

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26861039

研究課題名(和文) 可変3D画像・タッチレスインタフェースを用いた鏡視下手術ナビゲーションの開発

研究課題名(英文) Surgical navigation for laparoscopic surgery using deformable virtual 3D images and touch less interface.

研究代表者

明石 義正 (AKASHI, Yoshimasa)

筑波大学・医学医療系・講師

研究者番号：50709722

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：消化管は容易に変形するため、3D画像による手術ナビゲーションが普及していないが、本研究で3Dバーチャル画像を任意に変形できる胃切除シミュレーションを開発し、鏡視下胃切除の手術視野を再現することが可能となった。これを実際の手術映像に重ねて表示する拡張現実ナビゲーションは血管走行の把握に有効で、手術安全の観点から有用なツールと考えられた。

また鏡視下手術の映像に指導者の指示を表示できるアノテーションソフトも開発し、非接触型インタフェースにより手術参加者が直接操作でき、主に若手外科医に対する教育ツールとしての有効性が期待できる。

研究成果の概要(英文)：Surgical navigation using 3D virtual images has not been progressed in gastrointestinal (GI) tract surgery, because GI tract is easily moved and deformed during surgery. We developed a novel 3D image-guided navigation by creating software that makes possible to deform virtual 3D images arbitrarily. Augmented reality (AR) navigation, deformed 3D images overlaid on real time laparoscopic surgical field, is helpful to recognize the vessel anatomy and perform surgery safely.

Also, we developed an annotation software for laparoscopic surgery. This software is controlled by touchless interface, so surgeon is possible to use it keeping sterilized condition. We consider that it is promising as educational tool for surgical trainee.

研究分野：外科学一般

キーワード：手術ナビゲーション 可変3D画像 タッチレスインタフェース 内視鏡外科

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 消化管の悪性腫瘍に対する鏡視下手術は近年右肩上がりに増加傾向にある。鏡視下手術の特徴である「拡大視野」は、微細な解剖把握に優れるが、視野が狭いために俯瞰的な解剖把握が難しく、血管などを誤認識する危険性がある。そのため、操作鉗子の位置や腫瘍・血管など重要な解剖を把握できる術中ナビゲーションシステムの開発が望まれている。術前の CT・MRI から 3D 画像を作成する手術ナビゲーションは、整形外科や脳神経外科など対象臓器が固定されている領域で進んでおり実用化されているが、消化管は手術操作により容易に可動・変形する臓器であるため、上部消化管領域では 3D 画像の術前シミュレーション（文献 1、2）や鏡視下手術で重要な範囲にフォーカスした画像を術中利用する（文献 3）という報告は見られるが、鏡視下の変形した手術野を正確に再現する手術ナビゲーションシステムは開発されていない。

(2) また、消化管の鏡視下手術は、腹腔内の内臓脂肪や小腸などを術者と助手の鉗子で効率的に用いて術野展開しなければ手術が安全に遂行できない。従来の開腹手術では指導医が若手執刀医に対して術中に剥離層や脈管を指し示して指導するのは容易であったが、鏡視下手術では助手の手の鉗子が移動すると術野の保持が困難で手術が継続できないため、指導医は口頭で指示を出すしか手段がなく、若手医師に正確な意図を伝達することにしばしば難渋する。

## 2. 研究の目的

(1) 筑波大学消化器外科学講座では、消化管と同様に手術操作で変形する肝臓を対象として、若手外科医への教育を目的とした次世代 3D-CG バーチャル肝切除システムの開発を行ってきた。このシステムの独創的な特色は、術前画像から作成した 3D-CG 画像を自由に變形させてバーチャルに手術シミュレーションが可能な点にある。この画像變形プログラムを応用して、消化管鏡視下手術の操作部位に応じて変化する様々な術野を 3D 画像で再現するソフトウェアを開発し、手術シミュレーション、ナビゲーションへと応用する。

(2) 鏡視下手術では、共通のモニター画像を

共有できるが、同じ映像を見ているにもかかわらず、鏡視下手術の習熟度によって理解度には大きな違いがあり、上級者の正確な意図を初学者が理解するのは困難である。その経験値の差を埋め合わせるために、学会・研究会では鏡視下ビデオ映像を見ながら、専門家がモニター画面上に線をひいたり、部位を指し示したりすることが可能なアノテーションソフトが使用されており、初学者が手技を学ぶのに非常に有用である。このアノテーションを鏡視下手術の術中リアルタイムに実施することで安全な鏡視下手術実施のためのナビゲーション法を開発、応用する。

