

201438033A

厚生労働科学研究委託費
革新的がん医療実用化研究事業

(委託業務題目)

消化器がん治療における医用画像処理技術を用いた
統合的個別化手術支援システム開発と臨床応用

平成 26 年度 委託業務成果報告書

研究代表者 三澤 一成

平成 27(2015)年 3 月

本報告書は、厚生労働省の科学研究委託事業による委託業務として、愛知県がんセンターが実施した平成26年度「消化器がん治療における医用画像処理技術を用いた統合的個別化手術支援システム開発と臨床応用」の成果を取りまとめたものです。

目次

I. 委託業務成果報告（総括）

消化器がん治療における医用画像処理技術を用いた統合的個別化手術支援システム開発と臨床応用

三澤 一成 1

II. 委託業務成果報告（業務項目）

1. 消化器がん治療における医用画像処理技術を用いた統合的個別化手術支援システム開発と臨床応用

- 術前解剖自動診断システムの基本技術の研究・開発および個別化外科解剖実体モデル作成技術の研究・開発 -

森 健策 6

2. 消化器がん治療における医用画像処理技術を用いた統合的個別化手術支援システム開発と臨床応用

- 術前解剖自動診断システムの基本技術の研究・開発 -

小田 昌宏 9

III. 学会等発表実績 11

IV. 研究成果の刊行物・別刷り 13

消化器がん治療における医用画像処理技術を用いた
統合的個別化手術支援システム開発と臨床応用

研究代表者 三澤 一成 愛知県がんセンター中央病院 消化器外科 医長

研究要旨：本研究の目的は、個々の患者の解剖構造の自動理解といった医用画像処理技術を利用した統合的個別化手術支援システムの開発とその臨床応用である。医用画像処理システムを使用し、消化器癌の術前CT・MRI等の画像から、医用画像認識理解に基づいた詳細な解剖診断支援画像を作成かつ自動認識することにより、術前自動診断システムの構築を目指す。さらに腹腔鏡手術中、内視鏡位置を計測することでリアルタイムに術野に相当する支援画像を提示する手術ナビゲーションシステムの開発により、外科手術を統合的に支援するシステムの開発ならびに臨床応用を目指し、手術の安全性や質の向上、がん治療水準の均てん化へとつなげる。

研究分担者

森 健策

名古屋大学情報連携統括本部 教授

小田 昌宏

名古屋大学大学院情報科学研究科 助教

報酬として認められている。これは術前または術中に得られた画像を3次元構築し、手術の過程において外科医の技術を補助する目的で用いることとされている。

一方、消化器外科の分野では肝臓切除に対してのみ画像等手術支援加算が認められており、それ以外の多くの消化器外科手術には認められていない。この理由の一つとして、とくに消化管など変形が大きい臓器に対する手術ナビゲーションの技術が確立していないことがあげられる。しかし胃癌や大腸癌など消化管癌に対する手術は本邦において最も多く行われている手術であり、また近年腹腔鏡手術の普及に伴い、手術技術の向上に対する要求も高まっていると考えられる。

その意味では、消化管癌を対象とした手術ナビゲーションによる画像手術支援は、ますます高度化する外科治療の安全性と質の向上につながり得る技術である。こういった技術の進歩により、有効なシステムが開発され、中長期的に診療報酬

A. 研究目的

がん治療の主体は手術である。外科医は内科的診断に加え、解剖診断、切除範囲の設定等の術前計画を行い、術中は刻一刻と変わる状況を認識・判断し手術を行う。近年CT等のイメージング・画像処理技術の進歩により、体内脈管構造などを3D画像として描出可能となり、手術時の解剖把握が容易となった。しかし3D画像作成や切除範囲計測が行われる程度であり、3D画像を参照しながらの解剖診断や手術は、外科医個人の経験や能力に大いに依存する。

現在、頭頸部領域・整形外科領域では、手術ナビゲーションによる画像等手術支援加算が診療

として認められることになれば、幅広い普及が見込まれ、外科医の経験と技術に依存していた手術技術の安定化へとつながる。がん医療技術の均てん化の推進に貢献できると思われる。

本研究の目的は、個々の患者の解剖構造の自動理解といった医用画像処理技術を利用した統合的個別化手術支援システムの開発とその臨床応用である。医用画像処理システムを使用し、消化器癌の術前CT・MRI等の画像から、医用画像認識理解に基づいた詳細な解剖診断支援画像を作成かつ自動認識することにより、術前自動診断システムの構築を目指す。さらに腹腔鏡手術中、内視鏡位置を計測することでリアルタイムに術野に相当する支援画像を提示する手術ナビゲーションシステムの開発により、外科手術を統合的に支援するシステムの開発ならびに臨床応用を目指す。

B. 研究方法

当該研究は今年度（平成26年度）から開始された研究である。平成28年度までに①術前病変範囲診断や解剖診断の自動化（平成26年度）②術中血管切離位置決定や腹腔鏡手術ポート位置決定などの手術プランニングシステム（平成27年度）③術中ナビゲーションにより目的とする組織（血管・リンパ節など）の位置を高精度に提示する（平成27・28年度）など各機能を統合した手術支援システムの構築とその臨床応用を行う予定としている。今年度の研究内容を下記に示す。

1. 手術症例における術前画像データ、術中データ取得

次年度以降の術前プランニング、術中ナビゲーションシステム開発のため、本研究における最も基本となる症例データの取得を行う。

a) 術前画像データの取得

おもに術前CT画像のデータを取得し、データベースを構築する。今後のデータ解析の重要な素材となるデータベースの構築を行う。

b) 術中の生体データ、操作データの取得

3次元位置センサ、3Dスキャナ等を用い、実際の手術中（主に腹腔鏡手術）の生体変形データ、ポート位置データ、器具（腹腔鏡や鉗子類）の動作データを取得、蓄積する。

2. 術前解剖自動診断システムの基本技術の研究・開発

本年度研究中に得られる手術症例の画像データに加え、これまで蓄積された術前画像データを活用、解析することによって、より確実な自動診断基本技術の開発および臨床評価を行う。

a) 血管解剖診断システム

術中に操作を加える血管に対し、コンピュータによる血管分岐状態の認識、血管名命名、血管解剖診断レポート作成の自動化をめざす。

b) リンパ節診断システム

術前画像からリンパ節診断の自動化を図る。血管名自動診断と組み合わせ、リンパ節転移部位の自動診断手法を開発する。

3. 個別化外科解剖実体モデル作成技術の研究・開発

術前プランニング、シミュレーションに有用な、3Dプリント技術を用いた個別化外科解剖実体モデル作成のための技術の開発を行う。

（倫理面への配慮）

患者の術前画像データをもとに解剖構造の解析、手術計画の作成、手術支援情報生成を行う際には、患者の画像データを匿名化した上で連結可能な番号を割り当てており、個人情報の扱いに十分配慮した。手術中にセンサなどの機器を使用し生体データ取得を行う際には、倫理委員会にお

