

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 1 日現在

機関番号：22701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23659762

研究課題名（和文）腹腔鏡手術操作における触覚感の定量化と手術シミュレータでの再現に関する研究

研究課題名（英文）A study of measurement in laparoscopic surgery and its reproduction on surgical simulator

研究代表者

窪田 吉信 (KUBOTA YOSHINOBU)

横浜市立大学・医学研究科・教授

研究者番号：10106312

研究成果の概要（和文）：本研究では、手術時にカンシが受ける力を複数のセンサで計測して数値化すると共に、手術シミュレータでの触覚感の再現手法に関する開発研究を行うことを目的としている。

成果として、手術中に医師が受ける力を連続的に正確に計測できる実時間計測装置を開発し、ブタの腹腔鏡下手術での計測実験を実施した。

また、この解析結果を踏まえ、生体の挙動に近い超弾性体モデルの実時間処理プログラムの研究を行った。実験プログラムを構築し、挙動の不安定性について、圧力項に関する拘束条件を追加することで、安定化した挙動が得られるモデルを構築した。これにより、手術シミュレータに組み込むための基盤モデルが確立できた。

研究成果の概要（英文）：Acquisition of physical quantity in surgery from a living body is an important and necessary step toward the development of sophisticated preoperative surgical simulator, and its validation. We have developed multimodal measuring device that minimally interferes the movement of surgeon. To evaluate the measuring device, we conducted the nephrectomy surgery using laboratory animal and acquired physical quantity successfully.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：泌尿器科学

科研費の分科・細目：泌尿器科学

キーワード：手術シミュレータ 触覚感の数値 腹腔鏡下手術

## 1. 研究開始当初の背景

高度な医学知識と技能が必要である手術手技の訓練法の確立は、大きな課題である。現在、手術手順の訓練には海外製の VR 型手術シミュレータが医学部学生に使われ始め、今後、専門医の手技訓練への適用も研究されている。我々は患者固有のデータを用いる術前訓練シミュレータを開発した。このシミュレータの同定・評価は、現在は医師の主観に基づいて行われており、客観性に欠ける。そこで、手術の数値化をすることで、手術シ

ミュレータが実手術をどの程度再現しているかを客観的に評価することができる。

## 2. 研究の目的

腹腔鏡下手術における血管および対象臓器からの触覚感を計測し数値として定量化する手法を研究する。また、この数値を用いて、手術シミュレータでの模擬手術において触覚感を忠実に再現する手法の開発を行う。

## 3. 研究の方法

本研究では、腎臓をはじめ、泌尿器科関係手術時に鉗子が受ける力を複数のセンサで

計測して数値化すると共に手術シミュレータでの触感覚の再現手法に関して、次のようなアプローチを試みる。

(1) 触感覚を数値化する装置のプロトタイプ開発を行う。装置は、鉗子類に装着した加速度計と、力センサを用いる。センサからの加速度とカメラ画像から鉗子が受ける力を推定し、臓器への力は、直接力センサから推定する。

(2) 上記測定装置を用いて、豚を用いた腹腔鏡下腎摘出手術において外科医が受ける触感覚の測定を行う。また、この測定データから臓器の硬さや張力のパラメータを推定し、事前に持つ CT 値と対応させて数値化する。

(3) 数値化したデータから、シミュレータで触感覚を再現する手法やプログラムの検討を行い手術シミュレータに実装して再現する。

(4) 動物実験と上記(3)を組み込んだシミュレータの触感覚を比較検討する。

#### 4. 研究成果

以下の成果が得られた。

(1) 触感覚を数値化する装置の開発を行った。図1に開発した装置および実験風景を示す。図2のように実際の手術具(カンシ)に歪みセンサ、ポテンシオメータ、加速度センサを取り付ける。センサによる計測できるデータは表1に示す。これらのセンサ信号と内視鏡カメラの映像信号は、PCに取り込まれる。

計測用ソフトウェアは、図3のように、内視鏡映像とそれに同期したセンサの時間応答グラフをリアルタイムに表示し、そのデータは記録できる。解析機能として、記録されたデータを読み込んで、再生することができる。また、センサの信号は、CSV形式で出力し、エクセル等の表計算ソフトを利用して解析することも可能である。

表1. 計測項目および取り付けセンサ

番号	計測項目	使用センサ
1	カンシ先端に加わる外力	歪みセンサ
2	カンシ軸に加わる外力(上下方向)	歪みセンサ
3	カンシ軸に加わる外力(左右方向)	歪みセンサ
4	グリップ部に加わる操作力	歪みセンサ
5	グリップの開閉角度	ポテンシオメータ
6	カンシ操作の加速度(X/Y/Z)	加速度計