## 3. 研究の方法

(1) 可変 3D 画像ナビゲーション：患者の術前 CT 画像を元に、筑波大学独自の画像變形プログラムソフトウェアによって變形可能な上部消化管バーチャル 3D 画像を使用した。この画像を術者が術中自在に操作できるようにタッチレス（非接触型）インタフェースを導入してナビゲーションとしての有効性を検証した。

(2) 鏡視下アノテーション：鏡視下カメラからの映像を PC 端末に入力し、そのビデオ映像を術中リアルタイムに簡易編集（静止画キャプチャ、映像上へのペイント）できるソフトウェアを開発した。その操作は、非接触型インタフェースによって手術を行っている執刀医または助手をしている指導医が遠隔操作できるようにした。最終的にはこの手法のナビゲーションとして、または鏡視下手術教育支援ツールとしての有効性を評価した。

## 4. 研究成果

(1) 非接触型インタフェースの術中応用

可変 3D 画像ナビゲーションのプロトタイプとして 3D 画像解析ワークステーション（SYNAPSE VINCENT）により胃癌、肝臓癌患者の CT 画像から 3D サーフェスレンダリング画像を作成。その画像や CT, MRI 画像を手術室内のサブモニター上にサムネイル表示し、手術現場において非接触型インタフェース（AeroTAP, ネクステッジテクノロジー社）を用いることで、滅菌術衣・滅菌手袋を着用した執刀医が術中に必要に応じて自在に画像選択、3D 画像の回転などの操作が可能となるシステムを開発した（図 1）。

これまでは、手術中に画像を選択、操作す

るためには、執刀医が一度滅菌手袋を外して、操作後に再度付け直す、または術野外の医師に口頭で指示を出しながら操作することが必要があり、ストレスフリーな操作が困難で、滅菌手袋、滅菌ガウンの交換など医用資源の無駄もみられた。本非接触型インタフェースによる術中画像操作システムはこれらの時間、資源の無駄を省くことが可能で円滑な手術実施に有用であると考えられる。



(図1：非接触型インタフェースによる術中画像操作)

## (2) 鏡視下アノテーションシステムの開発と検証

腹腔鏡手術のリアルタイムの術中映像に注釈（アノテーション）を表示できるソフトウェア（AeroDRAW）を共同研究企業（ネクステッジテクノロジー）と開発した。このソフトウェアは非接触型インタフェースに対応しており、執刀医が自ら術中に操作することも可能である。

倫理審査委員会の承認を得て、臨床研究として、実際の手術中にこれを操作し、手術補助映像として使用する実証実験を施行し、その有効性を検証した。手術の安全性を確保する観点から、リアルタイムの鏡視下映像は別のメインモニターに必ず表示して画像のタイムラグや注意の欠如による臓器損傷などが生じないように留意し、アノテーション映像はサブモニター上に表示することで、リアルタイムでの編集、表示が可能となった。(図2)

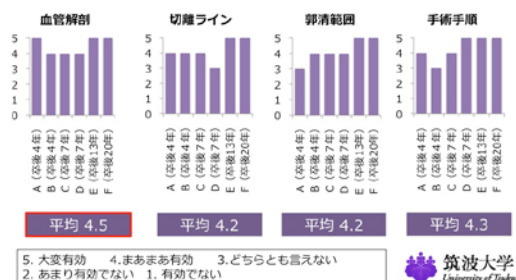


(図2：鏡視下手術アノテーション)

このアノテーションシステムは特に執刀経験の浅い若手外科医、研修中の医学生、手

## 有効性：アンケート

Q.術中のどのような場面で役に立ちそうですか？



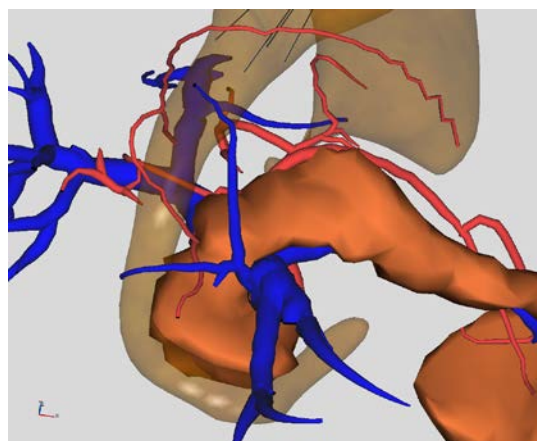
術室看護師などコメディカルスタッフへの術中指導システムとして有用であり、その有効性をアンケート調査により評価したところ、重要な血管解剖の把握において特に有効性が高いことが判明した。(図3) このシステムの有効性を学会で公表するとともに、共同開発企業ネクステッジテクノロジー社により本システムを一般公開し、他施設でも使用可能となっている。

