

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：32202

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K10905

研究課題名(和文) 拡張現実を応用した新型内視鏡下手術支援ナビゲーションシステムの開発

研究課題名(英文) Development of novel endoscopic navigation system by augmented reality

研究代表者

山口 崇 (YAMAGUCHI, Takashi)

自治医科大学・医学部・准教授

研究者番号：20245070

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：経鼻内視鏡手術中の重要な指標となる視神経、頭蓋底骨、内頸動脈および腫瘍本体の3D画像を作成しておき、内視鏡に装着した光学リファレンスにより内視鏡の位置情報を解析、内視鏡映像に上記3D画像を誤差なく重畳することができた。実際の手術においては、内視鏡に装着した光学リファレンスは手術操作に干渉することなく、またブラインドスポットも生じなかった。手術中にまだ視認できない構造物をあたかも透視するかの如く直観的に観察できた。有害事象もなく極めて有用と考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在市販されている手術支援ナビゲーションシステムは、術中に術野の1点をポイントし、別なモニター画面に視線を移してその位置情報を確認すると言ったものである。我々の開発した拡張現実を応用したナビゲーションシステムは、位置情報を認識させたタブレットのカメラを用いて、映された映像に術野の必要な情報を重畳させることを可能にした。さらに改良された内視鏡手術支援ナビゲーションシステムは、内視鏡本体にリファレンスを装着して位置情報を認識させた上で内視鏡手術映像に直接3D化した関心領域の像を重畳することにより、手術中に視線をナビゲーションモニタに移動させることなく、術中操作を進めることができるようになった。

研究成果の概要(英文)：We made 3D pictures of the optic nerves, the skull base bone, the internal carotid arteries, and tumor itself which are very important landmark during endonasal endoscopic pituitary surgery. After analyzing location information of the endoscope with the optical reference, these 3D pictures could be superimposed on the endoscopic image without any difference. In real endoscopic surgery, the optical reference with the endoscope did not disturb operative procedures and there was no blind spot in the operative field. Even the unexposed structures were intuitively observed as transparent objects. Furthermore, there was no adverse event and we believed this system was very helpful.

研究分野：医学

キーワード：拡張現実 手術ナビゲーション 神経内視鏡手術

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

手術支援ナビゲーションシステムは術中に術者が手に持ったプローベで術野を指し示すことで、その位置をMRI・CT画像の上にマーカーで示すことが可能なシステムであり、すでに整形外科、耳鼻咽喉科及び脳神経外科など複数科で導入が進んでいる。脳神経外科領域においては、この機能を活用することによって術者は位置関係を把握しにくい脳内でも、的確に術中のターゲットに到達可能とし、手術の質と効率を大幅に向上させることができるようになり、近年ではすでに欠かすことのできないものとなっている。研究者一人である渡辺はこの装置を世界に先駆けて開発し、研究開発を続けてきた。市場では、すでに様々な装置が高機能な3D表示機能と統合して市販されているが、プローベの位置を示すという点では基本的な仕様は同じである。つまりプローベで指し示さなければ機能が発揮されない。

人が知覚する現実環境にコンピュータにより情報を負荷する拡張現実の技術が発展してきている。本研究では、脳とその内部の構造をデジタル化し、これを患者頭部に仮想的に重ね可視化する拡張現実手法を取り入れることにより、プローベで指し示さなくても構造が頭部内部に透けて見えるシステムを確立することを目的としている。これが実現すると、タブレットに装着されたカメラで映された患者頭部またはウェアラブルグラスを通して見た実際の患者頭部上に、コンピューターで生成された脳腫瘍や血管などの頭蓋内構造が頭部画像に重畳して表示される。より直感的なナビゲーションが可能となる。

2. 研究の目的

拡張現実を用いて直感的に腫瘍や血管など手術に重要な構造の位置を理解できる手術支援ナビゲーションシステムを開発する。

3. 研究の方法

(1) 効果および安全性の評価

有効性の評価

従来の手術支援ナビゲーションシステムでは患者頭部付近にモーションキャプチャー用のリファレンスボールを4つ取り付け光学プローベで頭部上のナジオン、両側外耳孔の実空間上の位置をあらかじめ撮影されたCT・MRI画像上に登録後、光学プローベで差した座標を逐次的にCT・MRI空間に座標変換して表示していた。

本研究では光学プローベの代わりにタブレットまたはウェアラブルグラスの位置を常時検出し、頭部との位置関係を計算しタブレットまたはウェアラブル上の実空間に同じ画角に配置されたデジタルデータを重畳表示する。これによりタブレットでは頭部を写すと、頭部に重畳されてカメラ方向から見た脳内構造が表示されることになり、ウェアラブルグラスではシースルーのメガネから見える実際の頭部上に脳内構造が表示される。

