

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 23 日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26861053

研究課題名(和文) 拡張現実技術を用いた乳癌手術ナビゲーションシステムの構築

研究課題名(英文) Visualizer for Tomographic Medical Images Corresponding Handheld Device to Patient

研究代表者

栗原 俊明 (Kurihara, Toshiaki)

慶應義塾大学・医学部・助教

研究者番号：30626700

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：拡張現実(Augmented Reality：AR)とは、周囲を取り巻く現実環境に情報を付加・強調させ、文字通り人間から見た現実世界を拡張する技術である。我々はこの技術を応用し、乳房温存手術において必要にして十分、かつ最低限の切除範囲を手術中に正確に認識可能なナビゲーションサージャリーを実現することを目的とした。本研究では、iPadなどのタブレット端末から、マーカーとなる一筋のレーザー光を発生させ、文字通りそのレーザー光で患者の乳房を「切った切断面」のMRI画像をタブレット端末に表示させる装置を開発した。今後この技術を発展させることで、近い将来の臨床応用を模索していくことが可能である。

研究成果の概要(英文)：This study introduces an interface that helps understand the correspondence between the patient and medical images. Surgeons determine the extent of resection by using tomographic images such as MRI (Magnetic Resonance Imaging) data. However, understanding the relationship between the patient and tomographic images is difficult. This study aims to visualize the correspondence more intuitively. We propose an interactive visualizer for medical images based on the relative position and orientation of the handheld device and the patient. We conducted an experiment to verify the performances of the proposed method and several other methods. In the experiment, the proposed method with a line laser showed the minimum error.

研究分野：乳腺外科学

キーワード：乳癌 ナビゲーションサージャリー 拡張現実技術 タブレット端末

1. 研究開始当初の背景

乳房温存手術は、胸筋温存乳房切除術に比べて比較的整容性を保つことが可能であるが、腫瘍径の大きさや乳管内進展により切除範囲が拡大することで、術後の乳房の歪みや変形を高度に及ぼす症例が散見される。温存術を行う際には、腫瘍周囲の正常乳腺組織をいわゆる安全域(safety margin)として同時に切除することが一般的であり、この範囲を大きくすることで、癌の遺残を防ぎ、根治性を高めることが可能である。しかし前述の通り、切除範囲の拡大は整容性を保つ上で必要十分に限定することが求められ、乳腺外科医はこの二律背反な「根治性」と「整容性」を高いレベルで両立するための高度な技量が求められる。この様に、乳房温存手術を行う上で切除範囲の決定は重要な要素であるが、術中に指先の感覚により腫瘍を触知しながら切除範囲を決定可能な症例は一部に限られる。多数の症例では、術前超音波検査等により腫瘍中心部や辺縁部のマーキングを行い、切除範囲決定の補助とするが、軽微な体位変換や皮膚を剥離した段階で、本来切除すべき範囲との「ずれ」が生じる可能性がある。また、そもそも超音波では検知不可能な非浸潤性乳管癌(DCIS)や、浸潤癌周囲の乳管内進展に対する切除範囲を、正確に予測しながら手術を行うことは現状では不可能である。

拡張現実(Augmented Reality : AR)とは、周囲を取り巻く現実環境に情報を付加・強調させ、文字通り人間から見た現実世界を拡張する技術である。本来何も無いテーブル上に、スマートフォンやヘッドマウントディスプレイ(HMD)のカメラを通して見た映像では、コンピュータにより合成されたキャラクターが踊っている様子を楽しむことができるなど、現在はエンターテインメントの分野で広く利用されている技術である。我々はこの技術を応用し、乳房温存手術において必要にして十分、かつ最低限の切除範囲を手術中に正確に認識可能なナビゲーションサージャリーを実現するため、現在までにAR技術において最先端の研究を行っている慶應義塾大学理工学部および同大学院メディアデザイン研究科との共同研究を以下のコンセプトのもとに行ってきた。

- (1) 乳癌の局在や進展を、最も鋭敏に検知可能である造影MRI画像を仰臥位で撮影し、この画像から2次元もしくは3次元構築を行い、腫瘍画像を取得する。
- (2) MRI撮影の際に、乳房や皮膚にMRIで検知可能な指標を複数配置することで、腫瘍部位と指標間の空間位置情報を取得する。
- (3) これら位置情報を基に、体位変換や乳腺の伸縮、手術操作による皮膚の剥離などに関わらず、本来の正確な腫瘍存在部位へAR技術を用いて腫瘍像を投影し、ナビゲーションサージャリーを実現する。本技術が確立すれば、手術中に腫瘍の局在を

