

令和 2 年 6 月 14 日現在

機関番号：32620

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K10326

研究課題名(和文) プロジェクションマッピングを用いた3D-MRIによる乳房温存術支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of MRI Projection Mapping System for Breast-Conserving Surgery

研究代表者

天野 真紀 (Amano, Maki)

順天堂大学・医学部・准教授

研究者番号：60297869

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：乳癌の乳房温存術では、癌の拡がりを正確に診断することが重要である。乳癌の広がり診断に最適な画像診断はMRIであるが、乳房は柔らかく容易に形を変えるため検査時と手術時でその形状は異なる。乳腺外科医が頭の中でMRI画像を再構築して、手術に臨んでいるのが現状である。本研究では専用プロジェクターを用い乳腺造影MRI画像に歪み補正を施しつつ、患者の乳房表面に画像を投影し癌の拡がりを正確にマッピングする手術支援システムを開発した。臨床例10例において本装置を用いて乳房皮膚上に腫瘍の大きさと位置を描画し、従来法のそれと比較し良好な結果を得られた。成果は国内外の学会で報告し論文を執筆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

MRIを用いた乳房手術のナビゲーション法は過去にも報告があるが、プロジェクターを用いてMRIを乳房皮膚に投影する手術室でも可能なプロジェクションマッピング装置はこれまで報告がない。本研究は画像診断法と光学的な手法を併用している点で学際的で、さらに手術支援に活かすことのできる特色のある研究と考える。本装置が普及すれば、乳房温存術での断端陽性率や再切除回数の低下をもたらす、手術時間の短縮や乳房整容性の確保に寄与し、患者はもとより手術に携わる医療スタッフの負担も軽減すると予想する。

研究成果の概要(英文)：Accurate identification of cancer spread is important in breast-conserving surgery for breast cancer. MRI is the most accurate diagnostic imaging for the identification. However, the shape of the breast is different at the time of MRI examination and surgery because the breast is soft and its shape can change easily. In the clinical practice, breast surgeons reconstruct MRI images in their brain to perform surgery. In this research, we developed a surgical support system that accurately maps the spread of cancer by projecting a contrast-enhanced MRI image on the breast surface of a patient using a dedicated projector while correcting the distortion. In 10 clinical cases, the size and position of the tumor were drawn on the breast skin using this system. They were almost concordant with those acquired by the conventional method and pathological finding.

研究分野：放射線診断学

キーワード：乳癌 乳房温存術 乳腺MRI プロジェクションマッピング 手術支援 ナビゲーションシステム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 乳癌の乳管内進展は拡がり診断の重要な因子

乳癌は日本人女性罹患率第1位の癌であり、ピンクリボン運動などの患者・市民団体の活動に代表されるように世間の関心は高い。乳癌治療は集学的に行われるが手術治療が基本であり、その約半数が乳房温存術である。温存術は全摘術と比べ腫瘍の断端陽性になる可能性が高く、腫瘍の残存・再発の有無は患者予後と相関する。腫瘍の残存を防ぐためには、乳管内進展といった乳癌の拡がりを正確に診断することが重要である。その診断には、超音波検査(US)・MMG(マンモグラフィ)・CT・MRIといった各種画像診断を用い総合的に行われている。

(2) 柔らかく容易に形を変える乳房

乳癌に特徴的な進展形式に乳管内進展がある。これは、MMGで石灰化の区域性分布、造影MRIで non-mass enhancement と称される区域性や線状の造影増強域の拡がりとして描出される(図1点線矢印)。一方、乳房は柔らかく、形態の個人差が大きく、患者の体位によっても容易に形を変える。乳管内進展の評価に最も優れたMRIは、呼吸の影響を軽減する目的で腹臥位で撮像されるため乳房は下垂し(図2a)、その形は手術の背臥位時(参考:図2b)とは大きく異なる。

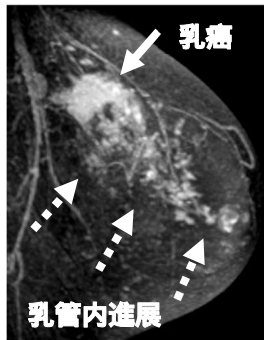


図1 乳腺3D-MRI

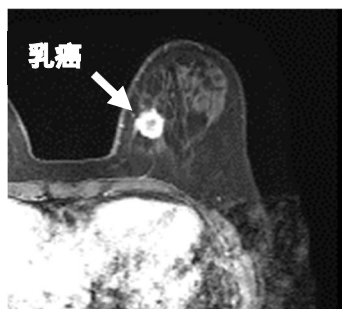


図2a

腹臥位MRI(180°回転)

