による、安全性の一層の向上、がん患者のQOLのさらなる改善を実現することを目的とする。16年度は、MRI画像に影響を及ぼさず、MRI撮像中でも術野を直視可能な2次元内視鏡を開発し、その有用性を検討した。我々は、先端CCD方式を採用し、様々なノイズ対策により、MRI画像中のノイズを最小限に抑えたMRI対応2次元内視鏡を試作した。さらに、実験モデルを用いてMRI画像誘導下にラジオ波焼灼実験を行い、治療における有用性を検討した。内視鏡映像はMRI撮影時も常に良好な術野情報を提供することが可能であった。MRI画像中のノイズは治療に支障をきたさない程度であり、ターゲットに対して安全かつ正確に穿刺、焼灼を施行できた。治療前後に撮影したMRI画像の差分画像を作成することで、焼灼領域を明瞭に判定することが可能であった。今後は、ラジオ波による治療効果を正確に判定する手法の確立に取り組む。

分担研究者

掛地 吉弘	九州大学病院 先端医工学診療部	助教授
川中 博文	九州大学病院 第二外科	助手
家入 里志	九州大学病院 先端医工学診療部	助手
村垣 善浩	東京女子医科大学大学院 先端生命医科学研究所 先端工学外科分野	助手
波多 伸彦	東京大学大学院 情報理工学系研究科	助教授

われてきた。その結果、現在のがん治療を含む外科手術においては、術前にMRI等の画像によって手術計画を立て、術中は光学的な内視鏡情報に基づいた腹腔鏡下手術や、各種診断装置との併用による体外からの穿刺治療といった治療が選択されている。

しかし、その『診断から治療』という観点から、多くの腹腔鏡下手術において、診断時の情報と術中情報の連携が図られているとは言えない。現状では、利用可能な術中情報を利用しつつ、術者の経験と判断により術前情報に基づいた腫瘍部位の推測が行われている。また、実現しているMRI下における穿刺治療は、準リアルタイムに得られる断層画像にのみ基づいて行われ、高い安全性が求められる医療においては、その安全性の向上が強く望まれる所である。

A. はじめに

現在のがん治療は、過去20年にわたる総合的な対がん戦略による成果により、生存率の向上や侵襲の低減を実現し、早期離床による患者のQOLの改善を実現してきた。新しい診断・評価法等によるがんの早期発見が図られ、また内視鏡外科手術といった低侵襲手術を実現する手術機器の開発も行

B. 研究目的

本研究は、術中MRIを併用した腹腔鏡下手術システムを確立することで、がん治療において蓄積されてきたMRI等を用いた知見や診断情報と術中情報の連携を可能とし、腫瘍部位明確化による切除範囲の限局といった低侵襲化の推進、安全性の一層の向上、がん患者のQOLのさらなる改善を実現することを目的とする。

本研究の目的を達成するため、始めにMRI対応3次元内視鏡の開発に取り組む。16年度は、MRI対応3次元内視鏡の前段階として、MRI画像に影響を及ぼさず、MRI撮像中でも術野を直視可能な2次元内視鏡を開発し、その有用性を検討するとともに、腹腔鏡下手術に有用なMRI画像を検討した。