眼下に直接確認しながら腫瘍切除を行うことが可能となる。

しかし、これまでの研究から、乳房の変形を追尾可能なシステムの構築は、乗り越えるべき技術的制約が多いことが判明したため、まず本研究では手術直前の完全に仰臥位の状態において、腫瘍画像を患者乳腺皮膚へ投影することを目指す。将来的には乳房温存術を受ける全ての乳癌患者に大きな利益を還元することができると考えられる。

2. 研究の目的

乳房温存術において「術前・術中に腫瘍の局在と広がりを見ながら」手術を施行できれば、外科医は深い自信と安心感を持って、必要最低限にして十分な範囲の乳腺切除を行うことができ、患者は乳房の整容性を保ち、かつ根治度の高い手術を受けることが可能となる。テクノロジーの進歩は医学を常に前進させてきたが、我々は最新の「拡張現実技術」を外科手術に応用することで、簡便で実用性が高い乳房温存術におけるナビゲーションサージャリーシステムを開発することに対して、総合大学としての利点を最大限に活用し、近未来の手術システムを作り上げる医工連携研究を目指していくことを目的とした。

本研究期間内に明らかにすることは以下の通りである。

- (1) 患者体表面から3Dスキャナーで取得した3次元情報を基に、3Dプリンタを用いて乳腺のファントムを作成する。
- (2) 事前に仰臥位で撮影したMRI画像とオイルパッチを用いた指標の位置合わせを行い、リアルタイムな腫瘍位置の同定方法を検討。
- (3) (1)で作成したファントム上へ検出した手法を用いて、位置情報に基づいた正確な投影法を確立。
- (4) (3)で確立した技術を用いた、手術室における患者体表面への投影。
- (5) 手術中の乳腺の変形に対応するシステムの検討を行う。

乳癌は本邦における女性の悪性腫瘍疾患罹患率第一位であり、欧米と比較して40~50代の比較的若い、術後乳房の整容性を重視する患者が多いことが特徴である。日本乳癌学会による「全国乳がん患者登録調査報告」によれば、乳房温存率は2008年次において59.7%と約6割前後であり、その需要は増加傾向である。一方で乳癌術後の局所再発が、薬物治療の有無に関わらず全生存率と相関することが、EBCTCGのメタアナリシスで示され(Lancet, 2005)、局所コントロールの予後に対する重要性は広く認知されている。

ナビゲーションサージャリーは、脳外科や整形外科領域において多くの研究がなされ、その一部は実用段階にあるが、乳房温存術へ実用レベルで応用した例は未だかつて無い。

本技術の確立により、正確な位置情報を持った腫瘍の広がり、術前の患者乳房に AR 技術を用いて重ね合わせることで、腫瘍の局在を直接視認しながらマーキングおよび腫瘍切除を行うことが可能となる。このため、手術の精度は飛躍的に上昇し、根治性と整容性を高いレベルで両立することが可能となる。また、習熟度の比較的低い外科医であっても、熟練した外科医が行う手術に近い精度で腫瘍切除が可能となることで、乳腺外科医の裾野が広がり、今後増加する一方の乳癌患者の治療への対応が容易となると考えられる。よって、近年急速に開発が進んだ AR 技術を用いたナビゲーションサージャリーを構築することを、本研究の目的と定めた。

3. 研究の方法

(1) 患者体表面と一致したファントムの作成

慶應義塾大学医学部倫理委員会における審査を経て、インフォームドコンセントおよび同意書の取得を行い、2名の乳癌患者より患者体表面形状データおよび仰臥位 MRI 画像を取得し、3D プリンタを用いてファントムを作成した。

(2) タブレット端末を用いた位置測定法の開発

タブレット端末からレーザー光が照射され、このレーザーで文字通り体表面を「切った」任意のスライスと一致する MRI 画像を表示する“Virtual Slicer”の開発を行った。これらは赤外線カメラで患者体表面およびタブレット端末の位置情報を同定し、上記の画像表示を実現させることとした。

(3) “Virtual Slicer”の精度評価

この“Virtual Slicer”を用いて、どの程度の精度評価が可能かを、ファントムと組み合わせで行った。想定する乳腺腫瘍の位置を決定し、施行者を複数人用意し、ミリ単位の精度評価を行った。

(4) ペンデバイスの実装

位置情報を明らかにしたペンデバイスを作成し、実際に指し示した位置が、Virtual Slicer 上の MRI 画像で表示可能かどうかを検討した。またこのデバイスについても精度評価を行った。

4. 研究成果

我々はまず患者乳房ファントムを作成することを試みた。体表面の位置情報を仰臥位 MRI 画像に撮像するために、MRI にて認識可能な市販のオイルパッチを以下の部位に貼付した。

