

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：32651

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25462667

研究課題名(和文) 立体画像ナビゲーションシステムを用いた新しい内視鏡下鼻副鼻腔手術術式の研究

研究課題名(英文) Development of brand-new endoscopic sinus surgery by the use of stereo navigation with superimposed display system.

研究代表者

鴻 信義 (Otori, Nobuyoshi)

東京慈恵会医科大学・医学部・教授

研究者番号：90233204

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：より高度かつ安全な内視鏡下鼻副鼻腔手術を目指し、立体画像ナビゲーションシステムを開発した。まず病変部位および眼窩壁や頭蓋底など周囲の重要な構造物を術前CTより立体的に抽出し、さらに色付けもして立体臓器モデルを作成する。手術時には、立体内視鏡画面上に立体臓器モデルが重畳表示される。すなわち術者は、術野の後方が透見できる。本システムの利用により、特に前頭洞と上顎洞病変に対する斜視鏡下手術において、術野とその周辺解剖がより直感的に認識できた。本システムはこのように、正確な手術操作を支援することを確認した。また若手医師や医学生の教育において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 brand-new endoscopic sinus surgery by the use of stereo navigation with superimposed display system, for more advanced and safer instrumentation. At first, lesion and surrounding important structures including medial orbital wall and skull-base are extracted to create 3D organ models. These models are, moreover, color-coded. At the time of the surgery, 3D organ models are superimposed on the stereo endoscope monitor. That is to say, surgeon can obtain the see-through view of the lesions and surrounding important organs.

By the use of this system, especially frontal and maxillary sinus surgeries with angled telescope, surgical field and surrounding anatomical structures were recognized more intuitively. We, therefore, confirmed this high-tech system supports surgeon's accurate operation. We also confirmed that the system is useful for the education of medical students as well as young doctors.

研究分野：耳鼻咽喉科学

キーワード：副鼻腔炎 手術 内視鏡 ナビゲーション 鼻

## 1. 研究開始当初の背景

鼻副鼻疾患内視鏡下鼻内副鼻腔手術 (Endoscopic Sinus Surgery, 以下 ESS とする) は、とくに慢性副鼻腔炎に対する第一選択の術式として広く普及し、良好な術後成績を収めてきている。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。とくに眼窩壁損傷は、しばしば内直筋損傷を伴い、眼球運動障害あるいは視力障害までも生じうる重大なインシデントである。近年、内視鏡画像がますます鮮明になってきているにもかかわらず、その発生頻度は逆に増加してきている感すらあった。このような重篤な副損傷が発生する理由のひとつは、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。また、術中の内視鏡視野のオリエンテーションを、とくに斜視鏡下では誤って認識しやすいということ、さらに病変の吸引と削開を同時に行う高速回転切除装置であるマイクロデブリッダーの不適切な使用が副損傷の重大さに拍車をかけていた。副損傷の予防や対処に関する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と考えられた。

1990 年代より、術野の位置をリアルタイムで術者に提供する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、病変の存在部位を、内視鏡視野全体のオリエンテーションの中で眼窩壁や頭蓋底など周囲構造物と合わせて位置関係の認識が可能になり、手術操作が安全かつ円滑に行われるようになった。しかし市販されている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 2 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、この作業は決して易しいものではない。

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。ステレオナビゲーションでは、術者が必要に応じて、立体内視鏡の画面上に術前 CT 画像より作成した篩骨洞や蝶形骨洞の構造、眼窩壁や頭蓋底また視神経や内頸動脈などの立体構造をグラフィックモデル (以下、3D organ model) として重ね合わせて表示 (重畳表示) させられる。術者は術野を 3 次元・立体的に認識でき、例えば骨壁や軟部組織の裏面の状態を透見する事ができる。また同時に、眼窩壁や頭蓋底などの「手術中に越えてはならない一線」が内視鏡画面上で確認できるため、術者は「その一線を越えない範囲で最大限の鉗子操作」を行えばよい。