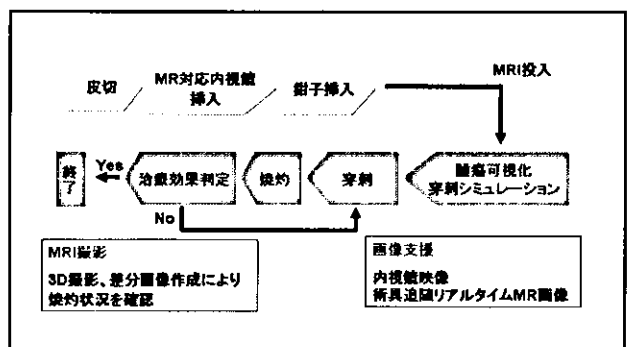
C. 研究方法

MRI対応2次元内視鏡としては、Melzer A〔1〕、片岡〔2〕、森川〔3〕らが既に開発しているが、これらはリレーレンズを用いた光学系で、1/2インチ41万画素CCDを使用している。これは、現在普及している内視鏡の一般的な仕様であるが、CCDをできるだけ磁場中心から離れた位置に配置することが可能で、MRI画像中のノイズを軽減する対策としても適している。しかし、現在、内視鏡はリレーレンズ光学系から先端CCD方式へと移行しつつある。その理由としては、リレーレンズ方式に較べて①映像が明るい②解像度が高い③更なる細径化が可能④スコープのフレキシブル化が容易、といった利点が挙げられる。そこで、我々は、これらを考慮し、MRI対応内視鏡の3次元化、細径化、フレキシブル化を最終目標とし、この実現に最適な先端CCD方式を採用した。

これまでに、2次元内視鏡の先端にCCDを搭載することで鮮明な内視鏡映像を取得し、かつ磁場下で動作が可能な新しい電子内視鏡技術として特許を出願している。この申請特許に基づき、MRI対応2次元内視鏡の設計・試作を行った。映像信号の作動伝送用電気回路の再検討・試作、ノイズ対策を施した二重シールド型の真鍮(低磁性)製スコープの試作、プロセッサ、およびケーブル、コネクタ

類のノイズ対策を完了した。具体的には、従来の内視鏡は、スコープ基部に中継基板を配し、長さ3mのケーブルにてプロセッサに接続し信号処理を行っていたため、ケーブルがアンテナとなって有害な電磁波等を放出し、磁場に多大な悪影響を与えMRIの画質低下を招いていた。これに対して、本スコープは、信号処理部、マイコン部、差動信号変換処理部等、重要部品を中継基板内に全て収納し、ケーブル内は映像信号のみの差動伝送とした。さらに、MRIの核磁気共鳴周波数を考慮し、CCD DSP部のClock信号を選択した。この内視鏡の動作検証を0.3テスラ開放型MRI装置(日立メディコ社製)下で行った。

また、この内視鏡を用いた術中MRI下での治療手法検討として、現在、肝悪性腫瘍の局所療法として主流となりつつあるラジオ波焼灼療法を採り上げ、MRI誘導下に行う治療プロトコルを作成した(図1)。その有用性を検討するため、MRI対応2次元内視鏡とMRI対応Cool-tipニードル(Radionics社、1.5mmφ、150mm長)を用い、ターゲットを埋め込んだ寒天に対して、準リアルタイムに得られるニードル断面のMRI画像と、リアルタイムに得られる内視鏡映像を参照しながら、穿刺を行った。焼灼は、鶏肉を用いて、124~168Wの出力で3分間行った。焼灼開始から1分後、3分後に治療効果の推移を確認するため、MRIによる撮影を行った。焼灼による治療効果は、焼灼直後に撮影したMRI画像の読影と、治療前後の差分画像を作成することで判定した。



MRI誘導下穿刺治療プロトコル
腹腔鏡下手術で有用な術中MRI画像の検討とし

て、以下の条件で撮影を行った。撮影はボランティアを対象に造影剤を使わずに施行した。

■ MRCP像

- 1) 安静呼吸下5分
- 2) 息止め3秒

■ 鼠径部の脂肪抑制像

D. 研究結果

試作したMRI対応2次元内視鏡は、前述したノイズ対策により、VCCI規定(情報処理装置等電波障害自主規制協議会規定)のクラスB以下の低EMI(Electro Magnetic Interference: 電磁妨害)を実現した。また、この内視鏡の動作検証をMRI装置下で行ったところ、内視鏡本体の磁場による牽引はなく、MRI撮像中の内視鏡映像へのノイズは治療に影響を与えない程度であり、内視鏡本体によるMRI画像へのノイズも最小限に抑えることができた。一方で、内視鏡映像を出力するテレビモニタについてはノイズ対策が完了しておらず、モニタON時にはMRI画像中にノイズが生じた。また、MRI誘導下にラジオ波焼灼療法を行ったところ、ニードル断面の準リアルタイムMRI画像中に若干のノイズは認められたものの、ターゲットに正確な穿刺を行うことができた。鶏肉の焼灼中には、内視鏡映像により術野の状況をリアルタイムに目視することが可能であった。焼灼開始から1分後、3分後に撮像したMRI画像では、焼灼の推移が確認されたが、RFAによる焼灼領域の境界を明瞭に読影することは難しかった。一方、差分画像は、焼灼領域を鮮明に表示することが可能であった。差分画像上で焼灼範囲の最大径が約6cmであるのに対して、鶏肉を切断して焼灼部位を肉眼で確認したところ、最大径は約6cmであった。

