

令和 4 年 7 月 6 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K03085

研究課題名(和文)個別化対応型可動モジュール式内視鏡外科訓練装置の開発と訓練システムの構築

研究課題名(英文)Development of laparoscopic training device with individualized movable module equipment and assembly of training system.

研究代表者

前村 公成 (Maemura, Kosei)

鹿児島大学・医歯学総合研究科・客員研究員

研究者番号：30398292

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：1)CTデータで作成した腹部臓器の3D画像を、ホログラフィックコンピューターを用いて立体的距離計測データの集積に利用した。腹腔内を想定したカセット型疑似臓器モデルモジュールを持つ、腹腔鏡用の独自手術シミュレーターの開発に応用した。同シミュレーターを用いて、独自の手術用圧排機器具の開発を行い、試作品を製作した。

2)個別の対象臓器3D情報を、VRゴーグルおよびホログラフィックコンピューターを用いて、インターネットを介したバーチャルセッションシステムを導入し独自画像の共有化と、シミュレーターとリンクさせた仮想空間での、消化管再建訓練手術シミュレーションの遠隔指導プロトコル作成に取り組んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現段階でも、国内外で仮想現実(VR)または複合現実技術と実体のシミュレーターを統合した訓練システムは確立していない。我々は独自の手術訓練シミュレーターを開発し、患者個別の画像データより作成した3D画像を用いたバーチャルシステムとの融合を行った。同時にこれらのシステムを利用した手術器具の開発も行った。このゆな手術シミュレーターを用いた手術器具の開発や訓練システムの社会的な意義は高く、継続的な研究の必要性が高いと考えられる。

研究成果の概要(英文)：1)3D images of abdominal organs created from CT data were collected as three-dimensional distance measurement data using a holographic computer. We developed a cassette-type pseudo-organ model module that mimics the abdominal cavity and applied it to a surgical simulator for laparoscope. Using the simulator, we developed our own surgical exclusion device and produced a prototype.

2)Introducing a virtual session system via the Internet using VR goggles and a holographic computer to share 3D information of individual target organs, share original images, and simulate gastrointestinal reconstruction training surgery in a virtual space linked with a simulator. Worked on the creation of a remote instruction protocol.

研究分野：消化器外科

キーワード：3D画像 手術訓練 バーチャルセッション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

腹部内視鏡手術は、開腹手術に比べ術後の疼痛が少なく、術後回復が速やかで、医療経済への恩恵や経済的効果も大きい。切離装置や光学技術の開発、手術ロボットの普及は急速で、難易度の高い手術も多く行われるようになった反面、術者の育成が難しい。特に消化管の再建術に対しては、手技が複雑で術者と助手の共同作業も必須であることが多いため、様々な手術手技や新規技術が検証不足のまま混在しており、手術の安全性確保は極めて重要な問題である。多くの腹腔鏡手術訓練装置が開発されているものの、複雑な消化管再建術に対応する訓練装置や訓練プログラム、習熟度の評価方法や指導システムは未確立であるのが現状である。

2. 研究の目的

本研究は腹部内視鏡外科手術における消化管再建術の中で、最も難易度が高いと考えられる胆道・膵の再建手技を対象に、個別対応型の新規腹腔鏡手術訓練装置と、同装置を利用した独自の統合的な手術訓練評価プログラムの確立を目指す。

(1) 患者毎の3D臓器画像のホログラフィーによる複合現実技術を用いた個別対応調整機能を有すカセット型可動モジュール式疑似臓器モデル腹腔鏡手術シミュレータ装置を開発し、複数の術式で有効性を検証する。

(2) モーションキャプチャー技術と訓練装置を融合させた術式別習熟度評価モデルを構築し、運動解析による手術手技難易度分類と訓練ガイド自動化プログラムを開発する。

(3) 独自の双方向性画像合成装置を用い複数の訓練装置をリンクさせ、術者・助手による高難度消化管再建術の訓練プログラムを開発し、チーム手術の遠隔指導システムを確立する。

3. 研究の方法

(1) 患者個別対応調整機能を実装したカセット型可動モジュール式疑似臓器モデル腹腔鏡手術シミュレーターを開発する。

ドライボックス内で上下左右の調整が可能な、吻合モデルを設置するカセット型モジュール機構を考案する。手術操作対象となる臓器の位置や高さを個別に調整可能な構造にする。カセットトレイには各吻合臓器モデルを実装させ、交換可能にする。アダプター全体を当科オリジナルのボックス内に実装させ新しい独自のシミュレーターを開発する。

CT画像3D画像モデルのホログラフィーを用いた患者個別対応セッティングシステムの開発：本シミュレータの特色となる患者個別の吻合モデルを自在にセッティングする機構を確立する。

(2) 術式別習熟度評価システム、術式別難易度分類と訓練プログラムの開発

シミュレーターで行う術者と助手の鉗子動作をリアルタイムモーションキャプチャーで3次元位置データとして運動解析を行い、熟練度やチーム完成度を評価する方法を開発する。訓練プログラムの自動化：シミュレーターでの再建術式を定型化し、各再建術式の難易度の分類や、訓練アルゴリズムを作成する。アルゴリズムに準じた手術操作を再度運動解析し、訓練プログラムが自動的に組み立てられるシステムを構築する。

