

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月9日現在

機関番号：32651

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22591903

研究課題名（和文） 立体画像表示システムを用いた鼻副鼻腔ステレオナビゲーション手術術式の研究

研究課題名（英文） Development of high-tech navigation surgery for sinus lesions using superimposed stereo display system

研究代表者

鴻 信義 (OTORI NOBUYOSHI)

東京慈恵会医科大学・医学部・准教授

研究者番号：90233204

研究成果の概要（和文）：

より安全で的確な鼻副鼻腔手術を目指し、立体画像表示システムを用いたステレオナビゲーションシステムを開発した。システムの使用方法は以下の通り。まず患者の術前CT画像を3次元的に解析し、副鼻腔や頭蓋底また視神経などをそれぞれセグメンテーション（区分化）してそれぞれの立体臓器モデルを作成する。手術時、立体内視鏡を鼻副鼻腔内に挿入すると、立体臓器モデルが内視鏡画像上に遠近感をもって重畳表示される。すなわち、術野の後方が透見できるようになる。術野とその周辺解剖がより直感的に認識でき、安全な手術操作を支援すること、また教育にも優れたツールであることを確認した。

研究成果の概要（英文）：

We developed high-tech navigation system using superimposed stereo display for safer and more precise endoscopic sinus surgery. The usage of the system is as follows. At first, CT image of the patient is analyzed before surgery. Then the sinuses and surrounding important structures such as skull base or optic nerve are segmented respectively to build 3-D organ models. At the time of surgery, when a surgeon inserts stereo endoscope in patient's nose, 3-D organ models are superimposed on an endoscopic monitor with perspective view. That is to say, back side of a surgical field can be looked through. Surgical field is recognized more intuitively. The system is considered useful to support safe surgery. It can be also used as an excellent tool for education

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成22年度	1,100,000	330,000	1,430,000
平成23年度	1,000,000	300,000	1,300,000
平成24年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：医学

科研費の分科・細目：耳鼻咽喉科学

キーワード：鼻、副鼻腔、手術、ナビゲーションシステム、立体内視鏡

## 1. 研究開始当初の背景

鼻副鼻疾患とくに慢性副鼻腔炎に対する内視鏡下鼻内手術(以下ESSとする)は、現在広く普及し、良好な術後成績を収めている。しかしその一方で、眼窩壁損傷や前頭蓋底損傷などの手術時副損傷があとを絶たない。眼窩壁損傷は、しばしば内直筋損傷を伴う重大なインシデントである。副損傷が発生する理由は、副鼻腔が頭蓋、眼窩また視神経などの重要な臓器とわずか1mm以下の薄い骨を隔てて接するという解剖学的な特徴による。副損傷を来さないための手術手技やトレーニングシステムの構築は、耳鼻咽喉科医にとっては喫緊の課題である。

このような状況の中、1990年代よりナビゲーションシステムがESSで使用されるようになった。術者は、術野のオリエンテーションを、眼窩壁や頭蓋底など周囲構造との位置関係と合わせて認識する事ができ、手術操作が安全かつ円滑に行われるようになった。しかし現在のナビゲーションシステムの画面表示(CT)は、水平断、前頭断および矢状断の3方向に再構築されているものの、基本的には2次元的な座標表示である。これらの二次元的な位置情報をもとに、術者は頭の中で術野のオリエンテーションを3次元・立体的に構築しイメージしなおす必要があるが、この作業は熟練を必要とする。

そこで我々は、立体視が可能な硬性内視鏡(以下、立体内視鏡とする)と、その立体画像を支援する新しい手術ナビゲーションシステムを開発した。すなわち、立体内視鏡が表示する3次元画像に、術野のオリエンテーションも3次元で重畳表示できるステレオナビゲーションであ

る。我々はすでに、本システムを用いてESSを施行し、従来のナビゲーションと比較して立体的にオリエンテーションが認識できることを確認しえた。ただし、表示画像の誤差の存在、遠近感とくに奥行き感が今一つ欠ける事、斜視鏡画像への重畳表示ができない事、機器のセットアップや術前画像解析の煩雑さなど、まだ様々な欠点・問題点があった。

## 2. 研究の目的

立体内視鏡画像に患者副鼻腔および周辺臓器の3次元グラフィックモデルを重畳表示するステレオナビゲーションシステムを改良し、術者がより直観的に術野のオリエンテーションを認識できるようにする。とくに、奥行き方向への遠近感表示を向上させる。また、70°斜視鏡画像上でのステレオナビゲーション表示を可能にし、ESSで最も難しい前頭洞へのアプローチより安全・的確にする。