すでに、本システムを用いて数十例以上の ESS を施行し、従来のナビゲーションと比較してはるかに直観的にオリエンテーションが認識できることを確認していた。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ず、ESS の中で最も難しい前頭洞へのアプローチに利用できない事、機器のセットアップや術前画像解析の煩雑さなど、まだまだ欠点・問題点が多かった。

## 2. 研究の目的

本研究では、すでに構築され実用化もされていたステレオナビゲーションシステムを改良し、欠点・問題点を解決することを目的とした。とくに、奥行き方向への遠近感表示を向上させ、最後部副鼻腔～頭蓋底領域でのより高度な手術操作を実現する事。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、また疾患としての頻度も多い術後性上顎洞嚢胞を開窓する際の鉗子操作を、より安全・的確にする事を目的とした。

これまで立体内視鏡の研究・開発は数々なされてきたが、実用化され一般に使用されているものは数少ない。我々の開発した左右一対の撮像系を有する二眼二カメラ式立体内視鏡は、従来の立体内視鏡よりはるかに高品質である。立体内視鏡画像とステレオナビゲーションの重畳画像表示は、まだ国内外を問わず我々の報告以外にはない。まったく新しいコンセプトの手術支援画像である。ステレオナビゲーションシステムの開発・改良は、現行のESSあるいはナビゲーション手術に対して我々耳鼻咽喉科医師が不満に感じていることを解決する方法でもある。

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、より多くの術者が施行できるようになると考える。また、ステレオナビゲーションシステムは手術教育にも非常に有効で、例えば若手医師が本システムを使用すると、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効率が飛躍的にあがると期待できる。さらに、副損傷の危険部位である眼窩壁や前頭蓋の位置が内視鏡画面上に直接表示されるため、安全にESSを行うという最も重要な点においての有効性が極めて高い。

以上、診療面と教育面と、2つの側面よりそれぞれ本研究の意義と目的を記載した。

### 3. 研究の方法

#### 1) 立体内視鏡および専用モニターの準備

手術に使用する二眼二カメラ式立体内視鏡はこれまでは直視鏡のみであったが、前頭洞および上顎洞病変に対してステレオナビゲーション手術を行うため、70°前方斜視鏡も同様の方式で立体内視鏡化する。偏光眼鏡を装着して立体内視鏡専用モニターを見ると、鼻副鼻腔内が立体視できる。

#### 2) 手術対象症例の選定

年齢、性別に関係なく、ESSの適応である慢性副鼻腔炎および副鼻腔嚢胞の患者に対し、本研究の目的と有用性また危険性について説明し同意が得られた患者のみを対象とする。

#### 3) 術前CT画像の解析

術前に撮影された副鼻腔CT画像を慈恵医大高次元医用画像工学研究所にて解析する。CT画像の中から各副鼻腔とくに後部篩骨洞と蝶形骨洞、前頭洞、眼窩内側壁、視神経、内頸動脈などの重要構造物をセグメンテーション(抽出作業)し、それぞれ色付けして3D organ modelとする。色付けは遠近感表示に大きく関与しており、様々な色の組み合わせを試し、とくに奥行き感が向上するよう、辺縁を強調して内部を透過させ、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る。また、セグメンテーションを自動的に行えるようコンピュータを改良する。

#### 4) ステレオナビゲーションシステムの改良

ステレオナビゲーションシステムは、立

体内視鏡、光学式三次元位置計測装置、患者臓器の 3D organ model を重畳表示して立体視を可能にする Graphic workstation から構成される。

プローブに装着したマーカーはプローブ先端の位置計測に用い、プローブ先端と各部位との距離は術者に数値として提示できるようにする。また、プローブ先端と重畳表示させている病変部位や周囲の解剖学的危険部位などとの距離が設定した値以下になると、術者に警告を与える機能を付加する。

これまでに開発してきたシステムでは精度がまだ不十分であり、誤差は 1, 2mm から 10mm 以上と不安定である。レジストレーション方法とマーカーの固定方法を改良し重畳表示の精度を向上させる。また、これまでのシステムでは遠近感表示が不十分な事に対しては、サイドモニターを準備し、2次元的な前額断 CT 画像に 3D organ model を重畳表示させ、ステレオナビゲーション画像とリンクさせる。これにより術者は、術野のオリエンテーションをステレオナビゲーション画像で直観的に、またサイドモニターで奥行き・遠近を客観的に認識できる。