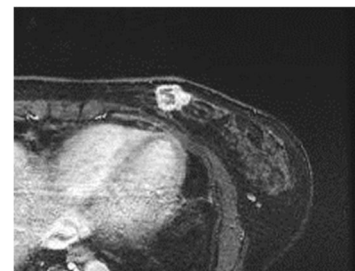


図2bと同症例の背臥位MRI

=手術室と同じ体位

MMGでは圧迫された乳房は扁平化する。CTは背臥位で撮影され術中体位の乳房に類似した形態を取るが、乳管内進展の描出は困難である。USは手術室でも使用できるが、癌の拡がりの再現性は低い。画像診断ごと形状が変わる乳房の内部の癌の拡がりを術者が頭の中で正確に把握するのは容易でない。

(3) プロジェクションマッピングの医療応用

3D-CT画像を手術支援のナビゲーションに用いる手法が、整形外科や脳外科領域で普及している。最近では、3D-画像を術野に直接プロジェクションマッピングする手法が、脳外科、形成外科や血管外科、呼吸器外科の胸腔鏡手術などで研究されつつある。本研究ではこれを乳房温存術のナビゲーションシステムとして応用した。しかし、乳房は容易に変形する上に、形態の個人差が大きく表面は複雑な曲面を呈している。一般のプロジェクタは平面に投影することを前提としており、MRI画像をそのまま投影すると乳房の辺縁に向かうにつれて投影と皮膚面の傾きが大きくなるため、画像の歪みが生じる。この問題を解決するために、症例ごとに乳房の表面の情報を入手し投影するMRI画像の補正を行う必要がある。

2. 研究の目的

背臥位の3D-MRI画像で描出された乳癌の拡がりを乳房表面にプロジェクタを用いて投影(プロジェクションマッピング)することで、乳癌の正確な摘除を可能とするシステムを開発し、乳房温存術を支援する。

3. 研究の方法

(1) プロジェクションマッピングシステムの開発

手術室で乳腺MRIのMIP(3D-MRI)画像を乳房皮膚に投影できる装置(プロトタイプ)を(株)RICOHと共同で制作した。

ハードウェア(図3a):装置は可動性で台座と伸縮可能なアームから成り、アームの先端にカメラとプロジェクタを配した。MRI画像はアームの先のプロジェクタを用いてプロジェクションマッピングした。

ソフトウェア:カメラとプロジェクタを用いたStructured light方式(図3b)によ

て乳房表面の形状を計測し、投影画像に補正を行った。



図 3a プロジェクションマッピングシステム

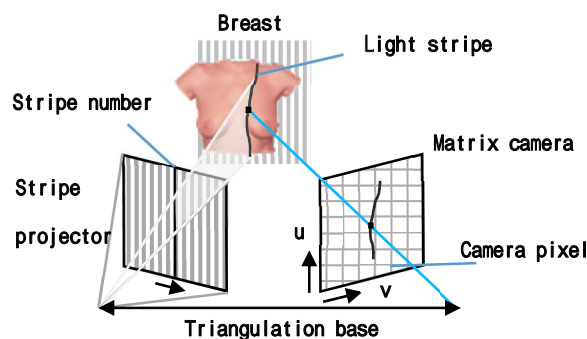


図 3b Structured light 方式

(2) プロジェクションマッピングに適したナビゲーション MRI 撮像法の確立

通常の乳腺腹臥位 MRI 撮像の最後に背臥位 MRI を追加し、ナビゲーション用の背臥位 MRI の撮像法の決定、シミュレーションを行った。

撮像シーケンス: 受信コイルは心臓用を用い、胸骨を含む患側乳房を脂肪抑制 T1 強調像を造影前後に撮像し投影用の MIP 像を作製した。

傾斜台: 乳房外側癌の症例では背臥位では癌が側胸部に下垂し正確に投影できない可能性があるため、非磁性体傾斜台を作製し背臥位撮像時に患者の背面に敷いて患側を高くして癌の下垂を防ぐこととし傾斜台の実用性を確認した。

上肢の再現性: 背臥位 MRI 時の上肢の位置を手術室でプロジェクションマッピングする際に再現する必要があり、放射線治療用の形状記憶クッションを背臥位 MRI 時に患者の肩の背面に敷いて撮像した。

剛体マーカー: プロジェクションマッピング装置によって計測された乳房の形状を背臥位 MRI 画像と一致させるために乳房外の変形の少ない胸壁皮膚に剛体マーカーを添付した。これは MRI 視認性が必要で、脂肪抑制造影 T1 強調像でも高信号となるアダラートカプセルを用いた。

