

令和 2 年 7 月 16 日現在

機関番号：84412

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K16618

研究課題名(和文)ヴァーチャルリアリティ技術を用いた胸腔鏡下縦隔腫瘍手術シミュレータの開発

研究課題名(英文)Development of a virtual reality simulator for thoracoscopic mediastinal surgery

研究代表者

櫻井 禎子(Sakurai, Teiko)

独立行政法人国立病院機構近畿中央呼吸器センター・その他部局等・外科

研究者番号：80760496

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：内視鏡外科手術は、小さな創からカメラや鉗子を体腔内へ挿入して行う。大きな創の手術に比べて操作が制限されるため、手術前の模擬(シミュレーション)による計画や訓練が重要である。PASS-GEN(三菱プレジジョン社)を応用し、縦隔腫瘍3例と胸壁腫瘍3例のCTデータから、手術野のヴァーチャルリアリティ(VR)立体動画画像を作成し、内視鏡と鉗子の最適な挿入位置を、PC画面上の胸壁の上で模擬(トロカシミュレーション)した。VR画像は実際の術野をよく再現しており、手術計画に有用であった。とくに希少な非定型的手術の際に、立体的イメージをもとに情報共有することができ、安全、確実な手術実施に有効であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

安全な内視鏡外科手術の実施のため、手術シミュレータによる術前の手術模擬やトレーニングは極めて重要である。本研究では、適切な鉗子の位置の探索(トロカシミュレーション)に的を絞り、術中の変形や変位の少ない縦隔や胸壁疾患を対象にすることで、早期実現を目指した。患者個々のCT画像データを用いることで、より実際の手術に即した模擬が可能となり、PCモニター画面上の胸壁のヴァーチャル画像上で、トロカシミュレーションが可能となった。とくに希少疾患に対する手術や、他診療科と協同で行う頻度の少ない手術の際に有用である。また若手外科医の手術トレーニングや、医学生、一般市民への啓発にも応用できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Endoscopic surgery is performed by introducing a camera and forceps through trocars. For safe thoracoscopic surgery, it is essential for surgeons to be trained using practical methods and equipment or to rehearse before operation.

3D virtual images mimicking thoracoscopic views were made by customizing PASS-GEN (Mitsubishi Precision, Kamakura, Japan) for thoracic anatomy using the specific CT image data of each individual patient: 3 mediastinal tumors and 3 chest wall tumors. The scope and other trocars can be located anywhere on the chest wall visualized on the PC monitor. Surgeons can confirm the best position of a scope and trocars, and the corresponding endoscopic views or angle of the forceps are useful to rehearse thoracoscopic surgery. This VR "rehearsal" operation might decrease possible complications during endoscopic surgery, and be useful for training of novice surgeons, education for medical students and staffs as well as edifying patients.

研究分野：呼吸器外科

キーワード：手術シミュレーション ヴァーチャルリアリティ 胸腔鏡手術 トレーニング 縦隔腫瘍 胸壁腫瘍 小児胸腔鏡手術

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

内視鏡外科手術の術前計画や教育・トレーニングのために、virtual reality (VR) 技術を用いたシミュレータが複数市販されている。そのほとんどが、消化器外科手術や婦人科手術など腹部手術が対象である。一方、呼吸器外科領域でもっとも頻度の高い手術術式は肺切除術であるが、実際の手術では患側肺の変形や変位が著しいため、術前の画像データを用いたシミュレーションがきわめて困難で、開発が進んでいない状況である。

一方、呼吸器外科領域の診療対象のひとつである縦隔疾患は、手術中も臓器変形や変位が少ないため、術前の患者画像データを用いた手術シミュレーションが比較的容易と期待できる。我々はこれまで、縦隔領域のリンパ節生検法である縦隔鏡において、ヴァーチャル内視鏡画像を用いた術中ナビゲーションシステム等を提案し、呼吸器外科領域での手術支援システムの可能性を複数報告してきた<sup>1, 2)</sup>。本研究は、これまでの成果をもとに、画像処理が比較的容易と予想される縦隔腫瘍に対する内視鏡下(胸腔鏡下)腫瘍摘出術を対象とした。