いて承認された研究計画書に基づき、患者説明書を使用して患者本人より書面によるインフォームドコンセントを得た。

C. 研究結果

1. 手術症例における術前画像データ、術中データ取得

消化器癌（胃癌）患者76名に対し術前検査CT画像撮影を行った。手術予定となった44例のCT画像において手術に関連する臓器・血管領域を自動認識し抽出を行った。術前に術野の脈管臓器解剖診断を行い、診断結果を含む画像データベースを構築した。

腹腔鏡手術症例を中心に17例において、術中の生体データ、機器動作データを計測、収集した。腹腔鏡手術開始時に行われる気腹操作に対し、気腹前および気腹後の腹壁形状データを3次元スキャナまたは3次元位置センサにより取得した。腹壁上の手術器具用ポート位置、術中のスコープ位置についても3次元位置センサにより計測した。

さらに術中ナビゲーションシステムにおける位置合わせ手法の初期検討を行った。術中のナビゲーションシステムでは、腹腔鏡の位置に対応した手術支援画像を生成するためにCT画像の座標系と3次元位置センサの座標系の位置合わせ処理が必要となる。そこで、計測した様々な位置情報を用いて位置合わせ手法の検討を行った。体表の解剖学的な特徴点を用いた方法、体内の血管の位置情報を用いた方法、体内の臓器の表面形状を用いた方法を検討した。体表の解剖学的な特徴点を用いた位置合わせでは、体表上に複数の基準点を設定し、CT画像ならびに3次元位置センサにより基準点の位置を計測し、基準点の対応関係を用いて位置合わせを行う。計測したデータを用いて評価したところ、体表の基準点を用いた位置合

せ手法では、位置合わせ誤差が比較的大きいことが確認された。そこで、体内の血管位置や臓器の表面形状情報を用いた位置合わせ手法の検討を行った。体内の血管の位置情報を用いる方法では、体表の基準点に体内の血管の位置を基準点として追加して位置合わせを行う。また、臓器の表面形状を用いた位置合わせ手法では、CT画像から得られた臓器表面形状と3次元位置センサで計測した臓器表面形状を用いて位置合わせを行う。血管の位置情報を用いた位置合わせ手法と臓器の表面形状を用いた位置合わせ手法は、体表の基準点のみを用いた位置合わせ方法と比較して、位置合わせ誤差を減少させることが可能であることを確認した。

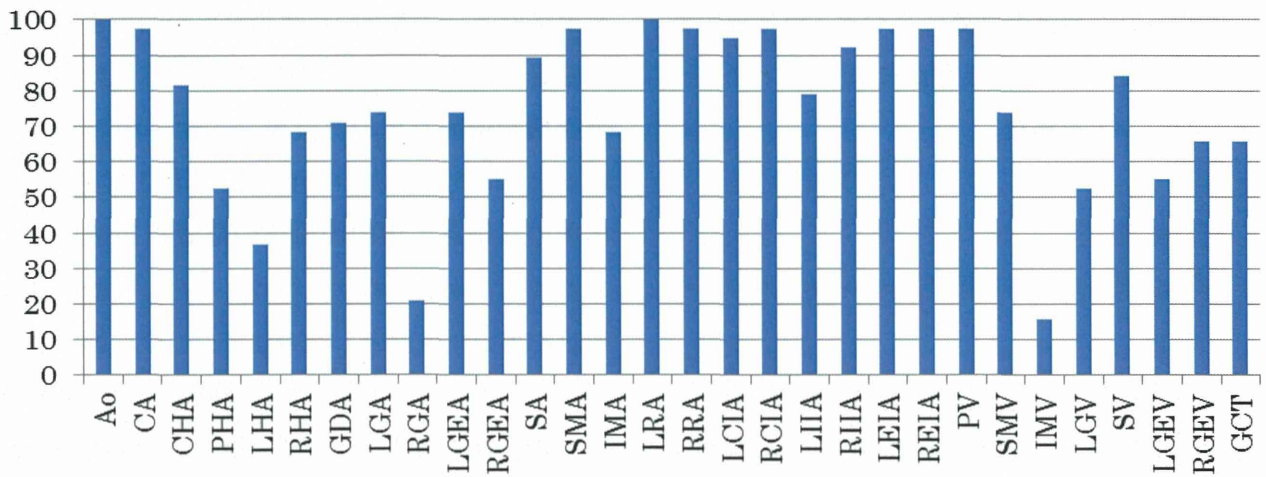
2. 術前解剖自動診断システムの基本技術の研究・開発

既存の画像データベースを用いて、CT画像からリンパ節領域を自動検出する手法を開発した。50例のCT画像に対し、開発した2つの手法を組み合わせることにより、リンパ節検出率94.5%を実現した。

血管解剖自動診断手法については、既存の50例の正解データを学習することにより、血管名自動命名手法および血管診断レポート自動作成手法の開発を行った。開発した手法を、当該研究期間において手術を行った症例（38例）に適用した。その結果を図に示す。

3. 個別化外科解剖実体モデル作成技術の研究・開発

CT画像から臓器・血管領域を抽出し、その形状を3Dプリンタを用いて実体化し、個別化実体モデルを作成した。自動作成手法の開発を行い、一部自動化できない部分があるが、おおむね実現できた。本モデルを手術トレーニング、術前の確認、術中参照に用いることができることを確認した。



図：開発した血管名自動命名手法による手術症例術前CT画像における診断精度

D. 考察

今年度（平成26年度）は、予定している3年間の研究の初年度であり、最終的に開発を目指す統合的個別化手術支援システムの基本となるデータ収集と、システムを構成する基本技術の開発を行った。

術前画像データについて、多くの症例の画像データを収集することができ、良好な画像データベースの構築ができた。術中に収集された気腹形状データおよびポート位置データは、来年度のポート挿入位置プランニングシステム開発の際の重要な基礎データになると考えている。

今年度さらに術中体表特徴点、体内血管位置、臓器表面形状データを用いて術中ナビゲーションシステムにおける位置合わせの初期検討を行った。体表の点を用いて行う位置合わせではある程度誤差が出ることで、体内の点を用いることにより誤差を減少できることが確認でき、来年度以降の術中ナビゲーションシステム開発にとって重要な情報が得られたと考えている。今後は引き続き術中データを収集して、位置合わせ手法の検討を継続し、術中ナビゲーションシステムの開発につなげる予定である。

リンパ節自動診断システム開発においては、2

つの検出手法を組み合わせることによって良好な検出率を実現できた。今後の課題として拾いすぎ(FP)の削減があげられる。また今後、実際の手術症例における検出率の評価や、正解データを学習データとして追加することにより、より精度の高い手法に改良することを目指す。