(図3：アンケートによる有効性評価)

## (3) 可変 3D 鏡視下胃切除シミュレーションソフトの開発

筑波大学と IT 企業（レキシー）が産学連携で共同開発した可変 3D 肝切除・膵臓切除シミュレーションソフト「Liversim」を改良し、「胃」及び「膵臓」を任意に変形できる腹腔鏡下胃切除シミュレーションを開発した。これにより、3D で再現された患者の胃を任意に牽引、変形させることが可能となり、複雑に変形する腹腔鏡下胃切除手術の術野をバーチャル画像で再現が可能となった。

(図4)



(図4：可変 3D ソフトで再現した鏡視下胃切除の術野)

また、鏡視下胃切除では胃癌が転移する可能性のあるリンパ節を摘出（リンパ節郭清）するが、これを切除するには膵臓を圧排、牽引することが必要となる。我々の開発したソフトでは「胃」と同時に「膵臓」も変形させることができるため、より再現性の高いバーチ

ャル画像を作成できる。作成した画像は術前の手術シミュレーション及び若手医師や医学生、メディカルスタッフへの教育に効果的な印象であり、現在その有効性検証を継続中である。

#### (4) 可変 3D 画像を用いた AR ナビゲーション法の開発

可変 3D ソフトを用いて作成した鏡視下胃切除シミュレーション画像を、リアルタイムの鏡視下手術映像に重ね合わせて表示（オーバーレイプロジェクション）できるシステムを開発した（図 5）。これにより、腹腔内脂肪の中に埋もれている重要な脈管走行（動脈、静脈）の予測が可能となり、特に経験の浅い執刀医や腹腔内脂肪が非常に多い内臓脂肪型肥満症例などにおいて有用であった。

（図 5：拡張現実ナビゲーション）



このナビゲーション法（拡張現実 AR: augmented reality）の実臨床への応用、有効性の検証を継続中である。

#### <引用文献>

- ① Matsuki M, et al. AJR 2004;183:145
- ② Iino I, et al. Gastric Cancer 2012
- ③ Takiguchi S, et al. Surg Endosc 2004; 18:106

#### 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）

##### 〔雑誌論文〕（計 9 件）

- ① Miyamoto R, Oda T, Hashimoto S, Kurokawa T, Kohno K, Akashi Y, Ohara Y, Yamada K, Enomoto T, Ohkohchi N. Platelet x CRP Multiple value as an indicator of poor prognosis in patients with resectable pancreatic cancer. Pancreas. 査読有. 2017, 46(1): 35-41. DOI: 10.1097/MPA.0000000000000697
- ② Ohara Y, Oda T, Hashimoto S, Akashi Y, Miyamoto R, Enomoto T, Satomi K, Morishita Y, Ohkohchi N. Pancreatic neuroendocrine tumor and solid-pseudopapillary neoplasm: Key immunohistochemical profiles for differential diagnosis. World J Gastroenterol. 査読有. 2016, 22(38):8595-8604. DOI: 10.3748/wjg.v22.i38.8596

