

Title	腹腔鏡手術用鉗子先端に加わる作用力の計測と剥離操作における技能分析
Author(s)	吉田, 健志; 黒田, 嘉宏; 鍵山, 善之 他
Citation	生体医工学. 2010, 48(1), p. 25-32
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/3291
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

腹腔鏡手術用鉗子先端に加わる作用力の計測と 剥離操作における技能分析

吉田 健志^{*,***}・黒田 嘉宏^{*}・鍵山 善之^{**}・井村 誠孝^{*}
木下 秀文^{***}・松田 公志^{***}・大城 理^{*}

Pressure Measurement in Three Axial Directions on the Tip of the Laparoscopic Forceps and Skill Analysis in a Dissection Procedure

Kenji YOSHIDA,^{*,***} Yoshihiro KURODA,^{*} Yoshiyuki KAGIYAMA,^{**} Masataka IMURA,^{*}
Hidefumi KINOSHITA,^{***} Tadashi MATSUDA,^{***} Osamu OSHIRO^{*}

Abstract In laparoscopic surgery it is difficult to ascertain the force direction from endoscopic images of two organs being dissected by a surgical instrument. Therefore quantitative skill analysis using force sensor with a high degree of freedom would be useful, especially in dissection procedures. We developed a system to measure the force on the tip of laparoscopic instruments with a spatula-shaped-tip. A forceps was cut at 61 mm from the tip, and a 3 DOF sensor that can detect vertical and shear forces was installed between the cutting edges. Two experienced laparoscopic surgeons and three novices carried out a dissection procedure using their dominant hand in an in vitro testing using a kidney of the dead pig. For the vertical and shear forces, the timing and intervals of the peak force, the percentage of the forces and the force applying time are examined. Experts applied the vertical peak force earlier than novices when carrying out a dissection procedure, and then gradually relaxed the force. These results suggest that experts try to keep the instrument tip visualized in the operative field.

Keywords : laparoscopic surgery, force measurement, skill analysis.

1. はじめに

内視鏡手術とは、内視鏡を用いて行う病変の切除などの内視鏡的治療や、複数の穴を体に開け内視鏡と手術器具を挿入し臓器の摘出などを行う内視鏡外科手術の総称である。その中で、腹部臓器が存在する空間である腹腔と呼ば

れる部位で行われる内視鏡外科手術は、腹腔鏡手術と呼ばれる。腹腔鏡手術は近年、低侵襲治療の選択肢の一つとして各外科分野で広く普及しつつある。しかし、過去には重篤な合併症が認められた経緯もあり、現在では安全な腹腔鏡手術の普及を目的とし、技能分析や技能伝達に関心が寄せられ、個々の術者の技術の向上が重要視されている。

一般的に手術操作の習得には、はじめに鉗子のハンドリングや両手の協調運動などの基本操作をトレーニングする必要がある。次に、臓器と臓器を縫う縫合操作や臓器から臓器を剥がす剥離操作などの応用操作をトレーニングすることになる。実際のトレーニングでは、把持部から先端までの距離が長い手術用具の使用や二次元視野下での操作など、技能習得や慣れない操作環境への適応には時間を要し、習得される技能にもバラツキがある。そこで近年、効率よくトレーニングや技能伝達を行うことを目的とし、熟練者と初心者の技能分析が行われている。

現在報告されている技能分析は、鉗子の移動距離や両手の協調運動率、タスクの処理時間などの手術操作の中でも基本的な操作に関するものや、応用操作のうちの縫合操作

生体医工学シンポジウム 2009 発表 (2009 年 9 月, 千葉)
2009 年 7 月 30 日受付, 2009 年 10 月 6 日改訂, 2009 年 11 月 9 日再改訂, 2009 年 12 月 1 日再々改訂
Received July 30, 2009; revised October 6, 2009, November 9, 2009, December 1, 2009.

* 大阪大学大学院基礎工学研究科

Graduate School of Engineering Science, Osaka University

** 大阪大学臨床医工学融合研究教育センター

The Center for Advanced Medical Engineering and Informatics. Graduate School of Pharmaceutical Science, Osaka University

*** 関西医科大学大学院医学研究科医科学専攻生体応答系泌尿器科学

Department of Urology, Graduate School of Medicine, Kansai Medical University

に関するものが多い。

基本操作の技能分析に関しては、手の甲にセンサを取り付け、手の移動距離やタスク処理時間を調べる ICSAD [1, 2] や、手術鉗子の先端の軌跡を明らかにする TrEndo [3] や HUESAD [4] と呼ばれるシステムなどが開発されている。これらのシステムにより、熟練者と初心者の技能が分析され、熟練者は初心者に比べ鉗子の移動距離が短く、タスク処理速度が速いなど技能の差が明らかにされている。

