

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01031

研究課題名(和文) 双方向性画像支援機能を持つ胆道・膵再建シミュレーターおよび遠隔指導システムの開発

研究課題名(英文) Development of novel laparoscopic training simulator with interactive image support system and remote educational system for surgical anastomosis in biliary tract and pancreas

研究代表者

前村 公成 (MAEMURA, KOUSEI)

鹿児島大学・医歯学域医学系・准教授

研究者番号：30398292

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：腹腔鏡下胆道・膵消化管再建術専用の画像支援機構内蔵型指導・訓練用シミュレーターを開発した。基本構造は、独自開発の透明アクリル製多孔式天蓋と、内部に人工素材による疑似臓器を用いた膵胃吻合モデル、胆管空腸吻合モデル等を実装し、CCDカメラとディスプレイを装備。2台の訓練用シミュレーター映像が独自作成した画像合成ユニットを介して、双方向性に同時画像を重層表示させるシステムを開発した。各吻合操作に対する手順を設定し、トレーニング用のプログラムを作成した。このプロトコルを用いて、双方向性画像支援システムの有用性について検証を行い、画像合成装置を介した内視鏡外科手術指導の有用性に対する可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：We developed the original laparoscopic training simulator mounted interactive image support system for anastomosis of digestive tract and pancreas or biliary tract. This device equipped transparent multi-hole type canopy. The organ models simulated pancreaticogastrostomy and hepaticojejunostomy were mounted in the device with CCD camera and display. Two simulators were connected through the image composite unit. We established the unique system which allowed to perform interactive laparoscopic operation guidance using these connected training simulators.

We prepared the several training programs for each anastomotic procedure using this simulator. We also verified the practicability and usefulness of this interactive training image support system for our laparoscopic training programs.

研究分野：外科

キーワード：内視鏡外科 画像支援システム 遠隔指導 トレーニングシミュレーター

1. 研究開始当初の背景

膵頭十二指腸切除術 (PD) は習熟した高い技術を必要とする高難度外科手術の一つだが、近年、腹腔鏡技術が導入される中、米国や韓国を中心とした海外での普及が著しい。最新の報告では、膵癌の PD 成績において開腹手術に対する腹腔鏡手術の優越性が短期、長期成績ともに示され、腹腔鏡下 PD の世界的発展は必至である (Ann Surg 2014;260:633-640)。一方、本法では保険の制約もあり施行施設、症例数ともに諸外国と比べ極めて限定的であり、技術の普及に大きな制限がある。その上本術式の周術期合併症率は 25 ~ 40% とされており胆道・膵の再建の成否が短期成績の鍵となっている。しかしながら腹腔鏡による再建手技は非常に高度な技術を必要とするが、専用の訓練施設・指導システムは存在しない。高度な技能を安全に普及させるためには、従来にない胆道・膵の腹腔鏡下再建術を再現可能な専用の訓練用シミュレーターならびに遠隔指導が可能な習得・訓練プログラムが不可欠であり、そのための技術開発が必須であると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、腹腔鏡技術を用いた胆道・膵切除後の臓器再建術を安全かつ高い汎用性を持って実現するために、胆道・膵に対する独自の腹腔鏡下消化管再建術専用の画像支援機構内蔵型訓練用シミュレーターの開発ならびに同技術を利用した双方向性遠隔指導システムの構築を基に、本技術を用いた訓練システムの体系化を目指し、我が国の胆道・膵領域における低侵襲外科手術の発展に寄与することである。達成目標は次の 2 点とする。□解剖構造と把持触覚を忠実に再現した吻合臓器の疑似臓器モデルに画像支援装置を内蔵した、独自の腹腔鏡手術用臓器吻合訓練用シミュレーターを開発すること。複数のシミュレーターを用いた双方向性遠隔指導技術を開発し、遠隔指導を含む総合的訓練システムを構築すること。

3. 研究の方法

(1) 訓練システムの基盤となる、腹腔鏡下胆道・膵消化管再建術専用の画像支援機構内蔵型指導・訓練用シミュレーターの開発：申請者らのこれまでの技術を応用して、生体の解剖構造および質感を精密に再現した胆管・膵と消化管の疑似臓器を装備した実体型シミュレーター、および独自の双方向性画像支援装置を搭載した教育指導型の手術訓練用シミュレーターを開発する。