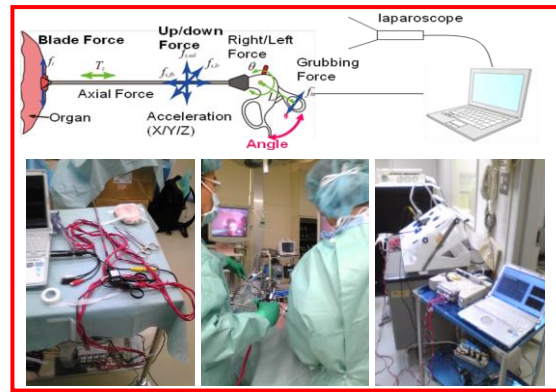


図1. 計測装置および実験風景

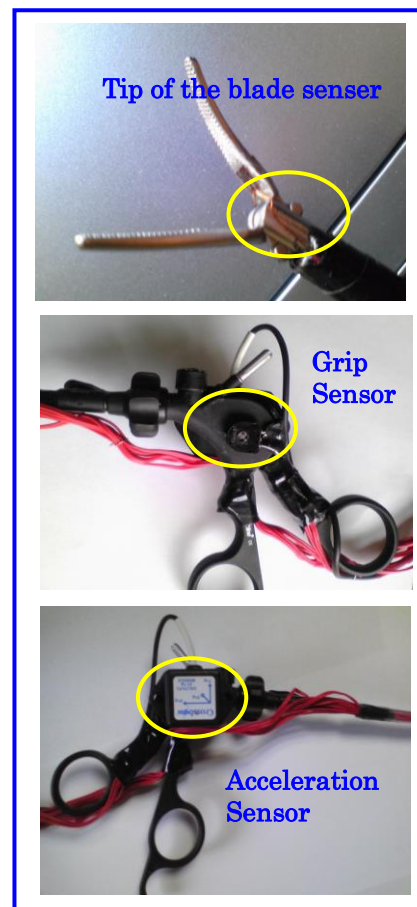


図2. センサを取り付けた計測用カンシ

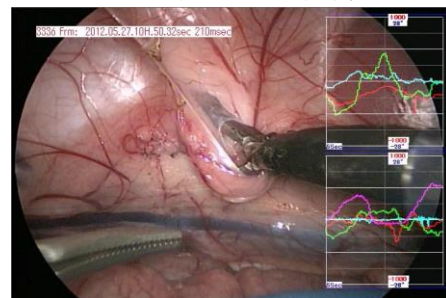


図3. 開発した装置の計測・解析画面

(2) (1) で開発した計測装置を用い、プタを用いた内視鏡手術操作を対象に計測を行った。実手術に近い状態での手術手技の定量化については、本研究者の知る限り、これが初めてのことである。

解析結果を表2に示す。剥離操作では、 $-3.5\sim 4.4$ [N]、縫合操作では、最大  $8.3$ [N]の力が、カンシのグリップ部に加わっていることが判った。また、臓器の硬さの調査として、カンシを腎臓に突き、腎臓が破裂するときにかかる力を測定した。グリップ部に加わる操作力は、 $3.0$ [N]であることがわかった。カンシ先端に加わる力に関しては、カンシ先端の開閉可動部をセンサのケーブルが通っており、断線しやすく、一部計測できなかった。センサの取り付け、もしくは計測法に関して、今後改良を検討する必要がある。

表2. 解析結果

手術操作	カンシ先端に加わる外力	グリップ部に加わる外力
剥離操作	$-1.3\sim 1.1$ [N]	$-3.5\sim 4.4$ [N]
縫合操作	—	$8.3$ [N]
腎臓の破裂	—	$3.0$ [N]

(3) シミュレータで触感覚を再現する手法として、生体挙動により近いと言われている、超弾性体モデルによる変形シミュレーションアルゴリズムを構築した。LBBK条件を満足するモデルを確立し、圧力項の不安定性を解消した。評価として、変形手法の比較シミュレーションを行った(図4)。黒いラインで示す形状の血管モデルを、鉛直した方向に伸張させた。CoFEMは回転補正有限要素法モデル、GNLは幾何学的非線形有限要素法モデル、MRは確立した超弾性体モデルである。他のモデルと異なり、超弾性体モデルは真っ直ぐに伸びている。このモデルを手術シミュレータに実装することで、生体に近い挙動でシミュレーションできるようになると考えている。

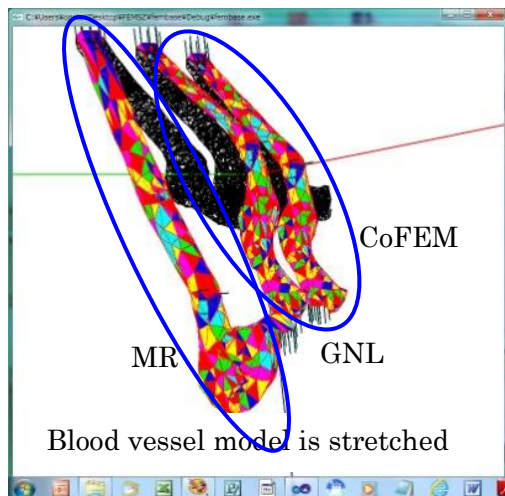


図4. 超弾性モデルによる生体変形シミュレーション

## 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5件)

(1) Makiyama K, Sakata R, Yamanaka H, Tatenuma T, Sano F, Kubota Y. Laparoscopic Nephroureterectomy in Renal Pelvic Urothelial Carcinoma With Situs Inversus Totalis :Preoperative Training Using a Patient-specific Simulator. Urology, 査読有, 80: 1375-1378, 2012. DOI: org/10.1016/j.urology.2012.08.054