本研究では実際の手術において従来の方法とともに試用し以下の項目を後方視的に解析する。

- a) 本研究で開発した装置で開頭のデザインから、肉眼的な手術の段階全てでナビゲーションが可能であるか。
- b) 3Dサンプリングの時間的遅れ、空間精度が十分であるか。
- c) 顕微鏡下の手術に移行した段階でどのようにナビゲーションを続行させるか。
- d) 表示方法はタブレットとウェアラブルグラスのどちらがよいか、またはそれ以外の

プロジェクションマッピングがよいか、それぞれの方法の得失。

e) 3Dサンプリングの死角はないか。

東京電機大学情報環境学部柴田滝也研究室と共同してナビゲーションシステムの時間的遅れや空間精度等に関する改善に取り組む。

この研究に対する費用負担はない。

安全性の評価

患者がいない状況での手術室に本システムを設置し問題なく動作するか、他の機器との干渉が無いかなど、実際の運用の前に安全性の確認を行う。

中止基準

- a) 患者または家族が中止を希望した場合。
- b) 研究中に不具合が生じ継続が困難または危険と判断した場合。

4. 研究成果

開頭手術においては2015年6月から臨床例での使用しており、並行して内視鏡手術への応用に向けて研究を開始した。

(1) 開発当初のAR naviによるモニタリング：3Dプリンターで下垂体腫瘍を含む石膏モデルを作成し、開発当初のAR naviを用いて内視鏡下経鼻下垂体手術モニタリングを手術室で実際にシミュレーションを実施した。経鼻下垂体手術のような深部のターゲットでもブラインドスポットなく、常に目的の構造物をタブレット上に描出できることを確認した。次にタブレット端末に重畳された腫瘍を含む深部ターゲットの精度を検証したが、誤差は数ミリ以内であり、タイムラグもなく、問題ないことが確認された。

(2) 神経内視鏡の位置情報をコンピュータシステムに認識させる：神経内視鏡の位置情報をキャプチャーカメラに認識させるため、内視鏡本体に近い部分に内視鏡の位置情報を知らせる自作の小型光学リファレンスを装着した。さらに自作の光学リファレンスが実際に手術操作の妨げにならないか、複数の石膏モデルでのシミュレーションを繰り返し、最も適切な装着部位を決定した。これにより術中に死角を生じることなく手術を行えることが確認できた。

(3) 神経内視鏡の映像情報にAR naviの情報を重畳させる：内視鏡映像をAR naviのコンピュータシステムに転送するとともに、内視鏡の位置情報も合わせて別ルートで送り、この両者をコンピュータの情報処理により融合した。0度の内視鏡の画角は広く、周辺部においては映像のゆがみが生じる。内視鏡映像のキャリブレーションを行い、ゆがみによる誤差が生じないように工夫し、最終的に内視鏡映像をARナビ上に最小限の誤差にて頂上することが可能となった。

(4) 実際の手術における様々な検証：手術室において術前から術中、術後以下の項目に関して検証した。

手術前のセッティング：本システムのセッティングのために要する時間、人的負担など。従来のナビゲーションと同等程度の時間を要するのみで、新たな人的負担も生じなかった。現在の経鼻内視鏡手術では顕微鏡を併用することはなく、顕微鏡に関する検討は行わなかった。また、手術中に常に使用・観察する内視鏡モニターに重畳した画像も観察可能となるようにセットアップした(Fig.1)。これにより、ウェアラブルグラスやプロジェクションマッピングへの応用は不要となった。

ブライندスポットの有無と手術操作性：光学リファレンスを取り付けた内視鏡に対する検討。内視鏡の鏡筒そのものに光学リファレンスを装着することにより、ブライندスポットを生じることなく、光学リファレンスが手術操作に干渉することもなかった (Fig.2)。自作のエンドスプラッシュとも干渉しなかった。

有用性の検証：術中に重畳した主なデータは両側内頸動脈・腫瘍・頭蓋底骨および視神経とした。内視鏡を鼻腔内に挿入する前に先立って内視鏡映像のキャリブレーションを行うことで、すでに市販されているナビゲーションを応用して計測したAR naviの誤差は1-2mm以内であった。トルコ鞍底開窓前に頭蓋底骨に重畳した両側内頸動脈と左右または前後方向に進展した腫瘍をあたかも透見するように認識でき (Fig.3,4)、頭蓋底骨のすぐ裏側を走行する内頸動脈を決して損傷することなく、ギリギリまで鞍底を安全に開窓することができた。鞍底を開窓後は腫瘍の進展方向を視覚的に認識することにより、手術時間を短縮しかつ摘出率も向上させることができた。