(3) 術者・助手による高難度消化管再建術式訓練プログラムと遠隔指導システムの開発：独自開発した双方向性画像合成ユニットを流用し、腹腔鏡手術指導システムを新規開発したシミュレータへの導入を試みる。同システムを用いて一つの指導ユニットに対して2組以上の受講ユニットをリンクさせ、双方向性画像支援による指導システムを確立する。

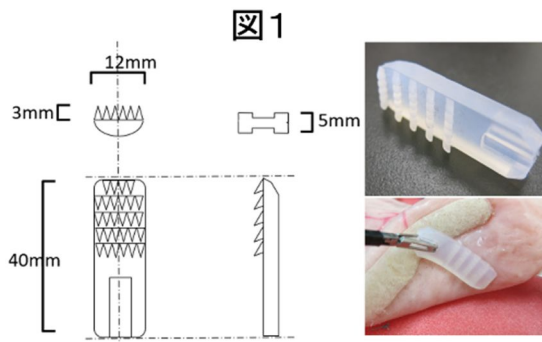
4. 研究成果

(1) 疑似臓器モデルモジュール型腹腔鏡手術シミュレーター開発

3D臓器画像ホログラフィー構築のシステム化：患者個別対応型訓練プログラムの基盤となる個々の患者画像データからの高精度3Dホログラム作成の迅速化を目的に、当施設の画像診断部のマザーコンピューターとオンラインで接続している端末を用いて、膵胆道系に特化した高精度の画像抽出マニュアルの作成並びに客観的評価法のプログラム作成を試みた。CT画像で描出した各種腹部臓器の3Dホログラフィック画像を専用ホログラフィックコンピューターで描出し、体腔内の立体的距離計測データの収集を行った。手術訓練用シミュレーターモデルを体腔の再現と想定し、集積データから算出した立体計測値をモデル内に反映させる情報を取得。計測値から実地モデルの作成を試みた。疑似臓器モデルのモジュール用カセットの開発：交換可能な可動式モジュールカセットのモデルとして、胃および膵の腹腔鏡下再建術を想定したシリコン製疑似臓器を用いた。カセット内にモデルを設置し、可動式モジュールの開発を行った。

開発中の問題点：腹腔内を想定した空間に適合するカセットモデルの小型化は容易でなく、想定していた形状および機構を忠実に再現するモデルの作成は困難であった。現段階でも、国内外で仮想現実(VR)または複合現実技術と実体のシミュレーターを統合した訓練システムは確立しておらず、このシステムの継続的な研究の必要性は高いと考えられる。

手術用補助器具の考案と開発：本研究と合わせて内視鏡手術操作を支援する手術用器具の開発を行った。術中に臓器を安全に圧排する器具で、腹部の手術支援に用いる。従来の医療器具の中にはなく、新規の医療器具開発となった（意願 2019-013718、手術用臓器圧排鉤）。生体臓器を損傷しないように認可された医療用シリコン素材を流用し、生体組織を傷つけない独自の突起用構造の導入や、安全に臓器を固定させるための滑り防止機構の工夫を行いCAD、3Dプリンターを用いた設計、製造を行った。試作品は本研究で用いたシミュ



レーターの疑似臓器をテスト用として利用し、改良を重ねた（図1）。臨床応用による実際の手術における操作性や安全性、有用性を検証する目的で、特定臨床研究での開発に取り組んでいる。

（2）術式別習熟度評価システム、術式別難易度分類と訓練プログラム：独自開発の訓練シミュレーターによる、新しい疑似臓器を用いた胆道再建術式および膵消化管再建術式のプロトコルを開発した。手術手技は術者による操作とそれを支援する助手の動きで構成し、手術用鉗子の動きが制限される中で、最適な鉗子の位置の設定や操作手順の検証を行った。手技実施データの収集では、被験者は手術経験者および未経験者両者を用いた。モーションキャプチャーによる運動解析を利用した評価プログラムは、モーションキャプチャーシステムの精度が不十分であり、データ集積が困難であった。より高精度なセンサーシステムを用いた動作の記録、解析が必要であり、研究の継続が必要と考えられた。

（3）術者・助手による高難度消化管再建術式訓練プログラムと遠隔指導システムの開発：造影CTより抽出した対象腹部臓器の3D情報をVRゴーグルおよびホログラフィックコンピューターで描出させ、外部パソコンとの情報共有を行い、仮想空間を用いた手術指導や外科解剖教育のプロトコル開発を行った。さらにインターネットを介したバーチャルセッションシステムが可能となったことより、4台の専用VRゴーグルならびに2台のホログラフィックコンピューターに本システムを導入した。多人数での仮想空間内での立体的な画像の共有化が可能になり、共有した独自の医療用臓器画像情報をもとに、仮想空間内での手術シミュレーションの遠隔指導プロトコル作成に取り組んだ（図2）。同システムを用いた、多人数での仮想空間内解剖レクチャーを実施し、2D画像によるレクチャーとの解剖学理解度の評価を行った。3D臓器画像情報はホログラフィックコンピューターを用いて開発中のシミュレーターへ重畳表示させることは可能であった。しかしながら同様の2台のシステムとインターネット回線を利用した、同一ホログラム画像のリアルタイム共有による双方向の情報交換システムの構築には、より高度な通信技術とエンジニアリングが求められ、実現には至らなかった。本システムの構築がもたらす、外科技術の遠隔教育の発展は重要な課題であり、継続的な研究が求められる。