- ③ Miyamoto R, Oda T, Hashimoto S, Kurokawa T, Inagaki Y, Shimomura O, Ohara Y, Akashi Y, Enomoto T, Kishimoto M, Yanagihara H, Kita E, Ohkohchi N. Cetuximab delivery and antitumor effects are enhanced by mild hyperthermia in a xenograft mouse model of pancreatic cancer. Cancer Sci. 査読有. 2016, 107(4):514-520. DOI: 10.1111/cas.12888.
- ④ 釵持明, 稲川智, 明石義正, 稲垣勇紀, 里見介史, 大河内信弘. 術前 S-1 単独療法で組織学的 Complete Response が得られた後期高齢者進行胃癌の 1 例. 癌と化学療法. 査読有. 2016, 43(1):115-119 <http://www.pieronline.jp/content/article/0385-0684/43010/115>
- ⑤ 田村孝史, 古屋欽司, 明石義正, 久倉勝治, 福永潔, 大河内信弘. 陰嚢内に下降した巨大 Spiegel ヘルニアの 1 例. 日本ヘルニア学会誌. 査読有. 2015, 2(2):49-53. [http://jhs.mas-sys.com/journal/Journal\\_PDF/HerniaJournal\\_Vo12\\_2.pdf](http://jhs.mas-sys.com/journal/Journal_PDF/HerniaJournal_Vo12_2.pdf)
- ⑥ Oda T, Hashimoto S, Miyamoto R, Shimomura O, Fukunaga K, Kohno K, Oshiro Y, Akashi Y, Enomoto T, Ohkohchi N. The tight adaptation at pancreatic anastomosis without parenchymal laceration: an institutional experience in introducing and modifying the new procedure. World J Surg. 査読有. 2015, 39(8):2014-2022. DOI: 10.1007/s00268-015-3075-8.
- ⑦ Oda T, Hashimoto S, Shimomura O, Yamada K, Ohara Y, Fukunaga K, Oshiro Y, Akashi Y, Enomoto T, Ohkohchi N. Inter-anastomosis drainage tube between the pancreas and jejunum: a novel technique for preventing pancreatic fistula after pancreaticoduodenectomy. J Am Coll Surg. 査読有. 2015, 221(3):e55-60. DOI: 10.1016/j.jamcollsurg.2015.05.010
- ⑧ Tamura T, Inagawa S, Terashima H, Akashi Y, Hisakura K, Enomoto T, Ohkohchi N. A long-term follow-up result of pouchi plasty for severe dysfunction of jejunal pouchi reconstruction after total gastrectomy: a case report. Int Surg. 査読有. 2015, 100(5):954-957. DOI: 10.9738/INTSURG-D-14-00181.1.
- ⑨ 古川健一郎, 田村孝史, 稲川智, 明石義正, 大河内信弘. 横行結腸漿膜より

発生したデスマイド腫瘍の1例. 日本臨床外科学会雑誌. 査読有. 2014, 75(10): 2795-2800. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjsa/75/10/75\\_2795/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjsa/75/10/75_2795/_pdf)

〔学会発表〕(計19件)