Fig.1



Fig.2

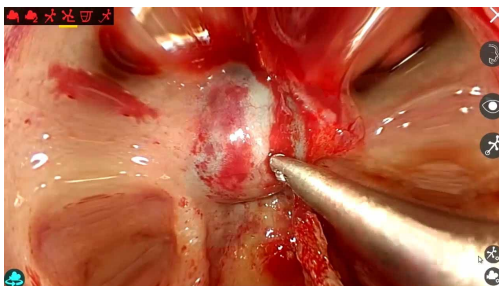


Fig.3

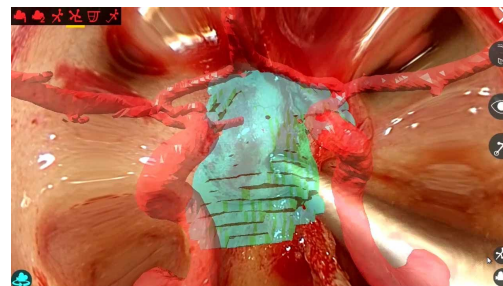


Fig.4

安全性の評価：目標の30症例全てにおいて有害事象の発生は認められなかった。

中止基準を満たすような症例はなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Makoto Satoh, Takeshi Nakajima, Takashi Yamaguchi, Eiju Watanabe, Kensuke Kawai	4. 巻 94
2. 論文標題 Evaluation of augmented-reality based navigation for brain tumor surgery	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Clinical Neuroscience	6. 最初と最後の頁 305-314
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jocn.2021.10.033	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Makoto Satoh, Takeshi Nakajima, Takashi Yamaguchi, Eiju Watanabe, Kensuke Kawai	4. 巻 59
2. 論文標題 Application of Augmented Reality to Stereotactic Biopsy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Neurologia medico-chirurgica	6. 最初と最後の頁 444-447
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2176/nmc.tn.2019-0128	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 佐藤 信、中嶋 剛、山口 崇、渡辺 英寿、川合謙介
2. 発表標題 拡張現実(AR)ナビゲーションを活用した定位生検 ARガイド下定位脳手術の可能性
3. 学会等名 第59回日本定位・機脳神経外科学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 信、大谷 啓介、中嶋 剛、山口 崇、渡辺 英寿、川合謙介
2. 発表標題 拡張現実を用いたニューロナビゲータの開発
3. 学会等名 第20回日本術中画像情報学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 信、中嶋 剛、山口 崇、益子 敏弘、渡辺 英寿、川合謙介
2. 発表標題 拡張現実型ニューロナビゲーターの開発と鏡視下手術への展開
3. 学会等名 第78回脳神経外科総会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口 崇、佐藤 信、中嶋 剛、渡辺 英寿、川合謙介
2. 発表標題 拡張現実及びモーションキャプチャーを応用した新型ナビゲーターによる内視鏡下手術の経験
3. 学会等名 第26回日本神経内視鏡学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内山 拓、益子 敏弘、山口 崇、大谷 啓介、川合謙介
2. 発表標題 立体モデルでの骨削除模擬訓練が有用であったpetroclival meningiomaの1例
3. 学会等名 第31回日本頭蓋底外科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 信、中嶋 剛、宮田五月、山口 崇、益子敏弘、川合謙介、渡辺 英寿
2. 発表標題 拡張現実型ニューロナビゲーターの開発と鏡視下手術への展開
3. 学会等名 第27回脳神経外科手術と機器学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口 崇、佐藤 信、益子敏弘、川合謙介、渡辺 英寿
2. 発表標題 拡張現実とモーションキャプチャーを応用した新型ナビゲーターによる神経内視鏡下手術の経験
3. 学会等名 第30回日本頭蓋底外科学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口 崇、佐藤 信、益子敏弘、川合謙介、渡辺 英寿
2. 発表標題 拡張現実とモーションキャプチャーを用いた新型ニューロナビゲーターの神経内視鏡下手術への応用
3. 学会等名 日本脳神経外科学会 第77回学術総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口 崇、宮田五月、中嶋 剛、益子敏弘、川合謙介、渡辺 英寿
2. 発表標題 拡張現実とモーションキャプチャーを応用した新型ニューロナビゲーターによる神経内視鏡下手術の経験
3. 学会等名 第25回日本神経内視鏡学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口 崇、大谷啓介、宮田 五月、中嶋 剛、益子 敏弘、川合 謙介
2. 発表標題 3D実体モデルを利用した経鼻内視鏡手術の術前シミュレーション
3. 学会等名 第129回日本頭蓋底外科学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤 信, 宮田 五月, 中嶋 剛, 山口 崇, 益子 敏弘, 川合 謙介
2. 発表標題 拡張現実型ニューロナビゲーターの使用経験と鏡視下手術への展開
3. 学会等名 第76回脳神経外科総会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山口 崇, 宮田 五月, 五味 玲, 川合 謙介
2. 発表標題 傍鞍部病変に対する3D実態モデルを用いた経鼻内視鏡の術前シミュレーション
3. 学会等名 第76回脳神経外科総会
4. 発表年 2017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	宮田 五月 (MIYATA Satsuki) (10705445)	自治医科大学・医学部・客員研究員 (32202)	
研究分担者	佐藤 信 (SATO H Makoto) (80742345)	自治医科大学・医学部・助教 (32202)	
研究分担者	益子 敏弘 (MASHIKO Tashihiro) (90275701)	自治医科大学・医学部・教授 (32202)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------