

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 20 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K19933

研究課題名(和文) 高度な画像認識技術を用いた手術ナビゲーションシステムの開発と臨床応用

研究課題名(英文) Clinical application of surgical navigation system using image-recognition technique

研究代表者

中村 彰太 (Nakamura, Shota)

名古屋大学・医学部附属病院・病院講師

研究者番号：20612849

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は呼吸器外科領域における手術支援のための「高度な画像認識技術を用いた手術ナビゲーションシステムの開発と臨床応用」の実現で、術中に解剖学的重要構造に接近した際にアラーム表示させて手術手技の安全性を向上させるとともに、悪性腫瘍の正確な存在範囲を示し、どの程度距離を稼いで切除できているかを示すといった腫瘍学的な確実性を確保できるように取り組んできた。3Dプリンターでバーチャル手術空間を創出し示した位置とCT画像上の位置一致を図り、そのずれについて補正するシステム作りを行った。アラーム表示するシステム構築に至らなかったが、今後これらを構築し臨床応用できると考えている。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was 'Clinical application of surgical navigation system using image-recognition technique'. This surgical navigation system promise the safety for surgeons by indicating of important vessels, bronchus and nerves intraoperatively. Furthermore, this system also indicates the distance between surgical margin and tumor. We made virtual operation systems using 3D-printing, and measured and recorded those parameter and calculating errors. Although we had difficulties of compensating those errors and of making realtime indicating systems intra-operatively, after overcoming those difficulties we could applying the system for clinical use.

研究分野：呼吸器外科学

キーワード：外科学 解剖学 呼吸器外科学

1. 研究開始当初の背景

胸部悪性腫瘍の外科治療は、心・大血管などの重要臓器に囲まれた危険な解剖学的位置のなかで行わなくてはならない。一方、医療用イメージング装置の発展は目覚ましく、3次元に再構築されたCT画像から血管走行や病変部位を立体的に把握することが可能となった。本研究課題の研究協力者(名古屋大学情報連携統括本部・教授・森健策)らは、CT画像などから内視鏡で観察したかのような画像が得られる仮想化内視鏡システムを世界に先駆け開発し、内視鏡手術ナビゲーションシステムへの応用と臨床展開に精力的に取り組んできた。

本研究で開発するのは、CTとPET/CT画像のデータから、術中に血管・気管支・神経損傷などの可能性がある部位に接近した際に文字と音声や光でアラーム表示させ、悪性腫瘍の正確な存在範囲と切除範囲において腫瘍からの十分なsurgical marginが確保されているかどうかを計測し表示させるナビゲーションシステムである。CT画像から病変領域を画像処理により自動検出する手法は多く報告されているが、呼吸器外科領域においては、病変の存在部位をリアルタイムに知らせ、術中に危険な解剖学的構造物に鉗子等の先端が近づいた際のアラーム機能を有するシステムを開発し臨床展開された報告はない。

本研究課題の研究協力者(名古屋大学森・小田)らは、CT画像などから内視鏡で観察したかのような画像が得られる仮想化内視鏡システムを世界に先駆け開発し、内視鏡手術ナビゲーションシステムへの応用と臨床展開に精力的に取り組んできた。科研費新学術領域研究「計算解剖学」において、上部消化管におけるコンピュータを利用した内視鏡手術支援を実現している。これらの知見から、呼吸器外科領域においても画像情報と実際の術野を高度な画像認識技術を用いて

リンクさせた同時的な解剖学的位置把握が可能ではないかと考えた。即ち、危険な部位に鉗子等の手術器具が接近した際に文字と音声や光でアラーム表示させることと、悪性腫瘍の存在範囲を自動検出し腫瘍からsurgical marginまでの距離を数値で示すことで腫瘍学的に安全な切除範囲を確保できるよう、その範囲を画像に同時に示すことのできるナビゲーションシステムの開発という発想に至った。

2. 研究の目的

「高度な画像認識技術を用いた手術ナビゲーションシステムの開発と臨床応用」を目的とする。また、3Dプリンターによる患者固有臓器モデルとナビゲーションシステムを組み合わせ、個別化術前シミュレーションや術中の立体認識を高めることも目的とする。

3. 研究の方法

(1) 高度な画像認識技術を用いた手術ナビゲーションシステムの開発

手術症例のCT画像を用いて、病変存在範囲や術中に血管や神経損傷などの可能性がある部位をリストアップし、実際に3Dプリンターで3次元像を作成して手作業で危険部位の同定を試みた。