本研究の成果により、今までは一部の熟練した術者でなければ施行できなかった難しい手術も、より多くの術者が安全に施行できるようになると考える。また本邦では、毎年非常に数多くの鼻副鼻腔疾患症例が、手術療法の適応と診断され、ESSをうけている。国内の医療施設ならどこでも同様に、標準レベルの手術が施行できるようになる事は、社会的に大変意義があり、これを本研究の最終的な目的とした。

## 3. 研究の方法

手術は、東京慈恵会医科大学第三病院内に設けられたハイテクナビゲーション手術室で行なわれた。本手術室には、立体視やステレオナビゲーション画像の支援システムが

常設されている。ステレオナビゲーションシステムは、1) 立体内視鏡、2) 術野やプローブの3次元的位置を計測する装置、および3) 立体内視鏡の画像をキャプチャし、その画像上に患者の3次元画像情報を重畳表示するGraphic workstationから構成される。

以下に、システムを概説する。

#### (1) 立体内視鏡

手術に使用する立体内視鏡は、1/6インチCDを内視鏡内に組み入れ、左右一対の撮像系を有する二眼二カメラ式内視鏡である。画像表示はこの2視野から得られたものを合成した立体画像となる。外径は5.4mmで有効長が30cm、重さは200gである。また焦点は内視鏡先端より20~25mmである。液体シャッター式軽量偏光眼鏡を装着して専用モニターを見ると、鼻副鼻腔内が立体視できる。

#### (2) 3次元位置計測装置

3次元位置の計測には、光学式計測装置(OPTOTRAK, Northern Digital Inc.)を用いる。立体内視鏡と患者の頭部に reflecter を装着し、それぞれの位置関係を光学式計測装置が計測し、モニターに表示する。すなわち本システムは、立体内視鏡の位置に連動する endoscopy based navigation である。

#### (3) Graphic workstation

まず術前に、患者副鼻腔のCT画像を解析する。CT装置はSIEMENS SOMATOM Sensation 16を使用した。CTから得られたデータをもとに、医用画像処理ソフトANALYZE (Mayo Foundation)を用いて、篩骨胞、後篩骨洞、蝶形骨洞、鼻甲介など鼻副鼻腔内の構造物と、眼窩内側壁、前頭蓋底、視神経、内頸動脈など周囲の重要構造物をそれぞれ抽出(segmentation)する。嚢胞や腫瘍などの病

変を segmentation することもできる。segmentationは、水平断CT、前額断CT、矢状断CT、いずれでも行える。さらに、segmentationした構造物は、緑色や紫色などに色付け(color coding)し、Graphic workstation (GWS, OCTANE MXE, Silicon Graphics Inc.)に入力する。この操作により、注目すべき構造物を周囲の組織から分離して、独立した3次元臓器モデル(3D organ model)として扱える。また必要な構造物だけを segmentation する事はデータ量の削減につながり、リアルタイム処理を容易にする。

実際の手術時、立体内視鏡を患者鼻腔に挿入すると、OPTOTRAKからの情報に基づいて、GWSが立体内視鏡画面上に3D organ modelを重畳表示する。3D organ modelは透亮像として表示されるので、modelの後方の空間や構造物も立体内視鏡下に観察できる。

我々はさらに、3次元オリエンテーションが客観的にも認識できるよう、以下のサブモニターも作製し、立体内視鏡モニターの横に併設した。

#### (4) サブモニター

通常2次元CT画像上に、3D organ modelを重ねて表示するナビゲーションモニターである。サブモニターでは、鼻腔に挿入したポインター先端の位置における前額断、水平断および矢状断CT画像が、3D organ modelとともに表示される。ポインターには reflecter が装着されており、患者頭部の reflecter との位置関係を OPTOTRAK に計測させる。すなわちサブモニターは、CT画像と3D organ modelがポインターの位置に連動する pointer based navigation である。