(2) Yamanaka H, Makiyama K, Tatenuma T, Sakata R, Sano F, Kubota Y. Preparation for pyeloplasty for ureteropelvic junction obstruction using a patient specific laparoscopic simulator: a case report. Journal of Medical Case Reports, 査読有, 6: 338, 2012. DOI: 10.1186/1752-1947-6-338

(3) Makiyama K, Nagasaka M, Inuiya T, Takanami K, Ogata M, Kubota Y. Development of a patient-specific simulator for laparoscopic renal surgery. International Journal of Urology, 査読有, 19: 829-835, 2012. DOI:10.1111/j.1442-2042.2012.03053.x

(4) 緒方正人, 長坂学, 乾谷徹, 坂本英男, 高波健太郎, 榎山和秀, 窪田吉信. 患者固有の形状データに基づく手術手技訓練用シミュレータ. 情報処理学会論文誌, 査読有, 53(1): 421-431, 2012.

(5) 三宅見季, 榎山和秀, 佐野太, 中井川昇, 窪田吉信. 横浜市立大学附属病院における腹腔鏡下腎盂形成術の手術成績. Japan Journal of Endourology, 査読有, 24: 120-123, 2011

[学会発表] (計7件)

(1) Ogata M, Makiyama K, Yamada T, Nagasaka M, Yamanaka H, Kubota Y, Dynamic measuring of physical properties for developing a sophisticated preoperative surgical simulator: how much reaction force should a surgical simulator represent to the surgeon?, MMVR20, 2013年02月20日~2013年02月23日, サンディエゴ(アメリカ合衆国).

(2) 緒方正人, 長坂学, 山田貴博, 手術シミュレータ/ナビゲーションへの応用をめざした軟組織計算モデルの確立, 150 回グラフィクスと CAD 研究会, 2013 年 02 月 18 日～2013

年 02 月 19 日, 東京大学柏図書館メディアホール (東京都) .

(3) 緒方正人, 榎山和秀, 山田貴博, 長坂学, 山中弘行, 窪田吉信, 腹腔鏡下手術における力計測装置の開発と計測, 第 25 回バイオエンジニアリング講演会, 2013 年 01 月 09 日～2013 年 01 月 11 日, 産業技術総合研究所 (茨城県) .

(4) Ogata. M., Dohi. Y., Yamada. T., Kubota. Y., Implementation and evaluation of hyperelastic model for surgical simulator and navigation, IEEE EMBC, 2012 年 08 月 28 日～2012 年 09 月 01 日, サンディエゴ(アメリカ合衆国) .

(5) 下野誠通, 榎山和秀, 乾谷徹, 長坂学, 緒方正人, 窪田吉信, 河村篤男, ハプティックシステムを用いた医工連携生体実験, 第 29 回日本ロボット学会学術講演会, 2011 年 9 月 9 日, 東京 (芝浦工業大学 豊洲キャンパス) .

(6) 乾谷徹, 緒方正人, 長坂学, 下野誠通, 榎山和秀, 窪田吉信, 手術シミュレータへの応用を想定した生体変形計算モデルパラメータ推定システムの提案, 第 11 回日本 VR 医学会学術大会, 2011 年 8 月 27 日, 奈良県生駒市 (奈良先端科学技術大学院大学) .

(7) 窪田吉信, 患者特異的リハーサル型腹腔鏡手術次世代型シミュレータ, 第 99 回日本泌尿器科学会総会 フロンティア企画 (招待講演), 2011 年 4 月 24 日, 名古屋国際会議場 (愛知県) .

#### [産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 手術シミュレータ用鉗子

発明者: 窪田 吉信,

権利者: 三菱プレジジョン株式会社

種類: 特願

番号: 2012-286773

出願年月日: 2012 年 12 月 28 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 1 件)

名称: 術前シミュレーションのためのモデル生成方法

発明者: 発明者: 窪田吉信・榎山和秀・長坂学・高波健太郎・緒方正人

権利者: 三菱プレジジョン株式会社

種類: 特許

番号: 5215828

取得年月日: 2013 年 3 月 8 日

国内外の別: 国内

(国際出願番号 PCT/JP2009/070441, 国際出願日 2009-11-30,)

[その他]

ホームページ等

<http://www-user.yokohama-cu.ac.jp/~urology/kenkyu/surgicalsimulatorindex.html>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

窪田 吉信 (KUBOTA YOSHINOBU)

横浜市立大学・医学研究科・教授

研究者番号: 1 0 1 0 6 3 1 2

(2) 研究分担者

榎山 和秀 (MAKIYAMA KAZUHIDE)

横浜市立大学・医学部・准教授

研究者番号: 4 0 3 4 7 3 0 7

緒方 正人 (OGATA MASATO)

横浜市立大学・医学研究科・客員教授

研究者番号: 7 0 5 0 1 1 5 4