(2) 3Dプリンターで作成した三次元像による仮想手術でナビゲーションシステムを使用し、評価とそれに基づく改良を行う

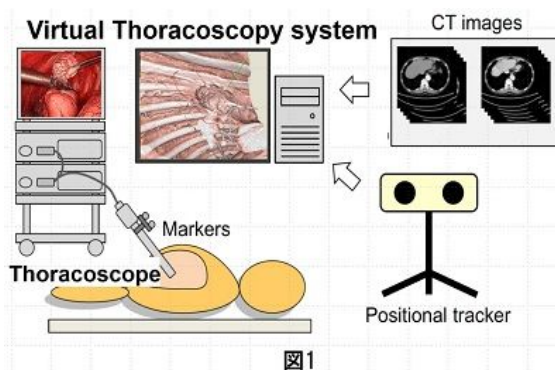
悪性腫瘍の位置や範囲から想定される切除予定ラインを3次元像でマーキングし、その切除予定部位を光学式マイクロセンサーとバーチャルナビゲーションシステムを用いて悪性腫瘍までの距離を自動的に計測し表示して実際の位置と仮想化画像上の位置を比較してその精度を評価した。

4. 研究成果

平成27年度：高度な画像認識技術を用いた手術ナビゲーションシステムの開発

研究協力者(名古屋大学 森・小田ら)が開発したソフト「NewVES」を、胸壁浸潤肺癌

手術症例の術前 CT 画像に用いて、3次元画像上の腫瘍範囲に手作業でマーキングした。手術前の CT 画像上、肺癌の存在部位によっては無気肺が生じている症例があり、その CT 値は肺癌の CT 値と近似していて、これらをコンピュータで自動的に識別するのは不可能だった。造影 CT による脈管の同定は可能だったが、これらを自動的に動脈と静脈にわけてカラーリングすることは不可能だった。また、実際の手術で手術器具が近づくと危険と判断される神経や胸管などは術前 CT 画像上では同定しづらく、これらを自動的にコンピュータで同定して危険部位としてリストアップすることは困難だった。これらの結果から、当初の計画を変更し、コンピュータを応用して可能なナビゲーションへの変更を余儀なくされた。すなわち、「NewVES」を使用して術前 CT 画像から 3次元画像を構築したうえで、手作業で肺癌の存在部位を明瞭にマーキングできた 3症例について、作成した 3次元像を胸腔鏡で観察すると同時に 3次元化した CT 画像を描出できるナビゲーションシステムを開発した。本システムの構成を図で示す(図1)



構成内容は、3次元位置計測装置と仮想胸腔鏡システムからなり、3次元位置計測装置は胸腔鏡の位置を把握するために用いた。仮想胸腔鏡システムは術前 CT 画像を用いて仮想胸腔鏡による術画像を「NewVES」を用いて作成した。仮想胸腔鏡による術画像では、患者のランドマークとカメラ位置による位置情報から、実際の胸腔鏡カメラによる画像と仮

想胸腔鏡による術画像の位置合わせが可能となった。胸腔鏡カメラによる実際の術野と仮想胸腔鏡による術画像の連動システムは 4つの連動システムからなる。術前 CT 画像、光学式 3次元位置計測装置、胸腔鏡鉗子に接続したマーカー、胸腔鏡カメラ、この 4つのパラメータを連動させることにより、実際の胸腔鏡カメラによる画像と仮想胸腔鏡による術画像が連動して同時に描出させることに成功した。3次元像による仮想手術空間で 5ヶ所の解剖学的ランドマークを設定する。このランドマークは CT 画像上で指定しやすい部位を選択した。作成した仮想手術空間上の解剖学的ランドマークが CT 画像と実際の三次元像の間で 7.2mm のずれが生じていた。これは、実際の手術では比較的大きな誤差となって手術マージンに影響するため、これらを補正する必要性が生じた。まず、実寸値の 20%大で作成していた 3次元像を、より明確にマーキングでき、かつわかりやすい解剖学的ランドマークを指定するために 80%大モデルを 3体作成した。改めて仮想手術空間を作成してランドマークのずれを計測し直したところ、CT 画像上と実際の 3次元像の間で解剖学的ランドマークのずれは 2.3mm まで補正することができ、この結果で実際の臨床でも許容できる誤差であると判断した。