血管名自動命名システムについて、既存データベースを用いた診断精度の評価では一部の血管を除いて非常に良好であった。診断レポート自動作成については、血管解剖情報が文章で表現されており、外科医にとって術前診断の助けになるシステムであると思われた。今年度の新規手術症例を対象にした診断率評価では、既存データにおける診断率に比べ多くの血管で診断率が低下していた。その理由としては、学習画像と評価画像の間でCT撮影条件に違いがあること、学習画像の正解データが完全ではないことなどが考えられた。また特に診断率の低かったRGAやIMVについては、命名プログラム適応前の血管領域セグメンテーションが不十分であるため命名できない症例が多かった。来年度以降は、血管セグメンテーションプログラムの改良や、学習画像を継続して追加することにより、より精度の高い血管名自動命名システムの構築を目指す。

個別化実体モデルについては、これまで解剖情報の提示がモニタ画面上のみであったものが、外科医にとって手に取れる形での情報提示となり、より立体的な解剖情報を直感的に理解しやすくなった。術前だけでなく術中の解剖情報確認にも有用であると考えている。来年度はモデル作成過程のさらなる自動化、軟素材による実体モデル作成を予定しており、特に手術トレーニングへの利用の可能性を評価する予定である。

E. 結論

術中画像データおよび術中データの収集においては、多くの症例データを蓄積できた。また術中ナビゲーションシステムの肝である位置合わせ手法の初期検討が行えたのは来年度以降の研究に有用と思われた。血管名自動命名システム、リンパ節自動診断システム、個別化外科解剖実体モデルの作成が可能となり、今年度実施を予定した研究において良好な成果を得た。次年度以降に行う術中ナビゲーションシステムの開発に向けたデータ収集を行い、システムに求められる機能の一部を開発できた。次年度も引き続きデータ収集、プランニングシステム開発、術中ナビゲーションシステム開発を行う。

F. 健康危険情報

本研究において該当する健康危険情報は無い。

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

・腹腔鏡下胃切除術の手術ナビゲーションにおける血管の位置情報を用いた術中の位置合わせ手法の検討：林雄一郎、三澤一成、森健策：

第23回日本コンピュータ外科学会大会（2014年11月）

・局所濃淡構造解析を用いた3次元腹部X線CT像からの胃がん症例における胃周辺の小径腫大リンパ節自動検出手法の検討：中村嘉彦、三澤一成、森健策、他：第23回日本コンピュータ外科学会大会（2014年11月）

・腹腔鏡下胃切除術の術中ナビゲーションシステムにおける複数臓器情報を用いた局所レジストレーション手法の検討：森田千尋、林雄一郎、小田昌宏、三澤一成、森健策：第23回日本コンピュータ外科学会大会（2014年11月）

・腹部外科領域における3次元位置センサを用いた術中ナビゲーションシステムの開発と臨床応用：三澤一成、林雄一郎、小田昌宏、森健策、他：第79回日本臨床外科学会総会（2014年11月）

・ Investigation of Optimal Feature Value Set in False Positive Reduction Process for Automated Abdominal Lymph Node Detection Method, Yoshihiko Nakamura, Kazunari Misawa, Kensaku Mori, 他, SPIE Medical Imaging 2015 (2015年2月)

・ Automated branching pattern report generation for laparoscopic surgery assistance, Masahiro Oda, Yuichiro Hayashi, Kazunari Misawa, Kensaku Mori, 他, SPIE Medical Imaging 2015 (2015年2月)

H. 知的財産権の出願・登録状況

該当なし

消化器がん治療における医用画像処理技術を用いた統合的個別化手術支援システム開発と臨床応用

- 術前解剖自動診断システムの基本技術の研究・開発および

個別化外科解剖実体モデル作成技術の研究・開発 -

研究分担者 森 健策 名古屋大学情報連携統括本部 教授

研究要旨：がん治療の主体である手術は、個々の外科医の技術や経験に依存する部分が多い。がん治療水準の均てん化を目指して、ますます高度化する手術の安全性と質の向上のための手術支援システムの開発が望まれている。本研究では消化器がんを対象に、個々の患者毎の解剖構造の自動認識といった医用画像処理技術を用いた統合的個別化手術支援システムの開発を行う。

A. 研究目的

本研究の目的は、個々の患者の解剖構造理解などの医用画像処理技術を利用した個別化手術支援システムの開発とその臨床応用である。患者個別の画像診断データに基づいた術前解剖診断、術前プランニング、術中ナビゲーションを目指す。

消化器外科の分野では肝臓切除を除いて画像等手術支援加算が認められていない。これは消化器などを対象とした手術ナビゲーション技術が確立していないためであるが、手術ナビゲーションは高度化する外科治療の安全性と質の向上に必要である。本研究で有効なナビゲーションシステムを開発し、普及させることでがん治療技術の均てん化を目指す。

B. 研究方法

術前病変範囲診断・解剖診断自動化のため、リンパ節転移診断システム、個別化外科解剖実体モデルの開発を行う。

リンパ節転移診断システムの開発では、局所濃淡構造解析を用いた手法とアピラランス学習を

用いた手法を組み合わせ、CT像からリンパ節を自動抽出する。個別化外科解剖実体モデルの開発では、CT像から抽出した臓器構造を3Dプリンタを用いて実体化し、術前の臓器構造確認や術中参照に用いる。

また、次年度以降に行う術中ナビゲーションシステムの開発に備えて、手術中のポート位置・患者の腹部形状・臓器形状を3次元的に計測し、気腹による腹部形状変化の調査とナビゲーションシステムの実環境への座標系位置合わせ法の検討を行う。

（倫理面への配慮）

患者の術前画像データをもとに解剖構造の解析、手術計画の作成、手術支援情報生成を行う際には、患者の画像データを匿名化した上で連結可能な番号を割り当てており、個人情報の扱いに十分配慮した。手術中にセンサなどの機器を使用してデータ取得を行う際には、倫理委員会において承認された研究計画書に基づき、患者説明書を使用してインフォームドコンセントを得た。

C. 研究結果

術前病変範囲診断・解剖診断自動化のために行った、リンパ節転移診断システム、個別化外科解剖実体モデル開発の研究成果について述べる。

リンパ節転移診断システム開発においては、CT像からリンパ節を自動検出する手法として局所濃淡構造解析を用いた手法とアピアランス学習を用いた手法を組み合わせ、リンパ節の検出を行った。リンパ節をそのサイズにより自動分類し、転移の可能性を術者が考慮できる提示法を開発した。実験の結果、1つ目のリンパ節検出手法では直径5mm以上のリンパ節を71.6%（拾いすぎ12.5個/例）、直径3mm以上のリンパ節を91%（拾いすぎ80個/例）検出した。2つ目のリンパ節検出手法では直径5mm以上のリンパ節を86.2%（拾いすぎ55個/例）検出した。これら2つの検出手法を組み合わせることで、検出率94.5%（拾いすぎ17個/例）を実現した。

個別化外科解剖実体モデルの開発においては、CT像から腹部臓器領域を抽出し、その形状を3Dプリンタにより実体化し、個別化実体モデルを作成した。具体的には、胃壁と内腔が再現された胃の個別化実体モデル、膵臓の柔らかい個別化実体モデルの作成を行った。柔らかいモデルの作成時には、3Dプリンタで型を造形し、その中にシリコンを流し込んだ。これらのモデルの術前及び術中の臓器形状確認への応用法を検討した。