バーチャルセッションシステムによる
肝臓の3D映像を用いた遠隔指導

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Maemura K, Mataka Y, Kurahara H, Tanoue K, Kawasaki Y, Ijichi T, Iino S, Ueno S, Shinchi H, Natsugoe S.	4. 巻 51
2. 論文標題 The 1-year outcomes after pancreaticogastrostomy using vertical versus horizontal mattress suturing for gastric wrapping	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Surgery Today	6. 最初と最後の頁 511-519
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00595-020-02134-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nepal P, Mori S, Kita Y, Tanabe K, Baba K, Sasaki K, Kurahara H, Arigami T, Maemura K, Ohtsuka T, Natsugoe S.	4. 巻 5
2. 論文標題 Modified Delta-shaped Anastomosis via the Overlap Method Using Linear Staplers for Colon Cancer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J Anus Rectum Colon	6. 最初と最後の頁 107-111
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.23922/jarc.2020-013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawasaki Y, Iino S, Idichi T, Sakoda M, Tanoue K, Kurahara H, Mataka Y, Maemura K, Ueno S, Natsugoe S	4. 巻 30
2. 論文標題 Anatomic Indications for Using Actuator-driven Pulsed Water Jet for Hepatectomy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Surg Laparosc Endosc Percutan Tech .	6. 最初と最後の頁 e33-e38
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1097/SLE.0000000000000819	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 前村公成、又木雄弘、蔵原弘、田上聖徳、川崎洋太、伊地知徹也、飯野聡、上野真一、杉本真樹、新地洋之、夏越祥次
2. 発表標題 複合現実技術を応用した術中リアルタイムDoppler血管追跡法の開発
3. 学会等名 第75回日本消化器外科学会総会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 前村公成、又木雄弘、蔵原弘、田上聖徳、川崎洋太、伊地知徹也、飯野聡、上野真一、杉本真樹、新地洋之、夏越祥次
2. 発表標題 ドップラー超音波血流計と複合現実3Dホログラフィー技術の併用による術中血管追跡法の試み
3. 学会等名 第120回日本外科学会定期学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kosei Maemura, Yuko Mataka, Hiroshi Kurahara, Kiyonori Tanoue, Yota Kawasaki, Testuya Idichi, Hirotaka Shimomura, Satoshi iino, Hiroyuki Shinchi, Shoji Natsugoe
2. 発表標題 Operative field control using flexible assist arm in laparoscopic distal pancreatectomy
3. 学会等名 第33回日本内視鏡外科学会総会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Maemura K, Mataka Y, Kurahara H, Kawasaki Y, Tanoue K, Iino S, Ueno S, Shinchi H, Ohtsuka T
2. 発表標題 Comparison of late outcomes after vertical versus horizontal mattress wrapping method for pancreaticogastrostomy
3. 学会等名 第33回日本肝胆膵外科学会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前村公成、又木雄弘、蔵原弘、永田祐貴、山尾幸平、基俊介、柳田茂寛、柳政行、瀧田信男、大塚隆生
2. 発表標題 水平マットレ式膵胃吻合(Twin square wrapping 法)における膵管胃粘膜吻合の工夫と成績
3. 学会等名 第76回日本消化器外科学会総会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 手術用臓器圧排鉤	発明者 前村公成	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 意匠、意願2019-013718	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究分担者	盛 真一郎 (Mori Shinichiro) (00620519)	鹿児島大学・医歯学域鹿児島大学病院・助教 (17701)	
研究分担者	又木 雄弘 (Mataki Yuko) (10444902)	鹿児島大学・鹿児島大学病院・特任講師 (17701)	
研究分担者	田上 聖徳 (Tanoue Kiyonori) (50721031)	鹿児島大学・鹿児島大学病院・特任助教 (17701)	
研究分担者	新地 洋之 (Shinchi Hiroyuki) (60284874)	鹿児島大学・医歯学域医学系・教授 (17701)	
研究分担者	夏越 祥次 (Natsugoe Shoji) (70237577)	鹿児島大学・医歯学域医学系・教授 (17701)	
研究分担者	蔵原 弘 (Kurahara Hiroshi) (70464469)	鹿児島大学・医歯学域医学系・助教 (17701)	

6. 研究組織（つづき）

	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 分 担 者	川崎 洋太 (Kawasaki Yota) (90770420)	鹿児島大学・医歯学域医学系・助教 (17701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関