適切なカメラやポート位置は、安全な手術操作に大きく影響するが、標的病変の部位や患者の体格などに応じて検討する必要がある。そこで、患者個々のCT画像データを用いることで、仮想内視鏡術野画面を作成し、トロカ挿入から腫瘍摘出まで一連の手術操作を仮想体験できるシミュレーションシステムを作成することを目的とした。

### 2. 研究の目的

呼吸器外科領域のおもな分野のひとつである縦隔疾患に対する内視鏡手術において、VR 技術を用いた手術シミュレータを開発することが本研究の目的である。

縦隔腫瘍摘出術は、一般に側臥位で行われ、カメラや鉗子ポートの位置は比較的自由に選べるが、腫瘍の部位に応じた適切な位置設定が手術操作に大きく影響する。従来は、CTなどの2次元画像をもとに、熟練した外科医が経験に基づいて、腫瘍の部位に応じた適切なカメラやポート位置を選択してきた。しかしながら、とくに胸頂部の狭い領域や大動脈の近傍など、標的の部位によっては、適切なポート位置は定型的でなく、その判断は容易でないことが経験される。目的の第1として、まず患者個々の画像データをもとに、適切なポート位置を術前に模擬できるシミュレーションシステム(トロカシミュレーション)を開発する。

### 3. 研究の方法

本研究では、胸腔鏡手術による縦隔腫瘍摘出術シミュレーションシステムを構築するために、すでに市販されている、腹腔鏡外科手術のための生体モデルデータ生成システムであるPASS-GEN(三菱プレジジョン社)を、胸部臓器にカスタマイズする(臓器抽出やモデル変換などの条件をあらたに設定する)ことで、研究費削減と早期実現を図った。

#### (1) 腫瘍と縦隔臓器の抽出

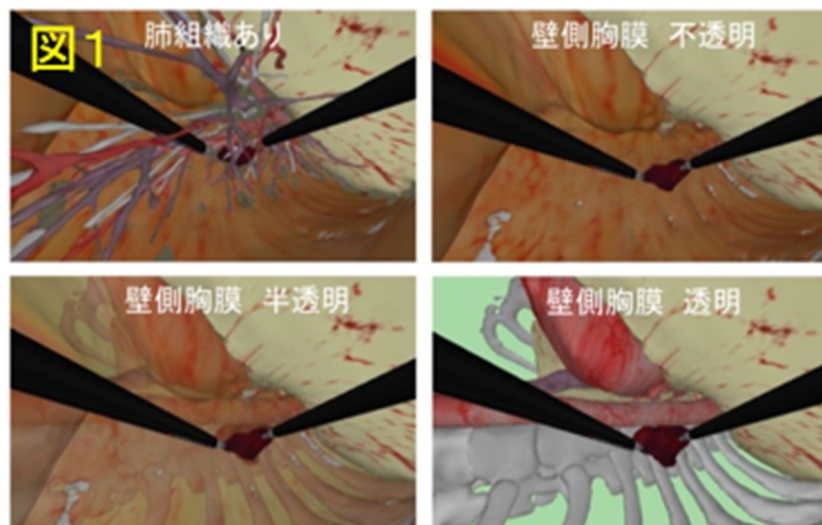
手術予定の患者CTのDICOMデータを用いて、標的腫瘍および胸壁など周辺臓器の3次元臓器形状を抽出し色分けし、実際の手術での術野を実感できるような条件をさがす。

#### (2) 仮想術野画面の作成

上記をもとに仮想内視鏡術野画面を作成し、カメラおよび手術器械(鉗子など)の挿入位置をパソコンモニター画面上に作成した胸壁上で様々に移動させ、視野や鉗子操作性のよい位置が探索できるようにデータ変換する(トロカシミュレーション)。