サブモニター上のCT断面は、任意の軸で360°自由に回転させることができる。また、表示する断面も任意に選択できる。通常は、

前額断と水平断 CT 画像をやや右方向に回転した状態で 3D organ model と重ね合わせた表示方法が、オリエンテーションを最も客観的に認識しやすい。

以下に、システムの使用方法を記載する。

まず手術前に、システムのレジストレーションを行う。すなわち、患者の顔面皮膚 9 点（鼻唇溝、両側鼻翼、両側内眼角、両側外眼角、両側耳垂）のリファレンスポイントを用いて、システム内に入力した患者 CT 画像とマッチングさせる。この時点で、システムの誤差は 3 mm 以内である。誤差が 3 mm 以上生じている場合は、マッチングを再度行う。

レジストレーションが完了したら、術者は偏光眼鏡を装用し、立体内視鏡で術野を観察する。例えば、蝶形骨洞の 3D organ model を作成しておけば、内視鏡で後部篩骨洞を観察すると、その内側下方に model が重畳表示される。また嗅裂を観察すれば、後下方に model が重畳表示される。3D organ model は任意に重畳表示できるので、必要に応じて視神経管や内頸動脈の 3D organ model も同時に表示する。また、サイドモニターでは、ポインター先端の位置から蝶形骨洞後壁や視神経管までの距離や方向が客観的に確認できる。



なお、本手術の実施にあたっては、学内倫理委員会の承認をえて、さらに患者からも同

意を得ている。

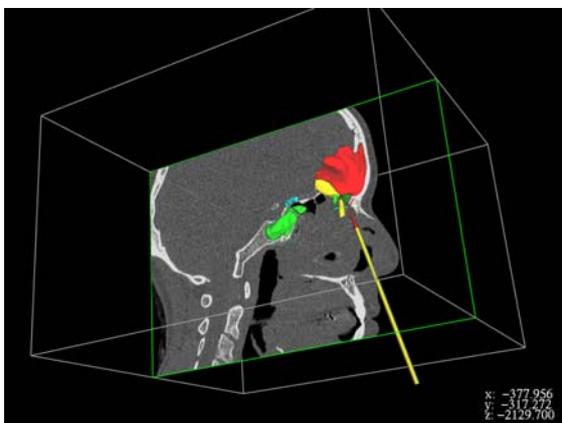
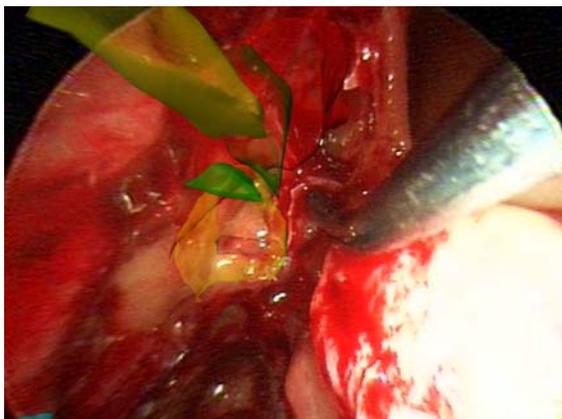
#### 4. 研究成果

我々が開発したステレオナビゲーションシステムでは、術者が適宜、副鼻腔および周囲の各構造物の 3D organ model を、立体内視鏡の画面上に重畳表示する。またサイドモニターは、3D organ model と術野との位置関係を、CT 画像上に表示する。重畳表示機能により、術者は内視鏡で観察している術野、例えば骨壁や病的粘膜の背面の構造を、その内視鏡画像の中で立体的かつ直感的に透見することができる。一方、立体内視鏡画像上では、3D organ model は前方からしか観察できないが、サイドモニター上では、3D organ model を側方や上方からも観察できる。したがってポインターの位置と臓器までの距離や方向、また臓器同士の前後関係や術野の奥行きが客観的に正確に確認できる。従来のナビゲーションシステムよりも、術野や病変部位のオリエンテーションが理解しやすい。このようなナビゲーションシステムは全く新しいシステムであり、有用性が高いと考える。例えば、蝶形骨洞自然口が閉鎖している症例では、蝶形骨洞前壁骨を穿破するための最も安全な点を内視鏡画面上で直感的に知ることができる。穿破部位を拡大することが可能な範囲も直感的に理解できる。また同時に、蝶形骨洞後壁までの距離や方向が客観的にわかるため、穿破や拡大時のリスクも認識できる。

本システムで実際に手術を施行してみると、3次元臓器モデルの遠近感がやや乏しい印象があった。そこで、color coding を改良し辺縁を強調して内部を透見させる事で、奥行き方向への遠近感表示および立体内視鏡モニター上での描出を向上させた。また coloring 自体にも改良を重ね、臓器・構造物の色分けを主に黄色、赤、青を基調にし、内