(3) 臨床検討

乳房温存術予定の乳癌症例で研究参加の同意が得られた患者に対し臨床検討を行った。

手術前日に背臥位造影乳腺 MRI を撮像し投影用画像を投影用 MIP 画像を作製した。

手術当日、全身麻酔下で、まず、従来法として触診と超音波を用いて癌の位置を描画した。続いてプロジェクションマッピング装置を用いて背臥位乳房 MRI MIP 像を乳房に投影した。乳房皮膚に投影された MIP 像の癌の広がりを描画した。

従来法とプロジェクションマッピング法で描画した癌の大きさと位置の乖離を比較・計測し、さらに病理所見との対比を行って、プロジェクションマッピング法の精度を検証した。

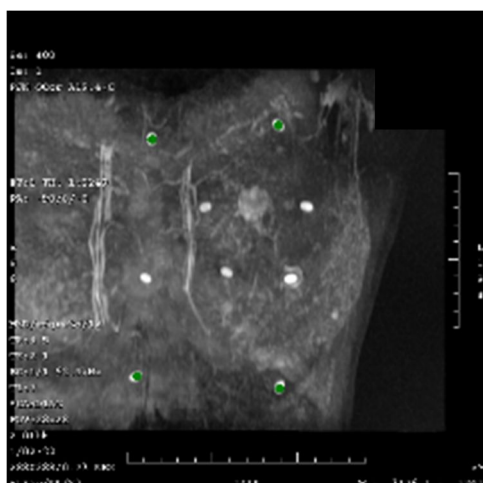


図 4 投影用 MIP 画像の作成

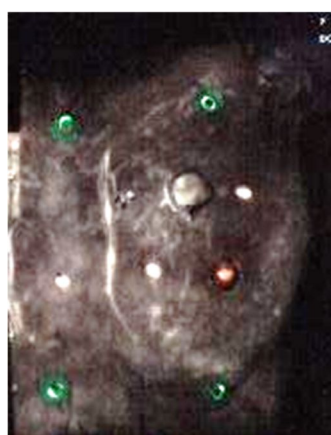


図 5 乳房への MRI MIP 像の投影

黒描画: 従来法の癌の位置

4. 研究成果

10 例の乳癌患者にプロジェクションマッピングを施行した。10 例中 2 例において、プロジェクションマッピングは人的エラーにより正しく投影されなかった。

触診と超音波で病変の同定が容易な浸潤巣を対象として、腫瘍の大きさを従来法・プロジェクションマッピング法、病理所見で比較したところ、それぞれ最大径は、9-24 mm (16.8 ± 5.1 mm)、8-24 mm (14.9 ± 4.9 mm)、6-25 (15.3 ± 7.2 mm) で各値に有意差は無かった。また、従来法とプロジェクションマッピング法間の腫瘍位置の乖離は 3-8 mm (4.5 ± 1.6 mm) であった。切除範囲は腫瘍位置に 10~15 mm のマージンをとって決定した。そのため、腫瘍位置の乖離は 5 mm 未満を許容範囲内とした場合、8 例中 7 例でプロジェクションマッピング法で描画された腫瘍位置の乖離は許容範囲内と考えられた。

以上の成果を北米放射線学会 (2018、2019)、日本乳癌学会総会 (2019) で報告した。さらに、成果論文は Biomed Research International に投稿し採択された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Maki Amano, Toshiaki Kitabatake, Otoichi Nakata, Reiko Inaba, Kazuyuki Ito, Chie Kurokawa, Yutaka Ozaki, Kuniaki Kojima, Ryohei Kuwatsuru
2. 発表標題 MRI Projection Mapping for Conserving Surgery of Breast Cancer in the Operation Room A Feasibility Study
3. 学会等名 RSNA2018（第104回北米放射線学会）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 天野真紀, 北畠俊顕, 中田乙一, 稲葉玲子, 市川悠子, 小倉加奈子, 尾崎裕, 児島邦明
2. 発表標題 プロジェクションマッピングを用いた乳房温存術支援システムの開発と初期使用経験
3. 学会等名 第27回日本乳癌学会学術総会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Maki Amano, Toshiaki Kitabatake, Yuko Ichikawa, Reiko Inaba, Otoichi Nakata, Yutaka Ozaki, Kuniaki Kojima, Kazuyuki Ito, Chie Kurokawa, Shigeki Aoki, Ryohei Kuwatsuru
2. 発表標題 Usefulness of MRI Projection Mapping System for Conserving Surgery of Breast Cancer :Comparison with Conventional Method and Pathohistological Findings
3. 学会等名 第105回北米放射線学会（国際学会）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	北畠 俊顕 (Kitabatake Toshiaki) (20338354)	順天堂大学・医学部・非常勤講師 (32620)	