- 胸骨の鎖骨付着部(胸鎖関節部)
- 胸骨下縁
- 胸骨上の乳頭と同じ高さ

乳頭を対象点とした と反対側の肋骨

これら 4カ所を基本位置として貼付し、また症例に合わせて、乳頭の頭尾側にもオイルパッチを追加貼付した。撮影は当科で既に行っている MRI とエコー画像を同期させる Volume Navigation(V-Navi)で培った、仰臥位撮影にて最も腫瘍影のコントラストが確認できる撮影条件に則って、医学部放射線科・谷本講師の協力を得て施行された。

また、MRI 撮影後に 3D スキャナーを用いて患者体表面に対するスキャンを行い、この取得した 3D 表面データと、MRI 画像から構築した 3D データの二つを基にして、オイルパッチマーカを含む乳房の模型(ファントム)を 3D プリンタにより作成を行った。これにより、患者体表面と完全に一致した形状を持つファントムを取得することが可能であった。

実際に腫瘍位置を AR 技術を用いて体表面に投影することは、乳房の変形を追尾する必要性や、手術時の強いライト下では技術的に難しいことが各種検討から判明した。そのため、我々はタブレット端末を用いた Virtual Slicer の開発に着手した。

Virtual Slicer の概要は、iPad などのタブレット端末から、マーカとなる一筋のレーザー光を発生させ、文字通りそのレーザー光で患者の乳房を「切った切断面」の MRI 画像をタブレット端末に表示させる装置である。360 度自在にレーザー光で「切る」ことが可能であり、リアルタイムに遅延なく正確な位置の MRI 画像を表示し続けることが可能である。

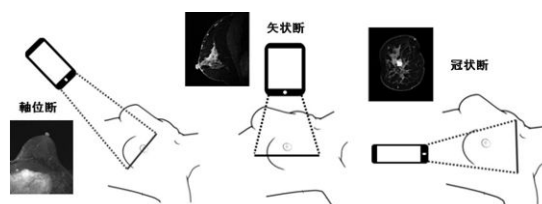


図 1. Virtual Slicer の概要

研究室での検証の後に、実際に検査室において赤外線カメラを設置し、ファントムを中央に設置して施術者が動作を確認したところ、任意の MRI スライス画像をタブレット端末上に表示することを可能とした。

この状態で、どの程度の精度が見込めるかについて実験を行った。MRI 画像に径 20mm の病変を球として作成し、16名の被験者に Virtual Slicer のレーザー光線無し・ありの二通りにおいてファントム上で正確な位置を推定可能かどうかについて検証を行った。

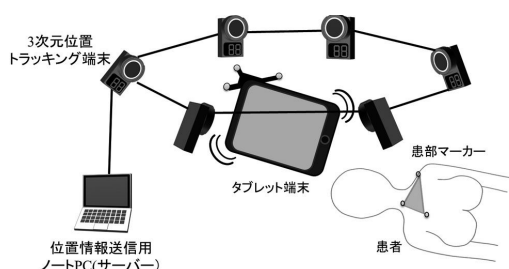


図 2. Virtual Slicer システム

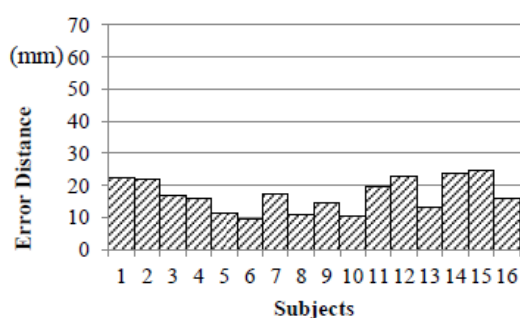


Fig.17 Error Distance of each Subjects
(Virtual Slicer with Line Laser)

図 3. Virtual Slicer による精度測定

その結果、正確な位置からの誤差は、レーザー光無しで $21.7 \pm 7.2\text{mm}$ 、レーザー光ありで $17.0 \pm 5.1\text{mm}$ であり、誤差はあるものの、ある程度の精度で本システムにより腫瘍位置が同定可能であることが検証された。

さらに、我々は実際にファントム上で指し示した位置を、Virtual Slicer 上の MRI 画像に表示するペンデバイスの実装を行った。ペンデバイスで指し示した位置を Virtual slicer のレーザー光に重ねると、その両者の位置が近ければ近いほど大きな円を描くようにすることで、より正確な位置を視覚的に表すことを行った。今後はこのデバイスを用いてファントム上だけではなく、乳がん患者に応用していくことを模索していく。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

なし

6 . 研究組織

(1)研究代表者
栗原俊明 (Toshiaki Kurihara)
慶應義塾大学・医学部・助教
研究者番号：30626700

(2)研究分担者
なし

(3)連携研究者
なし