術中ナビゲーションシステムの開発に備えた手術中のポート位置・腹部形状・臓器形状計測結果を処理する手法について検討した。研究代表者である三澤らによって、3次元位置センサを用い、15名の患者に対する計測が行われ、術式ごとのポート位置の分布、気腹に伴う腹部形状の変化量のデータが収集された。これらのデータを利用して、

ナビゲーションシステムの実環境への座標系位置合わせ手法の検討を行い、ナビゲーションシステムのCT像座標系と実座標系対応付けのため、臓器形状（膵臓と肝臓）を利用する手法を開発した。センサで実環境の臓器形状を計測し、これをCT像上の臓器形状に近づけることで座標系の対応付けを可能とする手法を検討した。

D. 考察

リンパ節転移診断システム開発においては、2つの検出手法を組み合わせることで非常に高い検出率を実現した。これにより見落としの少ないがん転移診断支援が可能となる。これからは拾いすぎを削減することでより実用レベルの手法になる。

個別化外科解剖実体モデルの開発においては、患者固有の臓器形状が手に取って確認できる状態となり、従来の画面上での表示と比べて立体的構造の把握が容易になった。本モデルを手術トレーニング、術前の確認、術中参照に用いることができる。今後はモデル作成過程の自動化、評価を目指す。

術中ナビゲーションシステム開発の予備的検討として、ポート位置・腹部形状・臓器形状を実際の環境で計測されたデータを用い、来年度以降に開発するシステムでの術前と術中の体内構造物の移動・変形を評価し、システム内の仮想環境と実環境の位置合わせ手法を開発した。今後は引き続きデータを収集しながら、位置データの精度向上、位置合わせ手法の精度向上を行う。

E. 結論

術前病変範囲診断・解剖診断自動化においては、リンパ節転移部位の自動発見、個別化外科解剖実体モデルの作成が可能となり、今年度実施を予

定した研究の良好な成果を得た。次年度以降に行う術中ナビゲーションシステムの開発に向けたデータ収集を行い、システムに求められる機能の一部を開発した。次年度も引き続きシステム開発とデータ収集を行う。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

・腹腔鏡下胃切除術の手術ナビゲーションにおける血管の位置情報を用いた術中の位置合わせ手法の検討：林雄一郎、三澤一成、森健策：第23回日本コンピュータ外科学会大会（2014年11月）

・局所濃淡構造解析を用いた3次元腹部X線CT像からの胃がん症例における胃周辺の小径腫大リンパ節自動検出手法の検討：中村嘉彦、三澤一成、森健策、他：第23回日本コンピュータ外科学会大会（2014年11月）

・腹腔鏡下胃切除術の術中ナビゲーションシステムにおける複数臓器情報を用いた局所レジ

ストレーション手法の検討：森田千尋、林雄一郎、小田昌宏、三澤一成、森健策：第23回日本コンピュータ外科学会大会（2014年11月）

・腹部外科領域における3次元位置センサを用いた術中ナビゲーションシステムの開発と臨床応用：三澤一成、林雄一郎、小田昌宏、森健策、他：第79回日本臨床外科学会総会（2014年11月）

・ Investigation of Optimal Feature Value Set in False Positive Reduction Process for Automated Abdominal Lymph Node Detection Method, Yoshihiko Nakamura, Kazunari Misawa, Kensaku Mori, 他, SPIE Medical Imaging 2015 (2015年2月)

・ Automated branching pattern report generation for laparoscopic surgery assistance, Masahiro Oda, Yuichiro Hayashi, Kazunari Misawa, Kensaku Mori, 他, SPIE Medical Imaging 2015 (2015年2月)

G. 知的財産権の出願・登録状況

該当なし

消化器がん治療における医用画像処理技術を用いた
統合的個別化手術支援システム開発と臨床応用
- 術前解剖自動診断システムの基本技術の研究・開発 -

研究分担者 小田昌宏 名古屋大学大学院情報科学研究科 助教

研究要旨：がん治療の主体である手術は、個々の外科医の技術や経験に依存する部分が多い。がん治療水準の均てん化を目指して、ますます高度化する手術の安全性と質の向上のための手術支援システムの開発が望まれている。本研究では消化器がんを対象に、個々の患者毎の解剖構造の自動認識といった医用画像処理技術を用いた統合的個別化手術支援システムの開発を行う。

A. 研究目的

本研究の目的は、個々の患者の解剖構造理解などの医用画像処理技術を利用した個別化手術支援システムの開発とその臨床応用である。患者個別の画像診断データに基づいた術前解剖診断、術前プランニング、術中ナビゲーションを目指す。

消化器外科の分野では肝臓切除を除いて画像等手術支援加算が認められていない。これは消化器などを対象とした手術ナビゲーション技術が確立していないためであるが、手術ナビゲーションは高度化する外科治療の安全性と質の向上に必要である。本研究で有効なナビゲーションシステムを開発し、普及させることでがん治療技術の均てん化を目指す。

B. 研究方法

術前病変範囲診断・解剖診断自動化のため、血管解剖診断システムの開発を行う。

血管解剖診断システムの開発では、患者の術前CT像に対し血管領域抽出、血管名命名を行い、それらの結果から血管解剖診断レポートを自動作

成する手法を開発する。

また、次年度以降に行う術中ナビゲーションシステムの開発に備えて、手術中の患者の腹部形状を3次元的に計測し、気腹による腹部形状変化の調査を行う。

（倫理面への配慮）

患者の術前画像データをもとに解剖構造の解析、手術計画の作成、手術支援情報生成を行う際には、患者の画像データを匿名化した上で連結可能な番号を割り当てており、個人情報の扱いに十分配慮した。手術中にセンサなどの機器を使用してデータ取得を行う際には、倫理委員会において承認された研究計画書に基づき、患者説明書を使用してインフォームドコンセントを得た。

C. 研究結果

術前病変範囲診断・解剖診断自動化のために行った血管解剖診断システム開発の研究成果について述べる。

血管解剖診断システム開発においては、これま

で蓄積した消化器がん症例のCT像50例を用い、血管領域抽出、血管名命名を行った。これらの結果を使い血管解剖診断レポートを自動作成する手法を開発した。治療時に重要な血管の立体的構造を分かりやすく示す3次元画像の自動生成手法、各血管についての親血管・分岐位置・位置関係の文章情報を自動生成する手法を開発し、これらを使用したレポートを自動生成可能とした。本レポート自動生成手法により、手術計画作成における術者の負担が軽減された。CT像50例を用いた実験では、血管の位置関係情報が88%の症例において正しくレポートに記述されていた。位置関係情報記述の誤りは血管名命名手法の誤りに起因して発生していた。

術中ナビゲーションシステムの開発に備えた手術中の腹部形状計測を行った。3次元スキャナを用い気腹に伴う腹部形状の変化量のデータを収集した。

D. 考察

血管解剖診断システム開発においては、手術計画作成に有用なレポートを自動生成することが可能となった。本レポートには血管構造を示す画像が1枚のみ含まれている。さらに医師の血管構造の把握を容易とするため、様々な視点位置から血管を観察した複数の画像をレポートに含めることや、医師の操作に基づき血管を提示するインタラクティブな血管提示法が考えられる。