#### 5) 本術式の実施と結果の解析

手術を実際に施行するごとに、それぞれの問題点と実行しえた点、到達できた目標とともに検討する。その後さらに症例数を増やしていくさいにも、手術時のナビゲーションの使い勝手、使用状況、また問題点などを術者の印象とともに記録・保存する。また、手術後の臨床経過を観察し、新しい手術支援画像システムが術後成績に与える影響を調べる。手術時の副損傷があれば、もちろんこれも記

録する。ナビゲーションシステムに付加させたい新しい機能が他にもないかどうかを検討する。

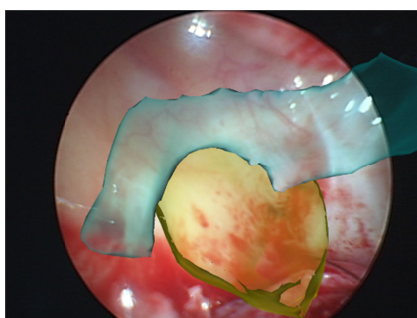
#### 4 . 研究成果

これまでに我々が開発してきた新しいコンセプトの手術支援機器であるステレオナビゲーションシステムは、副鼻腔内とその周囲に存在する各構造物の 3D organ model を、立体内視鏡の画面上に重畳表示することができる。また、重畳表示モニターの横に併設したサイドモニターでは、3D organ model と術野との位置関係を、CT 画像上に表示する。

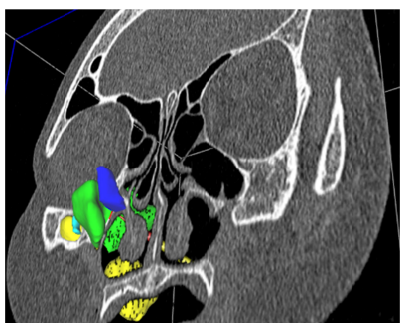
重畳表示機能により、術者は内視鏡で観察している術野の(本来は見る事ができない)背面にある構造や状態を、その内視鏡画像の中で立体的に透見することができる。このイメージは、通常のナビゲーションモニターで得られるオリエンテーションの情報よりもはるかに直感的である。一方、立体内視鏡画像上では、3D organ model は内視鏡の視野方向の延長上でしか観察できないが、サイドモニター上では、3D organ model を側方や上方からも観察できる。したがって、ナビゲーション用のポインター先端の位置と臓器までの距離や方向、また臓器同士の前後関係や術野の奥行きが客観的に正確に確認できる。従来のナビゲーシ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飛躍的に理解しやすくなり、実臨床において非常に有用性が高いと考えられた。

さらに我々は、30°前方斜視鏡の先端にも dual CCD カメラを装着させた立体斜視鏡を開発・改良した。また、立体直視鏡と立体斜視鏡の双方の切り替えが問題なくスムーズに行えた。その結果、本術式が斜視鏡下の前頭洞手術と上顎洞手術にも応用できるようになった。例えば、多胞性の術後性上顎嚢胞に対する ESS (嚢胞開窓術) においては、複

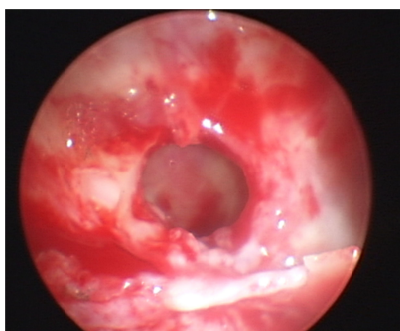
数存在する嚢胞とその上方を走行する下眼窩神経を 3D organ model とし斜視鏡画面上に重畳表示された。このような症例に対する ESS では通常、平坦な下鼻道側壁粘膜を観察しながらどこに嚢胞が位置しているのかを予想して開窓するが、重畳表示画面およびサイドモニター画面を参照しながら神経を損傷することなく、非常に速やかに嚢胞を穿破しさらに嚢胞壁を開大して十分な開窓手術を行えた。