視鏡画像に重畳表示させた時にそれぞれの3次元モデルが干渉しあわないような表示が可能になった。

またさらに、これまでの研究では、直視鏡のみが症状表示システムに対応できていたが、30°前方斜視鏡の画像上にも3次元臓器モデルを重畳表示させることにも成功した。これにより、斜視鏡下でのステレオナビゲーション表示も可能となったため、ESSにおいて最も難しくまた副損傷も多い前頭洞へのアプローチが、的確に支援されるようになった。前方斜視鏡下前頭洞手術時の重畳表示画像と、サイドモニター画像を以下に提示する。前者が直感的に手術野を理解するための画像で、後者は客観的に術野を理解するための画像である。両者を組み合わせることで、オリエンテーションのイメージが格段に理解しやすくなった。



さらに我々は、30°前方斜視鏡の先端に2つのCCDカメラを装着させた立体斜視鏡を開発した。今後は斜視鏡下のステレオナビゲーション手術をさらに進めていきたい。

本システムはさらに、レジデントの教育にも有効に活用できると考える。手術アシスタントや見学しているドクターも、偏光眼鏡を装着すれば、立体内視鏡画像と3D organ modelを術者と同様に立体的に観察できる。これは、2次元的なCT画像を見て、術野を立体的にイメージしなおす、という重要な作業のトレーニングになる。もちろん、普段は平面的な内視鏡モニターで観察している鼻副鼻腔の構造を、立体的に認識できる機会にもなる。レジデントにとっては、内視鏡下での鼻副鼻腔解剖の理解が深まり、手術手技のトレーニングも、より効率よく行えるのではないかと期待する。

一方で、本システムの課題として以下の事項が挙げられる。まずは、誤差が生じる可能性である。本症例では、術中の誤差が約mm生じていたが、この誤差はさらに、reflector装着のずれやレジストレーション時のずれ等により大きくなる可能性がある。今後、器械の精度をさらに向上させる必要がある。

次に器械のセットアップのために手術時間が延長する事も課題である。本症例ではreflectorの装着やポインターのセッティング、またregistrationのために要した時間は約15分であった。さらに、手術前日までに行った各3D organ model作成のため、CT画像のsegmentationに1時間を費やした。これも含めて、手術の準備作業の簡素化・時間短縮も今後の課題である。

もう一つの課題は、3D organ modelは術前CTから作成されているために、術中の形態の変化にmodelの形態が対応できないこと

である。これは、従来のナビゲーションシステムに対しても指摘されている事項である。術中に CT を撮影し、ナビゲーション画像を更新するという対応策が報告されている。しかし、我々のシステムでは、術中に CT を撮影しても 3D organ model の更新を手術室で行うことは難しい。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

1. 飯村慈朗, 鴻信義, 服部麻木, 他: ステレオナビゲーションシステムを用いた立体内視鏡下鼻内手術. 耳展 54, 342-345, 2011.

[学会発表] (計 4 件)

1. Otori N: Endoscopic frontal sinus surgery -key points for safe and proper operation-. 34<sup>th</sup> Advanced endoscopic sinus surgery course. Beijing. March, 2013.

2. Otori N: Development of high-tech navigation system in endoscopic skull-base surgery -stereo navigation and intra-operative update of CT image-. First SNU-TJU Endoscopic skull base surgery symposium. Seoul, September 23<sup>rd</sup>, 2012.

3. 鴻信義: 次世代 ESS -教育と新技術-. 第 74 回耳鼻咽喉科臨床学会. 東京, 2012 年 7 月 6 日.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:

権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

鴻信義 (OTORI NOBUYOSHI)  
東京慈恵会医科大学・医学部・准教授  
研究者番号: 90233204

(2) 研究分担者

服部麻木 (HATTORI ASAKI)  
東京慈恵会医科大学・医学部・准教授  
研究者番号: 90233204

松脇由展 (MATSUWAKI YOSHINORI)  
東京慈恵会医科大学・医学部・講師  
研究者番号: 60287290

飯村慈朗 (IIMURA JIROU)  
東京慈恵会医科大学・医学部・講師  
研究者番号: 60317930

吉川衛 (YOSHIKAW MAMORU)  
東京慈恵会医科大学・医学部・講師  
研究者番号: 50277292

(3) 連携研究者

なし