術中ナビゲーションシステム開発の予備的検討として、腹部形状を実際の環境で計測した。今後は引き続きデータを収集しながら、位置データの精度向上を行う。

E. 結論

術前病変範囲診断・解剖診断自動化においては、血管解剖診断レポートの自動作成が可能となり、今年度を実施を予定した研究の良好な成果を得た。次年度以降に行う術中ナビゲーションシステムの開発に向けたデータ収集を行った。次年度も引き続きシステム開発とデータ収集を行う。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

・腹腔鏡下胃切除術の術中ナビゲーションシステムにおける複数臓器情報を用いた局所レジストレーション手法の検討：森田千尋、林雄一郎、小田昌宏、三澤一成、森健策：第23回日本コンピュータ外科学会大会（2014年11月）

・腹部外科領域における3次元位置センサを用いた術中ナビゲーションシステムの開発と臨床応用：三澤一成、林雄一郎、小田昌宏、森健策、他：第79回日本臨床外科学会総会（2014年11月）

・ Automated branching pattern report generation for laparoscopic surgery assistance, Masahiro Oda, Yuichiro Hayashi, Kazunari Misawa, Kensaku Mori, 他, SPIE Medical Imaging 2015 (2015年2月)

G. 知的財産権の出願・登録状況

該当なし

学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目：「消化器がん治療における医用画像処理技術を用いた統合的個別化手術支援システム開発と臨床応用」

機 関 名： 愛知県がんセンター中央病院

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
腹腔鏡下胃切除術の手術ナビゲーションにおける血管の位置情報を用いた術中の位置合わせ手法の検討、口頭	林雄一郎, 三澤一成, 森健策	第23回日本コンピュータ外科学会大会	2014年11月8日	国内
局所濃淡構造解析を用いた3次元腹部X線CT像からの胃がん症例における胃周辺の小径腫大リンパ節自動検出手法の検討、口頭	中村嘉彦, 三澤一成, 森健策, 他	第23回日本コンピュータ外科学会大会	2014年11月9日	国内
腹腔鏡下胃切除術の術中ナビゲーションシステムにおける複数臓器情報を用いた局所レジストレーション手法の検討、口頭	森田千尋, 林雄一郎, 小田昌宏, 三澤一成, 森健策	第23回日本コンピュータ外科学会大会	2014年11月9日	国内
腹部外科領域における3次元位置センサを用いた術中ナビゲーションシステムの開発と臨床応用 シンポジウム	三澤一成, 伊藤誠二, 伊藤友一, 川合亮佑, 植村則久, 夏目誠治, 木下敬史, 木村賢哉, 千田嘉毅, 安部哲也, 小森康司, 清水泰博, 木下平, 林雄一郎, 小田昌宏, 森健策	第76回日本臨床外科学会総会	2014年11月21日	国内
Investigation of Optimal Feature Value Set in False Positive Reduction Process for Automated Abdominal Lymph Node Detection Method、ポスター	Yoshihiko Nakamura, Kazunari Misawa, Kensaku Mori, 他	SPIE Medical Imaging 2015	2015年2月23日	国外
Automated branching pattern report generation for laparoscopic surgery assistance、口頭	Masahiro Oda, Yuichiro Hayashi, Kazunari Misawa, Kensaku Mori, 他	SPIE Medical Imaging 2015	2015年2月25日	国外

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
該当なし				

学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目：「消化器がん治療における医用画像処理技術を用いた統合的個別化手術支援システム開発と臨床応用」

機 関 名： 国立大学法人名古屋大学

1.学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
腹腔鏡下胃切除術の手術ナビゲーションにおける血管の位置情報を用いた術中の位置合わせ手法の検討、口頭	林雄一郎, 三澤一成, 森健策	第23回日本コンピュータ外科学会大会	2014年11月8日	国内
局所濃淡構造解析を用いた3次元腹部X線CT像からの胃がん症例における胃周辺の小径腫大リンパ節自動検出手法の検討、口頭	中村嘉彦, 三澤一成, 森健策, 他	第23回日本コンピュータ外科学会大会	2014年11月9日	国内
腹腔鏡下胃切除術の術中ナビゲーションシステムにおける複数臓器情報を用いた局所レジストレーション手法の検討、口頭	森田千尋, 林雄一郎, 小田昌宏, 三澤一成, 森健策	第23回日本コンピュータ外科学会大会	2014年11月9日	国内
Investigation of Optimal Feature Value Set in False Positive Reduction Process for Automated Abdominal Lymph Node Detection Method、ポスター	Yoshihiko Nakamura, Kazunari Misawa, Kensaku Mori, 他	SPIE Medical Imaging 2015	2015年2月23日	国外
Automated branching pattern report generation for laparoscopic surgery assistance、口頭	Masahiro Oda, Yuichiro Hayashi, Kazunari Misawa, Kensaku Mori, 他	SPIE Medical Imaging 2015	2015年2月25日	国外

2.学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別
該当なし				

腹腔鏡下胃切除術の手術ナビゲーションにおける血管の位置情報をを用いた術中の位置合わせ手法の検討

○林雄一郎^a, 三澤一成^b, 森健策^a

^a名古屋大学情報連携統括本部

^b愛知県がんセンター中央病院

Intraoperative registration method based on vessel position for surgical navigation in laparoscopic gastrectomy

Yuichiro Hayashi^a, Kazunari Misawa^b, Kensaku Mori^a

^aInformation & Communications, Nagoya University, Nagoya, Japan

^bAichi Cancer Center Hospital, Nagoya, Japan

Abstract: In this paper, we describe a method for intraoperative registration based on vessel information for surgical navigation in laparoscopic gastrectomy. We have developed a surgical navigation system and evaluated it by real clinical laparoscopic gastrectomy cases. The system required patient-to-image registration to generating surgical assisting information corresponding to surgical tool locations. We used anatomical landmarks on a body surface as fiducials in the registration process. However, this registration procedure had limitations in reducing registration errors. This paper tries to solve such problem by utilizing blood vessel positions. This paper newly introduces the weighted registration method to combining fiducial location information on the body surface and positional information on blood vessel locations being observed during surgery. In laparoscopic gastrectomy, the vessels around stomach are sequentially processed. We add the positions of the processed vessels as fiducials and perform the weighted registration process during surgery. The experimental results showed that the proposed method could improve the registration accuracy.