- ① 明石義正, 小川光一, 大城幸雄, 久倉勝治, 大原佑介, 榎本剛史, 小田竜也, 大河内信弘. 可変3D-CT imageによる鏡視下胃切除ARナビゲーション. 第89回日本胃癌学会総会. 2017年3月8~10日. 広島国際会議場(広島県広島市)
- ② 小川光一, 明石義正, 大河内信弘. 後期高齢者胃癌における治療戦略. 第89回日本胃癌学会総会. 2017年3月8~10日. 広島国際会議場(広島県広島市)
- ③ 北口大地, 明石義正, 釦持明, 小川光一, 大原佑介, 田村孝史, 久倉勝治, 榎本剛史, 倉田昌直, 小田竜也, 大河内信弘. 腹腔鏡下胃空腸吻合術の有用性の検討. 第29回日本内視鏡外科学会総会. 2016年12月8~10日. パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)
- ④ 小川光一, 明石義正, 田村孝史, 大原佑介, 榎本剛史, 倉田昌直, 大河内信弘. 腹腔鏡下幽門側胃切除後Billroth-I法再建におけるAugmented Rectangle Technique (ART)の有用性. 第29回日本内視鏡外科学会総会. 2016年12月8~10日. パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)
- ⑤ 明石義正, 田村孝史, 小川光一, 大城幸雄, 大原佑介, 榎本剛史, 久倉勝治, 大河内信弘. 内視鏡外科術中アノテーションシステムの有効性と若手修練医教育での可能性. 第29回日本内視鏡外科学会総会. 2016年12月8~10日. パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)
- ⑥ 明石義正, 大城幸雄, 小川光一, 久倉勝治, 大原佑介, 榎本剛史, 小田竜也, 大河内信弘. 可変3D画像と術野映像へのプロジェクションを用いた鏡視下胃癌手術のARナビゲーション. 第25回日本コンピュータ外科学会大会 東京工科大学蒲田キャンパス(東京都大田区)
- ⑦ 明石義正, 小川光一, 大城幸雄, 久倉勝治, 榎本剛史, 大原佑介, 倉田昌直, 小田竜也, 大河内信弘. 可変3D-CT画像と鏡視下アノテーションを用いた腹腔鏡下胃切除ナビゲーション. 第78回日本臨床外科学会総会. 2016年11月24~26日. グランドプリンスホテル新高輪(東京都港区)
- ⑧ 明石義正, 大城幸雄, 田村孝史, 榎本剛史, 久倉勝治, 大原佑介, 小田竜也, 大河内信弘. Augmented reality (AR) navigation of laparoscopic gastrectomy; deformable 3D and its overlay projection. 第71回日本消化器外科学会総会. 2016年7月15日. あわぎんホール(徳島県徳島市)
- ⑨ 明石義正, 田村孝史, 久倉勝治, 大原佑介, 榎本剛史, 小田竜也, 大河内信弘. 「腹腔鏡下幽門側胃切除術のシーン・作業分解による映像解析法」. 第88回日本胃癌学会総会. 2016年3月17日~19日. 別府国際コンベンションセンター(大分県別府市)
- ⑩ 明石義正, 大城幸雄, 田村孝史, 久倉勝治, 大原佑介, 榎本剛史, 小田竜也, 大河内信弘. 「はじめての腹腔鏡手術をサポートする視覚支援ツール「タッチレスアノテーション」の内視鏡外科教育への活用」. 第28回日本内視鏡外科学会総会. 2015年12月10日~12日. 大阪国際会議場(大阪府大阪市)
- ⑪ 明石義正, 田村孝史, 久倉勝治, 大原佑介, 榎本剛史, 小田竜也, 大河内信弘. 「並存疾患を有する胃癌症例に対するE-PASSスコアでの合併症リスク層別化による治療戦略」. 第77回日本臨床外科学会総会(パネルディスカッション). 2015年11月26日~28日. 福岡国際会議場(福岡県福岡市)
- ⑫ 明石義正, 田村孝史, 久倉勝治, 大原佑介, 榎本剛史, 稲川智, 福永潔, 小田竜也, 大河内信弘. 「胃切除後再建パウチ機能不全に対する外科的再介入」. 第45回胃外科・術後障害研究会. 2015年11月6日~7日. ヒルトン名古屋(愛知県名古屋市)
- ⑬ 奥田洋一, 明石義正, 田村孝史, 久倉勝治, 榎本剛史, 大河内信弘. 「臍頭十二指腸切除(PD)術後の残胃癌に対する術前3D-CTシミュレーションの有用性」. 第70回日本消化器外科学会, アクトシティ浜松(静岡県浜松市)
- ⑭ 塚本俊太郎, 明石義正, 稲川智, 古田智章, 大和田洋平, 田村孝史, 久倉勝治, 榎本剛史, 村田聡一郎, 小田竜也, 大河内信弘. 「胃癌手術患者における術前骨格筋量低下と短期・長期予後との関連」. 第115回日本外科学会, 2015年4月16日~18日, 名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)
- ⑮ 大和田洋平, 明石義正, 稲川智, 古田智章, 塚本俊太郎, 田村孝史, 久倉勝治, 榎本剛史, 村田聡一郎, 小田竜也, 大河内信弘. 「T4b臍頭部浸潤胃癌(T4b-Ph)胃癌に対する外科治療の現状と問題点」. 第115回日本外科学会, 2015年4月16日~18日, 名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)
- ⑯ 明石義正, 田村孝史, 久倉勝治, 榎本剛史, 村田聡一郎, 高野恵輔, 橋本真治, 大城幸雄, 福永潔, 小田竜也, 大河内信弘. 超音波凝固切開装置(USAD)単独使用でのLADGを安全に行うための工夫. 第27回日本内視鏡外科学会, 2014年10月2日~4日, ホテルメトロポリタン盛

岡（岩手県盛岡市）

- ⑰ 明石義正, 稲川智, 榎本剛史, 久倉勝治, 田村孝史, 村田聡一郎, 高野恵輔, 橋本真治, 大城幸雄, 福永潔, 小田竜也, 大河内信弘. REGATTA 試験後の StageIV胃癌に対する外科的介入の意義. 第 76 回日本臨床外科学会総会, 2014 年 11 月 20 日～22 日, 郡山市民文化センター（福島県郡山市）
- ⑱ 明石義正, 稲川智, 榎本剛史, 久倉勝治, 田村孝史, 村田聡一郎, 高野恵輔, 橋本真治, 大城幸雄, 福永潔, 小田竜也, 大河内信弘. 胃切除術の治療成績と内臓脂肪計測, E-PASS スコアによる術前リスク評価法の有効性. 第 69 回日本消化器外科学会総会, 2014 年 7 月 16 日～18 日, 郡山市民文化センター（福島県郡山市）
- ⑲ 岩崎健一, 明石義正, 稲川智, 榎本剛史, 久倉勝治, 田村孝史, 小澤佑介, 古屋欽司, 小田竜也, 大河内信弘. 高齢者胃癌患者の術後合併症を回避するためのリスク評価法. 第 69 回日本消化器外科学会総会, 2014 年 7 月 16 日～18 日, 郡山市民文化センター（福島県郡山市）

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

明石 義正 (AKASHI, Yoshimasa)

筑波大学・医学医療系・講師

研究者番号 : 50709722