#### (3) シミュレーションの結果と術野との比較

上記のシミュレーションシステムで想定したポート位置と、実際の手術時に外科医が経験に基づいて(シミュレーション結果とは別に)設定したポート位置を比較した。さらに手術計画を立てるうえでのシステムの有用性と問題点を検討した。



#### 4. 研究成果

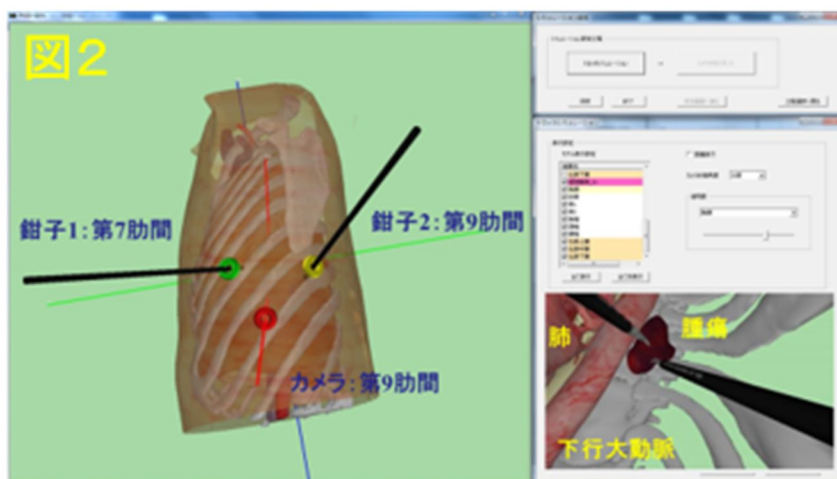
##### (1) 腫瘍と縦隔臓器の抽出

CTのDICOMデータから、腫瘍と胸壁など周辺臓器の3次元臓器形状を抽出し色分けした。左後縦隔腫瘍での例を示す(図1)。モデル変換により胸膜を半透明化することで、実際の手術操作を実感できるような条件を検索し決定した。図1での左下の条件が最も実際の術野に近似していた。

##### (2) 仮想術野動画の作成

上記をもとに仮想内視鏡術野画面を作成した。仮想画像(動画)を見ながら、パソコンモニター画面上に作成した胸壁上で、カメラおよび手術器械(鉗子など)の挿入位置を様々に移動させることで、手術操作に適切なトロカ位置の選択を模擬することが可能になった(トロカシミュレーション)。後縦隔腫瘍の1症例の画像データを示す(図2)。胸腔内に挿入した鉗子(図2左)が、術野ではどのように移動するかを、内視鏡術野画像(図2右)で模擬することができる。この症例では、下行大動脈と腫瘍の立体的な位置関係を実感することで、適切なトロカ位置を検討することができた。