(2) 画像支援指導および双方向性指導プログラムの作成と遠隔指導システ

ムの構築：複数のシミュレーター映像をリアルタイムに同一化し、画像合成技術により作成・投影される操作映像を用いた独自の双方向性型の手術指導プログラムを開発し、その教育・訓練効果を評価する。構築したシステムをインターネット通信で連携させた、汎用型の遠隔指導モデルとして開発する。

4. 研究成果

腹腔鏡下胆道・膵消化管再建術専用の画像支援機構内蔵型指導・訓練用シミュレーターの開発：体腔を想定したシミュレーター用ボックスの基本設計は、これまで当科にて独自開発した構造である透明アクリル製の多孔処理を施した天蓋で覆い、高感度 CCD カメラと 15 インチモニターディスプレイを取り付ける形とした。内視鏡手術操作のための臓器のセットは、膵胃吻合術を想定した膵および胃のセット、胆管空腸吻合術を想定した胆管および小腸の 2 パターンを設定し、独自に加工した各々の臓器セットをシミュレーター内に装着した。シミュレーター内に装着する臓器モデルは、操作に耐えうる適した素材を検索し、BIOTEKTURE 臓器モデル (ファソテック社製) を流用した。

双方向性遠隔指導技術の開発：前述したプロトタイプシミュレーターは 2 機作成し、両者の CCD カメラから送られた画像信号を、独自作成依頼した画像合成ユニット装置 (AVF-1002M) を通して映像の同時送受信画像を、一つのモニターに合成させる機能を持たせ、独自のトレーニングシミュレーターとしてのプラットフォームを作った。画像合成ユニットは、協力企業とともに制作を依頼し、本訓練シミュレーターシステムに組み込んだ。

トレーニングシミュレーターの検証とトレーニングデバイスとしての精度向上の試み：開発した 2 機のシミュレーターのモニター映像を、画像合成ユニット装置を介して接続し、様々な条件での双方向性での視認状況の検証と最適条件について検討を行った。カメラ映像に対する最適な合成条件下では、双方向に良好な映像を配信し、相同性の高い視認環境が再現された。一方で、送信映像と受診映像が重層表示された際に、両者の判別が困難であることが術者の操作性を障害する問題が明らかになった。また、モニター映像だけでは、指導者側と訓練者側の映像の判別が容易ではなく、単純なプロトコルであっても非指導者側の動作追従が困難であることも判明したため、音声の同時通信機能の必要性が認識された。

吻合モデルの改良とトレーニングプログラムの開発・検証：本シミュレーターで応用可能となる臓器再建再現用の疑似モデルの作成を試みた。腸管腸管吻合モデル、胆管空腸吻合モデル、膵腸間吻合モデル、膵

胃吻合モデルを構築し、各々に対する訓練プロトコルを作成した。各吻合法に合わせて、最適な鉗子操作ポートのセッティングを検証した。シミュレーターの多孔式天蓋は極めて有用であり、様々な吻合形式に合わせたポート設置位置と操作手順の決定が可能となった。

ホログラム映像の利用およびシミュレータとの統合の試み：我々の開発したシミュレーターの機能をさらに有効に活用することを目的に、ホログラム表示が可能な頭部装着型コンピューター（HOLOLENS、Micro ソフト社）を導入した。患者の CT データから抽出した画像情報をもとにホログラム立体映像を作成し、シミュレータ上の模擬臓器の位置に合わせて重層表示を試みた。この仮想現実情報と実際の臓器情報を融合させる試みは、今後の腹腔鏡手術の教育・トレーニング方法を革新的に進歩させる可能性があると考えられた。

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) **査読の有無**

[雑誌論文](計 8 件)

1. Kurahara H, Maemura K, Mataka Y, Sakoda M, Iino S, Kawasaki Y, Arigami T, Mori S, Kijima Y, Ueno S, Shinchi H, Natsugoe S. Significance of Glucose Transporter Type 1 (GLUT-1) Expression in the Therapeutic Strategy for Pancreatic Ductal Adenocarcinoma. *Ann Surg Oncol*. 2018 May;25(5):1432-1439. doi: 10.1245/s10434-018-6357-1. Epub 2018 Feb 5. 査読有り
2. Kawasaki Y, Maemura K, Kurahara H, Mataka Y, Iino S, Sakoda M, Shinchi H, Natsugoe S. Usefulness of fluorescence vascular imaging for evaluating splenic perfusion. *ANZ J Surg*. 2018 Jan 8. doi: 10.1111/ans.14364. 査読有り
3. Nepal P, Maemura K, Mataka Y, Kurahara H, Kawasaki Y, Hiwataishi K, Iino S, Sakoda M, Arigami T, Ishigami S, Shinchi H, Natsugoe S. Management of horizontal duodenal perforation: a report of three cases and review of literature. *Surg Case Rep*. 2017 Dec 1;3(1):119. doi: 10.1186/s40792-017-0397-9. 査読有り
4. Maemura K, Mataka Y, Kurahara H, Kawasaki Y, Iino S, Sakoda M, Ueno S, Arimura T, Higashi R, Yoshiura T, Shinchi H, Natsugoe S. of proton beam radiotherapy and hyper-fractionated accelerated chemoradiotherapy for locally advanced pancreatic cancer. *Pancreatology*. 2017 Sep -