術中MRI画像の検討では、安静呼吸下のMRCP像は、総胆管、肝管が明瞭に確認でき、鼠径部の脂肪抑制像では尿管、リンパ節を確認することができた。

E. 考察

試作したMRI対応2次元内視鏡は、磁場による牽引がなく術中の操作に支障がなかったこと、また、

撮影によるRFパルス照射時も鮮明な内視鏡映像が得られ、MRI画像中にも顕著なノイズが見られなかったことから、MRI下での腹腔鏡下手術に利用することが可能であると思われた。また、焼灼中も術野の鮮明な内視鏡映像が得られたことから、安全な穿刺が可能であると考えられる。テレビモニタによるMRI画像中のノイズに関しては、通常液晶画面に電磁シールドを施すことで回避できるものと考えている。ニードル断面の準リアルタイムMRI画像は、ターゲットへの穿刺を正確に施行する上で有用であった。MRIによる画像誘導穿刺は、超音波画像誘導に較べて、画像更新時間においては劣るが、腫瘍と正常組織の境界が明瞭であること、焼灼直後も明瞭な診断画像が得られるため、複数回の穿刺を行うことが可能であるといった点で優位であると思われる。RFAによる治療領域は境界が不明瞭で肉眼による読影は難しいが、治療前後の差分画像を取ることで、焼灼領域を明瞭に確認することが可能と思われた。しかし、治療の有効性については治療前後の信号強度の差に明確な閾値がなく、今後確実な焼灼を行うにあたっては、この閾値を定めることが重要と考える。

MRI対応内視鏡の開発と同時に、イメージング技術の発展も必要である。今回撮影した安静呼吸下でのMRCP像は、術中操作の支援になるものと思われ、尿管、リンパ節を可視化できたことで、手術安全性とともにリンパ節廓清率の向上が期待される。また、呼吸同期撮像法、神経系の検出・可視化のための手法の開発は、腹部イメージングの画質向上、神経機能温存手術の実現に不可欠であり、今後取り組むべき課題である。さらに、超音波集束治療(HIFU、音響化学療法)、ロボティクス手術との融合は、治療の質・精度を向上させ、“切らない外科”の実現が可能であると考えている。

F. 結論

MRI対応2次元内視鏡を開発し、術中の準リアルタイム画像と併用することで、MRI下での画像誘導穿刺を安全かつ正確に施行できた。

G. 参考文献

- 1) Melzer A, Stoeckel D, Busch M, Deli M, Schmidt A, Kipfmüller K, Grönemeyer D, Seibel RMM: MR-compatible instruments for interventional MRIn:Fuflin RB, ed. Interventional MRI. St. Louis, USA: Mosby, 1999; 55-69
- 2) 片岡弘之, 鎮西清行, 鷺尾利克, 伊関洋, 堀智勝, 福与恒雄:MR対応構成内視鏡の開発、J JSCAS vol.2, no.3, 2000, pp.173-174
- 3) 森川茂廣, 犬伏俊郎, 鈴木幹男, 来見良誠, 藤村昌樹, Viswanathan Seshan,:MR対応内視鏡システムの構築とその臨床応用:日磁医誌第21巻4号, 2001, 155-159

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 実用新案登録

- 1) 特許出願番号:2003-345239、発明の名称:
電子内視鏡装置、発明者:林 友義、長野
雅彦、安藤邦郎、福与恒雄、橋爪 誠、波
多伸彦、登録出願年月日:平成15年10月3
日(申請中)