Keywords: Surgical navigation, Laparoscopy, Registration

1. はじめに

手術ナビゲーションシステムは術具の位置に対応した手術支援画像を提示するシステムであり、様々な領域の手術支援に用いられている。腹腔鏡下手術においても手術ナビゲーションシステムの研究が行われており¹⁻⁴⁾、我々もこれまでに仮想腹腔鏡像を用いた腹腔鏡下手術ナビゲーションシステムを構築して臨床応用を行ってきた^{3, 4)}。手術ナビゲーションシステムでは腹腔鏡などの術具の位置に対応した手術支援画像を生成するためにCT画像と位置センサの座標系の位置合わせ(レジストレーション)処理が必要である。我々が臨床応用してきた腹腔鏡下胃切除術の手術ナビゲーションでは体表の解剖学的な特徴点を基準点として位置合わせを行ってきたが、CT画像の撮影時と手術時の姿勢の違いなどにより位置合わせ誤差が発生した⁴⁾。本稿では腹腔鏡下胃切除術の手術ナビゲーションにおいて位置合わせ誤差を減少させるために、術中に体内の基準点を用いて位置合わせする手法を検討したので報告する。

2. 血管情報を利用した術中位置合わせ

本手法では、術中に体内の基準点を用いて位置合わせを行うことにより、位置合わせ誤差の減少を目指す。腹腔鏡下胃切除術では胃の周囲の血管を順番に処理する。そこで本手法では、

手術の進行に伴って処理された血管を位置合わせの基準点として用いる。血管はその根部付近で処理を行うため、あらかじめCT画像上で血管の根部の座標を指定しておく。術中には処理を行った血管の根部の座標を光学式位置センサのマーカ付きの鉗子により計測する。これらの位置情報を用いて術中に位置合わせを行う。

術中の位置合わせにおいて、処理を行った血管のみを基準点として用いる場合、手術の序盤では基準点の数が少ないために位置合わせ処理を行うことができない。そこで、本手法では血管の基準点と体表の基準点を用いて位置合わせを行う。この時、本手法では重み付きの位置合わせ手法を用いる⁵⁾。この手法では、 i 番目の基準点のセンサ座標系とCT画像座標系における位置を p_i, q_i とすると、次の式を最小にする変換行列 T' を求める。

$$T' = \arg \min_T \sum_{i=0}^N \omega_i^2 |Tp_i - q_i|^2 \quad (1)$$

ここで、 ω_i は重みであり、 N は基準点の数である。この処理では、信頼性が低い基準点は重みを小さく、信頼性の高い基準点では重みを大きくすることで、位置合わせの正確性を向上させることができる。本手法においては、体内の基準点の重みを体表の基準点の重みよりも大きくすることで、すべての基準点を同じ重みで位置合わせするよりも誤差が減少することが期待で

きる。

術中に血管の処理を行って血管の位置座標を計測する毎に、取得した血管の情報を追加して重み付きの位置合わせ処理を行い、変換行列を更新する。

3. 実験と結果

手術ナビゲーション時に取得した8症例の血管の位置情報を用いて提案手法の評価を行った。評価には、血管の標的位置合わせ誤差(TRE)を用いた。腹腔鏡下胃切除術において処理する血管を次の3つの部位に分け、各部位の血管処理終了後にその血管の位置情報を用いて提案手法により位置合わせを行うことを想定して実験を行った。3つの部位は、部位1が右胃大網静脈(RGEV)と右胃大網動脈(RGEA)、部位2が右胃動脈(RGA)、部位3が左胃静脈(LGV)と左胃動脈(LGA)である。腹腔鏡下胃切除術においては通常は部位1から部位3の順に処理を行っていくため、ある部位に含まれる血管のTREを計算する際には、その前の部位までに含まれる血管の位置情報を用いて位置合わせを行った。具体的にはRGEVとRGEAの位置情報を用いて位置合わせを行いRGAのTREを計算し、RGEVとRGEAとRGAの位置情報を用いて位置合わせを行い、LGVとLGAのTREを計算した。結果をFig.1に示す。図には体表の点のみを用いて位置合わせを行った場合(Previous method)の誤差と、提案手法を用いて位置合わせを行った場合の誤差を示す。式(1)における重み w_i は、すべての基準点で同じ重み1.0とした場合(Proposed method 1)と、体表の基準点では1.0、血管の基準点では2.0とした場合(Proposed method 2)の結果を示す。

4. 考察

提案手法により体表の基準点に加えて体内の血管を基準点として用いることで位置合わせ誤差を減少させることが可能であった。また、重み付きの位置合わせ処理において、血管の基準点の重みを体表の基準点の重みより大きくすることで位置合わせ誤差をさらに減少させることが可能であった。これは体内の基準点は体表の基準点と比較して、CT画像の撮影時と手術時の位置変化が少ないからだと考えられる。今回は、体表の基準点と血管の基準点でそれぞれ同じ重みを設定したが、今後は、基準点ごとに重みを設定する方法を検討することが考えられる。

また、RGAに比べLGAでは誤差が小さくなった。これは血管を処理した後、その血管を基準点として追加しているため、LGAでの誤差計測時にはRGAでの誤差計測時より位置合わせ

に利用できる血管の基準点の数が多いためである。このように提案手法では手術の進行により体内の基準点を増やすことで位置合わせの誤差をより減少させることが可能である。

5. むすび

本稿では、腹腔鏡下胃切除術の手術ナビゲーションにおける術中の位置合わせ手法について検討を行った。術中に処理した血管を体内の基準点として体表の基準点と重み付き位置合わせ処理を行うことにより、位置合わせの誤差が減少することを確認した。今後の課題としては、重み付き位置合わせ処理における基準点ごとの重みの設定方法の検討などが挙げられる。

謝辞 日頃ご討論いただく名古屋大学森研究室諸氏に感謝する。本研究の一部は文部科学省・日本学術振興会科学研究費補助金ならびに厚生労働科学研究費補助金によった。

文献

- 1) Nicolau S, Soler L, Mutter D, Marescaux J. Augmented reality in laparoscopic surgical oncology. *Surgical Oncology* 2011; 20: 189-201.
- 2) Jeiri S, Uemura M, Konishi K, Souzaki R, Nagao Y, Tsutsumi N, Akahoshi T, Ohuchida K, Ohdaira T, Tomikawa M, Tanoue K, Hashizume M, Taguchi T. Augmented reality navigation system for laparoscopic splenectomy in children based on preoperative CT image using optical tracking device. *Pediatr Surg Int.* 2012; 28: 341-346.
- 3) 三澤一成, 伊藤誠二, 伊藤友一, 金城和寿, 植村則久, 木村賢哉, 千田嘉毅, 安部哲也, 小森康司, 金光幸秀, 佐野力, 清水泰博, 林雄一郎, 小田昌宏, 森健策. 腹腔鏡下手術ナビゲーションシステムの開発と臨床応用. *日本コンピュータ外科学会誌* 2012; 14: 304-305.
- 4) 林雄一郎, 三澤一成, 小田昌宏, 森健策. 腹腔鏡下手術ナビゲーションシステムの臨床応用と位置合わせ誤差の評価. *日本コンピュータ外科学会誌* 2013; 15: 142-143.
- 5) Fitzpatrick JM, Hill DLG, Maurer CR, Jr. Image registration. In: Sonka M and Fitzpatrick JM eds. *Handbook of medical imaging Volume 2. Medical image processing and analysis.* Bellingham: SPIE, 2000: 447-513

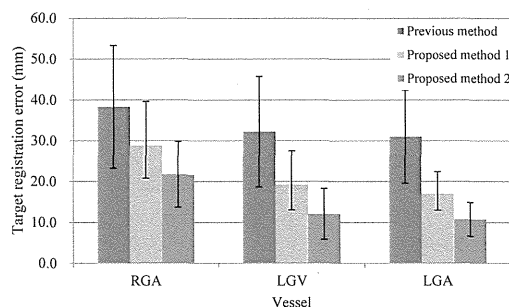


Fig. 1 Target registration errors on each vessel.