Oct;17(5):833-838. doi: 10.1016/j.pan.2017.07.191. Epub 2017 Jul 27. 査読有り

5. Maemura K, Mataka Y, Kurahara H, Kawasaki Y, Mori S, Iino S, Sakoda M, Uchikado Y, Arigami T, Uenosono Y, Mori S, Ueno S, Shinchi H, Natsugoe S. Effect of visual feedback during laparoscopic basic training using a box trainer with a transparent top. *Ann Gastroenterol Surg*. 1:129-135. 2017. 査読有り
6. Maemura K, Mataka Y, Kurahara H, Kawasaki Y, Iino S, Sakoda M, Uchikado Y, Arigami T, Uenosono Y, Mori S, Ueno S, Shinchi H, Natsugoe S. Gemcitabine and S-1 Induction Chemotherapy Followed by Chemoradiotherapy for Locally Advanced Pancreatic Cancers. *Anticancer Res*. 2017 Jan;37(1):233-237. 査読有り
7. Maemura K, Shinchi H, Mataka Y, Kurahara H, Iino S, Sakoda M, Ueno S, Takao S, Natsugoe S. Assessment of percutaneous laparoscopic ultrasonography-guided core needle biopsy for the advanced diagnosis of unresectable pancreatic cancer. *JOP*. 2015 Jan 31;16(1):45-9. doi: 10.6092/1590-8577/2891. 査読有り
8. Maemura K, Mataka Y, Kurahara H, Mori S, Higo N, Sakoda M, Iino S, Nakajo A, Ishigami S, Ueno S, Takao S, Shinchi H, Natsugoe S. Pancreaticogastrostomy after Pancreaticoduodenectomy Using Twin Square Wrapping with Duct-to-Mucosa Anastomosis. *Eur Surg Res*. 2015;55(1-2):109-18. doi: 10.1159/000433425. Epub 2015 Jun 16. 査読有り

[学会発表](計 13 件)

1. 前村公成、又木雄弘、蔵原弘、川崎洋太、盛真一郎、飯野聡、迫田雅彦、上野真一、新地洋之、夏越祥次；臍部 Zigzag 切開とゲル製アクセスデバイスを用いた膵脾手術の評価、第 30 回日本内視鏡外科学会総会、12 月 9 日、京都、2017。
2. 前村公成、又木雄弘、蔵原弘、川崎洋太、田上聖徳、橋口真征、飯野聡、迫田雅彦、上野真一、新地洋之、夏越祥次；膵液瘻ゼロを目指す膵胃吻合法の改良とその成績、第 79 回日本臨床外科学会総会、ワークショップ、11 月 25 日、東京、2017。
3. 前村公成、又木雄弘、蔵原弘、川崎洋太、橋口真征、飯野聡、迫田雅彦、上野真一、新地洋之、夏越祥次；膵断端の完全被覆化による膵瘻防止を目指した水平マットレス式膵胃吻合法-Twin square wrapping 法、第 72 回日本消化器外科学会総会、