これまで、6例(縦隔腫瘍3例、胸壁腫瘍3例)で同様の仮想内視鏡術野画面を作成し、手術前にトロカシミュレーションすることができた。

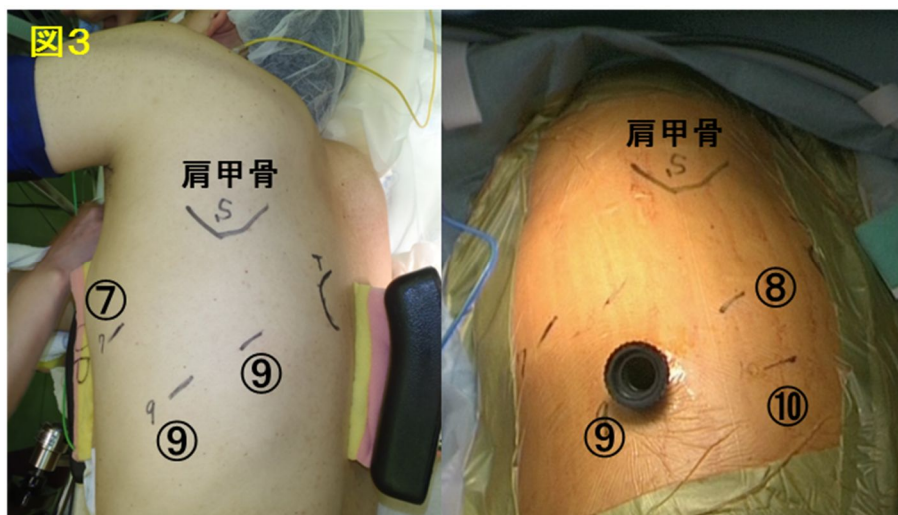


##### (3) シミュレーションの結果と術野との比較

6例でトロカシミュレーションを行った結果、術前シミュレーションにより適切と思われたトロカの位置と、実際の手術時に設定した位置は、概ね一致しており、本システムが実際の術野をよく模擬していると考えられた。

##### 斜視鏡の設定追加

6例のうち左後縦隔腫瘍の1例では、実際の手術では、胸腔内を観察後、術者の判断で、二つの鉗子孔を、1肋間尾側やや後方に設けることが最適と判断し手術が行われた。シミュレーションの結果と一致しなかった原因のひとつは、当初カメラを直視と設定していたことが考えられたため、以降の実験では、手術に即して30度斜視の設定を追加した(図3)。



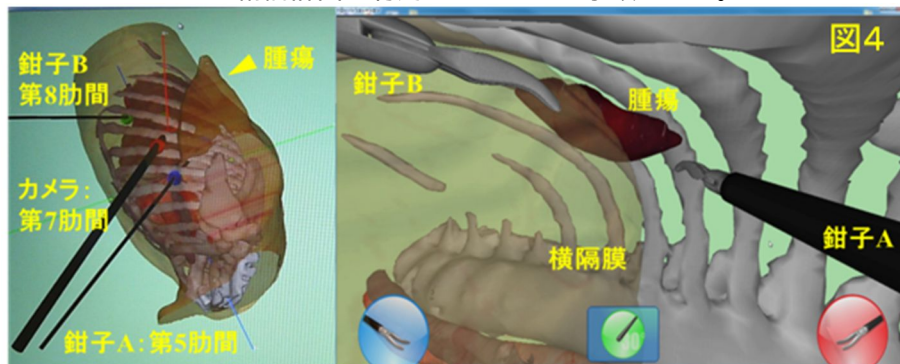
<図3> 左: トロカシミュレーションによるトロカの位置、右: 手術時の術者の判断によるトロカの位置



右後胸壁、第9肋間を中心とした約5.5cmの胸壁腫瘍の1例(図4)

当初の計画では、縦隔病変を対象としていたが、研究の過程で、胸壁病変への応用も容易と考えられたため、対象に追加することとした。あらたに30度斜視カメラを設定してシミュレーションを行った胸壁腫瘍の結果を示す。

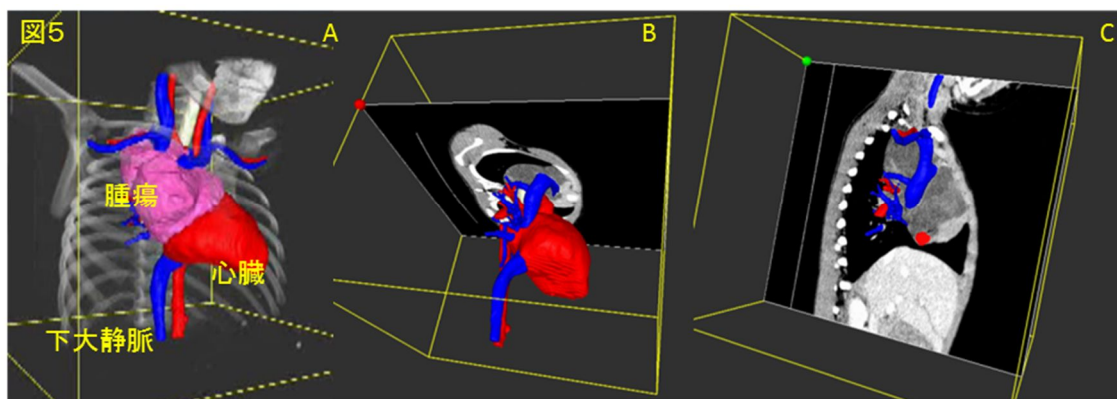
この例では、腫瘍は横隔膜上にあるため、モニターを患者足側に置いての手術を計画した。非定型的な術式だったが、シミュレーションによるカメラと鉗子の位置は、実際の手術で術者が決めた位置とほぼ一致した。術者の立ち位置やモニターの位置が通常と異なる場合では、このようなシミュレーションが術前計画に有用であることが示唆された。