局所濃淡構造解析を用いた 3 次元腹部 X 線 CT 像からの胃がん症例における胃周辺の小径腫大リンパ節自動検出手法の検討

○中村嘉彦^a, 北坂孝幸^b, 古川和宏^c, 後藤秀実^c, 藤原道隆^c,
三澤一成^d, 森健策^{a,e}

^a名古屋大学情報連携統括本部

^b愛知工業大学情報学部

^c名古屋大学医学系研究科

^d愛知県がんセンター

^e名古屋大学大学院情報科学研究科

A Study on Small Gastric Lymph Node Detection from Abdominal 3D X-ray CT images using Local Intensity Structure Analysis

Yoshihiko Nakamura^a, Takayuki Kitasaka^b, Kazuhiro Furukawa^c,

Hdedemi Goto^c, Michitaka Fujiwara^c, Kazunari Misawa^d, and Kensaku Mori^{b,e}

^a *Information & Communications, Nagoya University, Nagoya, Japan*

^b *School of Information Science, Aichi Institute of Technology, Toyota, Japan*

^c *Graduate School of Medicine, Nagoya University, Nagoya, Japan*

^d *Aichi Cancer Center, Nagoya, Japan*

^e *Graduate School of Information Science, Nagoya University, Nagoya, Japan*

Abstract: In this paper, we demonstrate an automatic detection method for small gastric lymph nodes to aid for the stomach cancer surgery. We have developed an automatic abdominal lymph node detection method that targets enlarged lymph nodes whose size is larger than 5mm in diameter. However, we have not taken into account to detect small gastric lymph nodes that are smaller than 5mm in diameter. The information of small gastric lymph node is important for the stomach cancer treatment. In this paper, we utilize the local intensity structure analysis to detect small gastric lymph nodes from abdominal X-ray CT images. We adjust the size of the intensity structure analysis filter to detect small lymph nodes and analyze the detail of the local intensity structures. By applying the proposed method to ten abdominal 3D CT images with stomach cancers, we were able to detect twenty small gastric lymph nodes out of twenty two lymph nodes.

1. はじめに

胃がんは特に日本において罹患率が高く、その死亡者数の増加が予想されている[1]. 外科手術により治療を行う場合には、過不足なく病巣および転移の可能性のあるリンパ節などを切除する必要がある。そのため、腫大リンパ節を CT 画像上で正確に同定することが重要である。そのため、我々は腫大リンパ節を自動的に検出手法を開発してきた[2]. 臨床的に、検出対象とされる腫大リンパ節は短径 10mm 以上である。しかし、撮像装置の高精細化や他のモダリティとの統合などにより小径の腫大リンパ節であっても、その自動検出の重要性は高いと考えられる。

我々はこれまで比較的小さな腫大リンパ節も対象とした検出手法を開発を行ってきた。しかし、より小径の腫大リンパ節の検出に関しては十分に検討を行っていなかった。そこで、本稿では、体積が直径 5mm の球より小さく、短径

が 7.5mm 以下の腫大リンパ節を対象とした腫大リンパ節自動検出手法の検討を行った。このとき、検出する際に行う局所濃淡構造をより詳細に解析することで小径の腫大リンパ節を検出する。

2. 小径の腫大リンパ節検出

小径の腫大リンパ節を検出するため、局所濃淡構造から塊状構造を強調するフィルタ(BSE フィルタ)を利用する[2]. この BSE フィルタで強調された塊状部分に対してしきい値処理を施すことにより、リンパ節候補領域を抽出する。しかし、従来手法では、直径 5mm から 20mm 程度までの広い範囲の大きさのリンパ節を検出対象としていた。そのため、BSE フィルタのサイズも直径 3mm から 15mm まで 3mm 刻みで 5 段階としていた。そこで、本稿では小径のリンパ節を対象としてフィルタサイズを直径 3mm から 11mm までとし、より詳細に構造解析を行う。

検出処理によって得られた候補領域には多数の過検出(False Positive; FP)が含まれているため、抽出した領域の形状や濃度値分布などの特徴量を解析することにより過検出削減処理を行う。本稿では、体積と領域内の濃度値の最大値に対するしきい値処理により FP を削減する。

3. 実験

胃がん 10 症例を用いて小径のリンパ節検出実験を行った。CT 画像の仕様は、画像サイズが $512 \times 512 \times 359 \sim 521$ voxel、画素のサイズは $0.625 \times 0.625 \times 0.500 \sim 0.782 \times 0.782 \times 0.5$ mm³ である。対象とする腫大リンパ節は医師により確認されたものであり、同時に、体積が直径 5mm の球より小さく、短径が 7.5mm 以下の 22 個とした。画像は全て動脈優位相で撮影されている。検出に用いたフィルタサイズは 3mm から 11mm まで 1.5mm 刻みで 6 段階とし、候補領域検出や FP 削減のためのしきい値等のパラメータは予備実験の結果より設定した。

4. 結果と考察

実験の結果、小径の腫大リンパ節 22 個中 20 個を抽出するとき FP 数は 1 症例あたり約 500 個であった。抽出したリンパ節の例を Fig. 1 に示す。従来手法では検出できなかった小径の腫大リンパ節を検出することが可能であった。

しかし、Fig. 2 に示すように多数の FP が同時に検出されてしまった。今回、特徴解析による FP 削減処理を施しているが、十分に削減することができなかった。従来手法では、FP の多くが消化管や血管の一部など管状構造の一部であることから候補領域周辺の濃度値分布といった特徴量が有効であったが、Fig.2 のように小径の腫大リンパ節と同様に孤立した小さな陰影が多いなど特徴の傾向が大きく異なる。このため、小径の腫大リンパ節に有効な特徴について検討する必要がある。さらに、FP の中には腫大リンパ節と見られるものも含まれているため、検出結果のより詳細な解析が必要である。

一方で、Figure 3 に示す腫大リンパ節は見落とされた。これは直径約 3mm と非常に小さくまた比較的淡い陰影であったためと考えられる。

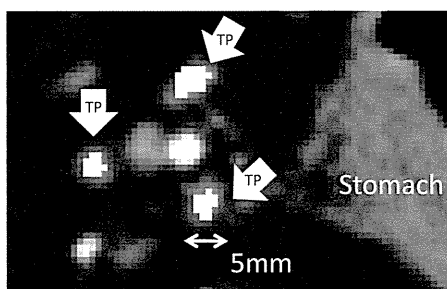


Figure 1 Examples of TPs

また、従来手法では、検出対象とする直径の範囲が広がったため検出フィルタのサイズを大きめに取っており、さらに、大きなリンパ節を対象とするフィルタの場合、画像を縮小するなどの計算時間削減への対処を行っていた。しかし、今回対象とする小径のリンパ節の場合には、そのような対処が行えないことから、従来手法と比較して計算時間が増加するため、計算量削減について検討が必要である。