- シンポジウム、7月22日、金沢、2017.
4. K. Maemura, Y. Mataki, H. Kurahara, Y. Kawasaki, S. Iino, M. Sakoda, S. Ueno, H. Shinchi, S. Natsugoe; The utility of vessel tracking technique using Doppler flowmeter for laparoscopic surgery in pancreas、25TH INTERNATIONAL CONGRESS OF THE EUROPEAN ASSOCIATION FOR ENDOSCOPIC SURGERY (E.A.E.S.)、June 16th, Frankfurt Am Main, 2017.
 5. 前村公成、又木雄弘、蔵原弘、川崎洋太、平野拓郎、橋口、飯野聡、迫田雅彦、上野真一、高尾尊身、新地洋之、夏越祥次; 2列水平マツレス式胃ラッピング法による膵胃吻合の安全性と晩期成績、第117回日本外科学会定期学術集会、シンポジウム、4月27日、横浜、2017.
 6. 前村公成、又木雄弘、蔵原弘、川崎洋太、南幸次、飯野聡、迫田雅彦、上野真一、高尾尊身、新地洋之、夏越祥次; 腹腔鏡下膵体尾部切除術における術中ドップラー血流計を用いた血管ナビゲーションの工夫、第29回日本内視鏡外科学会総会、12月8日、横浜、2016.
 7. 前村公成、又木雄弘、蔵原弘、川崎洋太、米盛圭一、南幸次、飯野聡、迫田雅彦、上野真一、高尾尊身、新地洋之、夏越祥次; 水平マツレス式胃ラッピング法による膵胃吻合を用いた膵頭十二指腸切除術後の再建術式、第28回日本肝胆膵外科学会・学術集会、6月3日、大阪、2016.
 8. Maemura K, Mataki Y, Kurahara H, Y. Kawasaki, K. Minami, Mori S, Sakoda M, Iino S, Ueno S, Takao S, Shinchi H, Natsugoe S; The utility of vessel tracking technique using Doppler ultrasonography for laparoscopic surgery in biliary tract and pancreas. Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons 2016, March 17-18, Boston USA, 2016.
 9. 前村公成、又木雄弘、蔵原弘、盛真一郎、肥後直倫、迫田雅彦、飯野聡、上野真一、石神純也、高尾尊身、新地洋之、夏越祥次; The evaluation of new technique for Pancreaticogastrostomy after pancreaticoduodenectomy using twin square wrapping with duct-to-mucosa anastomosis. 第115回日本外科学会定期学術集会、International session, 4月17日、名古屋、2015.
 10. 前村公成、又木雄弘、蔵原弘、川崎洋太、野田昌宏、迫田雅彦、飯野聡、樋渡清司、南幸次、上野真一、高尾尊身、新地洋之、夏越祥次; 安全性および汎用性を追求した新しい膵胃吻合法の開発と評価、第27回日本肝胆膵外科学会学術集会、ビデオシンポジウム、6月11日、東京、2015.
 11. 前村公成、又木雄弘、蔵原弘、川崎洋太、

- 迫田雅彦、飯野聡、上野真一、高尾尊身、新地洋之、夏越祥次; 最も安全な膵消化管吻合を目指した当科膵胃吻合法の開発と評価、第70回日本消化器外科学会総会、シンポジウム、7月17日、浜松、2015.
12. 前村公成、又木雄弘、蔵原弘、川崎洋太、南幸次、飯野聡、迫田雅彦、上野真一、高尾尊身、新地洋之、夏越祥次; 膵・胆道領域の内視鏡外科手術における術中ドップラー血流計を用いた血管ナビゲーションの工夫、第77回日本臨床外科学会総会、ビデオワークショップ、11月27日、福岡、2015.
 13. 前村公成、又木雄弘、蔵原弘、川崎洋太、南幸次、飯野聡、迫田雅彦、上野真一、高尾尊身、新地洋之、夏越祥次; 胆道・膵領域内視鏡外科手術に対する術中ドップラー血流計を用いた血管トラッキング法の応用、第28回日本内視鏡外科学会総会、12月12日、大阪、2015.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前村 公成 (MAEMURAKOSEI)
 鹿児島大学・医歯学域医学系・准教授
 研究者番号：30398292

(2) 研究分担者

盛 真一郎 (MORI SHINICHIRO)
 鹿児島大学・医歯学域附属病院・助教
 研究者番号：00620519

又木 雄弘 (MATAKIYUKO)
 鹿児島大学・医歯学域附属病院・特任講師
 研究者番号：10444902

渡邊 睦 (WATANABE MUTU)
 鹿児島大学・理工学研究科・教授
 研究者番号：50325768

新地 洋之 (SHINCHI HIROYUKI)
 鹿児島大学・医歯学域医学系・教授
 研究者番号：60284874

夏越 祥次 (NATSUGOE SHOJI)
 鹿児島大学・医歯学域医学系・教授
 研究者番号：70237577

蔵原 弘 (KURAHARA HIROSHI)
 鹿児島大学・医歯学域医学系・助教
 研究者番号：70464469

高尾 尊心 (TAKAO SONSHIN)
 鹿児島大学・医歯学域医学系・客員研究員
 研究者番号：80171411