平成 28 年度: 3D プリンターで作成した 3次元像による仮想手術でナビゲーションシステムを使用し、評価とそれに基づく改良を行った。

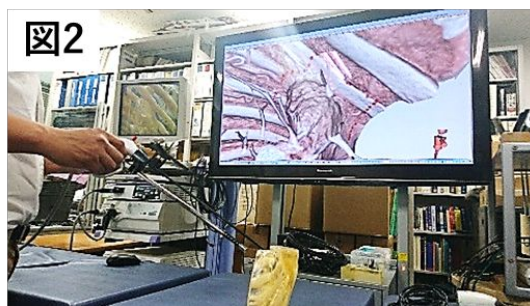
悪性腫瘍の位置や範囲から想定される理想的な切除予定ラインを 3次元像でマーキングした。切除予定ラインと悪性腫瘍までの距離を光学式マイクロセンサーとバーチャルナビゲーションシステムを用いて自動的に計測・表示した。3次元像での操作部位が悪性腫瘍の存在範囲や重要な解剖学的部位に鉗子等が接近した際にアラーム表示させる技術の開発を試みた。今回の研究では、胸壁

浸潤肺癌症例を対象としてナビゲーションシステムを応用した。胸壁浸潤肺癌例は手術体位や分離肺換気による肺虚脱によって腫瘍部位が動かない点で本システムを使用するに適している。術前に撮像された CT 画像を用いて 3 次元画像化し、腫瘍の存在部位を手作業でマーキングした。以下の 2 つの方法で腫瘍学的に確実な切除を可能とするライン表示を試みた。

- (1) ナビゲーションシステムを用いて仮想手術空間上に鉗子を位置させると、腫瘍からの最短距離を表示させる方法。
- (2) マーキングから 2cm 離れたラインをあらかじめ三次元像に表示しておくことによりナビゲーションシステムを用いて仮想手術空間上に鉗子を腫瘍から 2cm 離れた部位に位置させることが容易にできる方法。

方法(1)では、仮想手術空間上で鉗子を切除予定線上に置き、その地点と腫瘍までの距離が 2cm を下回った時に音声や光点滅でアラーム表示させる必要がある。それらのアラーム表示させるシステム構築には、それらを可能とする装置の開発や購入が必要となり、実臨床への応用は方法(2)と比較してより膨大な時間と費用が必要であることが判明したため、方法(2)を重点的に研究開発する方針とした。

方法(2)では、術前 CT 画像から構築した 3 次元像を用い腫瘍部位を手作業でマーキングしておき、マーキングから 2cm 離れたラインをコンピュータで自動的に 3 次元像に表示させるシステム構築に成功した。この 3 次元像と仮想手術空間をナビゲーションシステムで連動させると、手術中に確実なマージンを確保できる切除予定線を可視化することができた(図 2)。



実際の手術では、開胸する前(術前 CT 画像との位置解離が生じる前)に胸腔鏡を挿入し、腫瘍から 2cm 離れた安全な切除ラインを電気メスやチタンフックマーカーなどでマーキングしておくことにより、腫瘍学的に安全かつ確実な切除ラインを術中に把握できることになった。ただし、術前 CT 画像で構築した 3 次元画像と位置のずれが実際の症例ではどの程度あるのかを把握しておく必要がある。これに向けて当院の生命倫理審査委員会に本ナビゲーションシステムの実際の症例での使用について審査を受け承認を得られたが、胸壁浸潤肺癌の頻度は低く、研究期間までに症例登録できず、実臨床での 3 次元画像と実際の胸腔内の解剖学的なずれを計測するに至らなかった。しかしながら、術前 CT 画像から構築した 3 次元像と手術空間を開発したナビゲーションシステムを連動させて、腫瘍学的に安全かつ確実な切除ラインを把握できたので、臨床応用に確実に近づいており、今後実現できると考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

科研費研究成果報告「高度な画像認識技術を用いた手術ナビゲーションシステムの開発と臨床応用」第 12 回名古屋肺癌外科研究会 中村彰太 2017年3月11日、TKP ガーデンシティ PREMIUM 名古屋駅前(愛知県、名古屋市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況（計0件）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 彰太 (NAKAMURA, Shota)

名古屋大学・医学部附属病院・病院講師

研究者番号：20612849

(4) 研究協力者

森 健策 (MORI, Kensaku)

名古屋大学・大学院情報科学研究科・教授

研究者番号：10293664

小田 昌宏

名古屋大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号：30554810