5. まとめ

局所濃淡構造解析を用いて腹部 3 次元 X 線 CT 像から胃周辺の小径の腫大リンパ節を自動検出する手法の検討を行った。胃がん 10 症例に適用した結果、小径の腫大リンパ節 22 個中 20 個を検出可能であった。今後の課題としては、FP の削減、および、検出処理の高速化方法の検討などが挙げられる。

謝辞

日頃御討論頂く名古屋大学森研究室諸氏に感謝する。本研究の一部は、文部科学省・日本学術振興会研究費助成金 21103006, 25242047, 26560255, 26108006, ならびに、栢森情報科学振興財団研究助成金によった。

文献

- 1) 独立行政法人国立がん研究センターがん情報サービス 2014 年のがん統計予測, http://ganjoho.jp/public/statistics/pub/short_pred.html
- 2) Nakamura Y, et al.. A study on feature analysis in false positive reduction process of automated abdominal lymph node detection method. Int J CARS 2014;9:S225-S227.

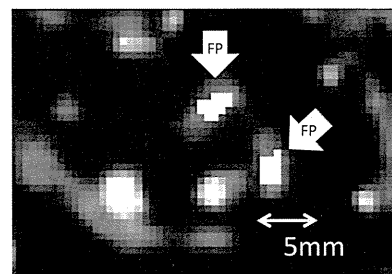


Figure 2 Examples of FPs

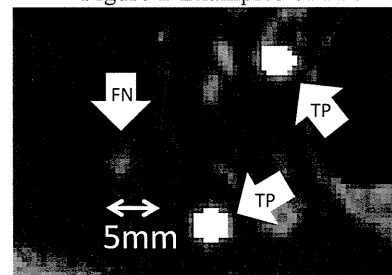


Figure 3 Example of FN

腹腔鏡下胃切除術の術中ナビゲーションシステムにおける 複数臓器情報を用いた局所レジストレーション手法の検討

○森田千尋^a, 林雄一郎^b, 小田昌宏^a, 三澤一成^c, 森健策^{a,b}

^a名古屋大学大学院情報科学研究科

^b名古屋大学情報連携統括本部

^c愛知県がんセンター中央病院

A Study on Local Registration Method Using Multi-Organ Information for Surgical Navigation in Laparoscopic Gastrectomy

Chihiro Morita^a, Yuichiro Hayashi^b, Masahiro Oda^a, Kazunari Misawa^c, Kensaku Mori^{a,b}

^a Graduate School of Information Science, Nagoya University, Nagoya, Japan

^b Information & Communications, Nagoya University, Nagoya, Japan

^c Aichi Cancer Center Hospital, Nagoya, Japan

Abstract: Navigation systems for laparoscopic surgeries assist surgeons by presenting assistance information generated by combining a CT volume of a patient and positioned information of surgical tools around the operative field. It is necessary to register the coordinate systems between CT volume and the sensors. In our previous registration method, we applied a global registration using several fiducial points on the body surface of the patient body and a local registration using a point cloud on an organ surface. However, the local registration sometimes fails because the shape of the organ surface is featureless. Therefore, in this study, we propose a new local registration method using point clouds on multi-organ surfaces. In this method, we acquire point clouds on multi-organ surfaces in the sensor coordinate system by using forceps having a position sensor. The ICP (Iterative Closest Point) algorithm is applied to register the point clouds and the corresponding points on the organ surface in the CT volume. In our experiments, registration errors were reduced to 6.6mm from 8.6mm of the previous method.

Keywords: Registration, Surgical assistance, Laparoscopic surgery, Navigation, CT image.

1. はじめに

これまでに我々は、腹腔鏡下胃切除術の術中ナビゲーションシステムにおける CT-センサ座標系レジストレーション手法として、体表の基準点を用いた大局レジストレーションと、術野付近に存在する臓器の表面形状を用いた局所レジストレーションを併用する手法を提案した¹⁾。この手法では膵臓の表面形状を用いて局所レジストレーションを行っていたが、臓器表面の形状の特徴が少ないことから誤った場所へのレジストレーション結果が生じる場合があった。そこで、本手法ではこのような誤りを軽減するため術野周辺における複数の臓器表面形状を用いた局所レジストレーション手法を提案する。複数臓器の形状を利用することで形状の特徴を捉えやすくすることを目指す。本手法では、複数の臓器表面形状として、腹腔鏡下胃切除術において表面形状を鉗子等によって取得できる膵臓と肝臓尾状葉を用いる。本稿では、3Dプリンタを用いて作成した臓器モデルを用いて提案手法のレジストレーション精度を評価したので報告する。

2. 提案手法

座標系レジストレーションとは、CT-センサ座標系を一致させるために、目的関数

$$(\mathbf{R}^*, \mathbf{T}^*) = \arg \min_{\mathbf{R}, \mathbf{T}} \sum_{i=1}^N \|\mathbf{R}\mathbf{p}_i + \mathbf{T} - \mathbf{x}_i\|^2 \quad (1)$$

を満たす回転行列 \mathbf{R}^* および平行移動行列 \mathbf{T}^* を求める処理を指す。ここで、 \mathbf{p}_i 及び \mathbf{x}_i はそれぞれセンサ座標系の点群 $P = \{\mathbf{p}_i | i = 1, \dots, N\}$ と CT 座標系の点群 $X = \{\mathbf{x}_i | i = 1, \dots, N\}$ の要素である。また、 N は点の数を表す。

まず、大局レジストレーションにより回転行列 \mathbf{R}_0 及び平行移動行列 \mathbf{T}_0 が算出される。局所レジストレーションでは、術前 CT 像から手動で得る点群 X と、術中に光学式位置センサのマーカ付鉗子により位置を取得して得る臓器表面の点群 P のレジストレーションを行う。これには \mathbf{R}_0 及び \mathbf{T}_0 を初期値とした ICP アルゴリズム²⁾を用いる。従来手法¹⁾では点群 P, X に単一の臓器表面を用いていたが、本手法では膵臓及び肝臓尾状葉の2つの臓器表面点群を用いてレジストレーションを行う。

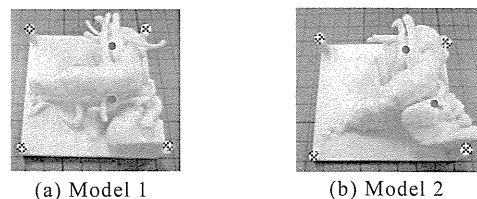


Fig. 1 Organ models. Meshed points indicate fiducial points and gray points indicate evaluation points.