(図1：内側の嚢胞を開窓した後、斜視鏡画面上に重畳表示させた外側の嚢胞と下眼窩神経の位置表示)



(図2：図1の症例におけるサイドモニター上での各嚢胞と神経の位置表示)



(図3：図1の症例において外側の嚢胞も開窓した後の斜視鏡画面)

3D organ model の重畳表示には、遠近感がまだ乏しい印象があった。そこで、それぞれの臓器に色付けをする color coding に工夫を加えた。すなわち、辺縁を強調して内部を透見させるパターンとし、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できるようになった。

サイドモニターに関しては、ナビゲーションポインターの形状が不十分で、外側や上方に存在する嚢胞あるいは周囲構造に対しては、ナビゲーション操作が必要十分に行えていなかった。このため、ナビゲーションポインターの先端及び胴中の形状を改良し、上顎洞あるいは前頭洞病変に対する斜視鏡下手術により支障なく対応できるようにした。

研究開始時に本システムにはまだ 1, 2mm から症例によっては 10mm 以上の誤差が生じていた。誤差発生の主たる原因はレジストレーション作業の煩雑さ、術中のナビゲーションに用いる光学式位置計測装置及び患者頭部と内視鏡手元に装着したリフレクターのずれ、さらにはポインターのわずかなしなりあるいはリファレンスフレームの歪みと考えた。そして、これらの問題点に対してマイナーチェンジを加えたが、残念ながらまだ誤差の問題は解決ができておらず、かなり精度の高い症例もあれば、術中に誤差が少しずつ大きくなってしまった症例まであり、安定性を欠いていた。3D プリンターで作成したファントムなどを用い、誤差の解消に向けた細かな改良がこれからの大きな課題と考える。

本システムはさらに、耳鼻咽喉科若手医師、さらには医学生の教育にも有効活用ができる。手術時の助手として参加している場合は

もちろん、見学のみで手術室にいるときであっても、偏光眼鏡を装用すれば立体内視鏡画像と 3D organ model を術者と同様に重畳かつ立体的表示で観察できる。このようなハイテク画像を通して鼻副鼻腔及び周辺臓器を観察することで、逆に、普段の ESS において、2 次元的な CT 画像と従来の内視鏡画面を基に立体的なイメージを頭の中で構築するための重要なトレーニングになる。若手医師と学生にとって、鼻副鼻腔の内視鏡解剖の理解が深まり、手術手技の習得もより効率よく行えることが期待できる。

#### 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) Suzuki N, Hattori A, Limura J, Otori N, et.al: Development of AR surgical navigation systems for multiple surgical regions. Stud Health Technol Inform 196; 404-408, 2014.

[学会発表](計4件)

- 1) 鴻 信義. (教育セミナー). ESS:基本手技とその適応、副損傷の対処法. 第 54 回日本鼻科学会. 広島. 2015 年 10 月.
- 2) Otori N. (Special lecture). Image guided sinus surgery and the future. HANA ENT hospital 20<sup>th</sup> anniversary international symposium. Seoul (Korea). April, 2015.
- 3) 鴻 信義: コンピュータ支援外科における最近の進歩 -鼻科領域におけるナビゲーション手術の現状と今後の展望-. 日耳鼻 2014; 117:775-781.
- 4) 鴻 信義. (シンポジウム) 先進的鼻副鼻腔内視鏡手術 -鼻副鼻腔腫瘍に対する ESS および手術支援システムの開発と今

後の展望-. 第 52 回日本鼻科学会. 福井.  
2013 年 9 月.

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計0件)

なし

取得状況(計0件)

なし

[その他]

ホームページ等

なし

#### 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・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

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

和田 弘太 (KOTA WADA)

東邦大学・医学部・准教授

研究者番号: 50277292

(3)連携研究者

なし