小児胸腔鏡手術の1例(図5)

当院の小児外科チームと協同で行った縦隔リンパ管囊腫の4歳男児の例を示す。PASS-GENの機能を使って、透視立体画像(図5A)に、任意に断面を追加した画像(図5B:水平断;5C矢状断)を作成した。摘出すべき腫瘍と、大血管など周囲臓器との複雑な立体関係が直感的に把握でき、この結果をふまえ、腫瘍右側のくびれから剥離を開始するなど手術操作の計画に有用であった。この症例にも同様にトロカシミュレーションを行った。

小児呼吸器手術では、呼吸器外科医と小児外科医の双方にとって、頻度が少なく、非定型的な操作であり、スケール感や使える器具などまったく異なる。このような複数領域にまたがる手術では、術前シミュレーションを行うことで、互いに情報共有ができ、安全な手術に貢献できると考えられた。



本研究は、ニーズの高い内視鏡外科手術シミュレータの開発に臨んで、画像処理計算が比較的容易な縦隔を対象に絞り(のちに胸壁疾患を加えた)先進的な技術開発を新規に目指すのではなく、腹部領域のシステムを呼吸器領域に応用することにより、呼吸器外科領域における早期実現を目標とした。これまでの成果より、縦隔や胸壁領域の胸腔鏡手術において、VR技術を用いてトロカシミュレーションを行うことができた。とくに非定型的な手術術式や、他領域との協同手術を行う際の、術前の術者間の情報共有に極めて有効と考えられ、内視鏡外科手術の安全性、確実性向上に寄与することが示唆された。本研究の成果をふまえ、最終目標である、トロカの挿入から腫瘍摘出まで一連の手術操作のシミュレーションへの発展が、より現実的になった。

また、これらのVR動画は、いつでもどこでも閲覧することができる。手術室での使用だけでなく、医学生や医療従事者の教育や、さらには一般市民の啓発や情報提供など広く国民に恩恵が及ぶと考えられる。

<引用文献>

- 1) Shiono H, et al. Safer video-assisted thoracoscopic thymectomy after location of thymic veins with multidetector computed tomography. *Surg Endosc* 20:1419–22, 2006.
- 2) Shiono H, et al. Virtual mediastinoscopy for safer and more accurate mediastinal exploration. *Ann Thorac Surg* 84:995–1000, 2007.

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 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 櫻井禎子、楠本英則、塩野裕之
2. 発表標題 鏡視下縦隔手術における患者画像データを用いたVRシミュレーション
3. 学会等名 第35回日本呼吸器外科学会総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塩野裕之、楠本英則、櫻井禎子、米倉竹夫、乾谷徹、長坂学
2. 発表標題 呼吸器鏡視下手術における術前VRシミュレーションの可能性
3. 学会等名 第31回日本小切開・鏡視外科学会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塩野裕之、櫻井禎子、楠本英則、磯野友美、乾谷 徹、長坂 学
2. 発表標題 VR手術シミュレータを臨床でどう評価するか？
3. 学会等名 第18回日本VR医学会
4. 発表年 2018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
研究協力者	塩野 裕之  (SHIONO Hiroyuki)  (20346216)	近畿大学奈良病院・呼吸器外科・教授	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	乾谷 徹  (INUIYA Toru)	三菱プレシジョン・技術開発部 画像技術開発グループ	
研究協力者	長坂 学  (NAGASAKA Manabu)	三菱プレシジョン・技術開発部 画像技術開発グループ	