また、応用操作のうち縫合操作は、針を持ちかえる動作、縫合する組織に針を通す運針動作、糸を結ぶ動作など複雑な操作が多いが、基本的には鉗子のハンドリングや両手の協調運動といった基本操作が重要であると考えられる。そのため技能分析に関しては、先述の ICSAD を用いた手の動きやタスク処理時間などに関する技能分析 [5]、縫合操作を行う際の縫合針の動きを予測する報告 [6] などが散見される。また技能伝達に関しては、熟練者がトレーニングの要点を初心者に伝える講習会の開催や、縫合トレーニングを段階的に行うシミュレータの開発など様々な工夫が行われている。

一方、もう一つの応用操作である剥離操作は、鉗子先端に力を加え臓器から臓器を剥がす操作である。剥離操作は力を加える方向が重要であり、操作中に力のかける方向を誤ると出血や臓器損傷などの合併症を引き起こす危険性がある。処置結果をみれば、熟練者と初心者の技術に差があることは明らかであるが、技術の差は定量的には示されていない。現在までに鉗子に加わる力の計測に関して、臓器の固さを計測するセンサの開発 [7] や鉗子の把持部にかかる力の計測 [8] などが報告されているが、剥離操作中の鉗子先端に加わる力を求め技能分析を行っている報告は調べた限り認められない。

従来、手術技術を初心者に習得させる場合、熟練者の操作を観察させ動作の真似をさせることが行われてきた。しかし剥離操作においては、鉗子の動きに加え、加えている力の加減を視覚的に観察して理解しなければならない。実際、剥離操作が行われている内視鏡画像から加えている力加減を読み取ることや、加えている力を言葉で表現することは難しい。そこで我々は鉗子に加わる作用力を計測するといった工学的手段を用い、術者が加えている作用力を定量化することを考えた。

剥離操作を行う際、術者は鉗子の長軸方向である垂直力と短軸方向であるせん断力の割合を変化させながら剥離を進めていると予想される。そこで、本研究では、鉗子長軸方向と短軸方向の力が計測可能なひずみゲージ式 3 軸力覚センサ [9] を手術用鉗子に組み込み、鉗子先端に加わる垂直力とせん断力の計測を行うことが可能であるシステムを作成した。さらに作成したシステムを用い、作用力の時間的な推移から加えている力の方向を読み取り、熟練者が注意して行っている技能の重要な点を検討することを試み

た。

2. 剥離操作と鉗子先端に加わる作用力

手術は摘出する臓器や病変が存在する場合、臓器や病変などに血液を運ぶ血管を周囲の他の臓器から剥離し血管を結紮・切断し血流を止めた後に、それら臓器や病変を周囲臓器から剥離し摘出を行う。この臓器と臓器を剥がす操作が剥離操作であり、腹腔鏡手術において操作を行う際には、鉗子先端において臓器に力が加えられる操作を行うことになる。腎臓の血管から周囲脂肪組織を剥離する例を図 1 に示す。剥離操作を行う場合、鉗子先端における力は鉗子の長軸方向である垂直力と鉗子長軸方向に対して垂直方向であるせん断力の 2 方向に大きく分けられ、はじめに垂直方向に力を加えた後に (図 1b)、水平方向に力を加える (図 1c) 剥離を行う。熟練者と初心者の操作では、垂直力を加えた後にせん断力を加えるまでの時間や、剥離操作中に加える力の垂直力とせん断力の割合の推移が異なると予想される。

3. 鉗子先端作用力計測システムの概要

鉗子先端作用力計測システムの全体像を図 2 に示す。図 2 左下に示すボックストレーナーは、医師が鉗子操作をトレーニングするために日常的に使用する練習用具である。ボックストレーナー内には、基本操作をトレーニングするための機材や縫合操作をトレーニングするための縫合マットなど練習の器具を自由に置くスペースがある。本研究では、操作対象として死体豚の腎臓を配置した。ボックストレーナー内の様子は内視鏡カメラを通じてモニタに映しだされ、術者はモニタを見ながら手術鉗子を用いてトレーニングを行う。今回作成したシステムでは、ボックストレーナー内で剥離操作を行った際、鉗子先端に加わる作用力と内視鏡カメラの画像がディスプレイに表示される。

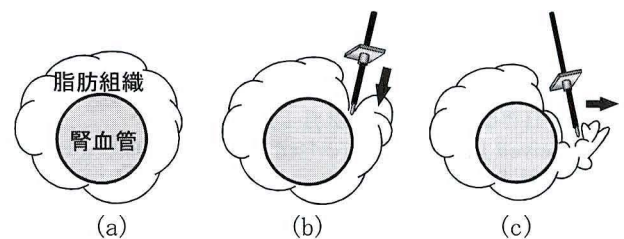


図 1 剥離操作
(a) 脂肪組織と腎血管
(b) 垂直方向の剥離操作
(c) 水平方向の剥離操作

Fig. 1 Dissection procedure.
(a) Fat tissue and renal vessel.
(b) Dissection procedure in the vertical direction.
(c) Dissection procedure in the horizontal direction.

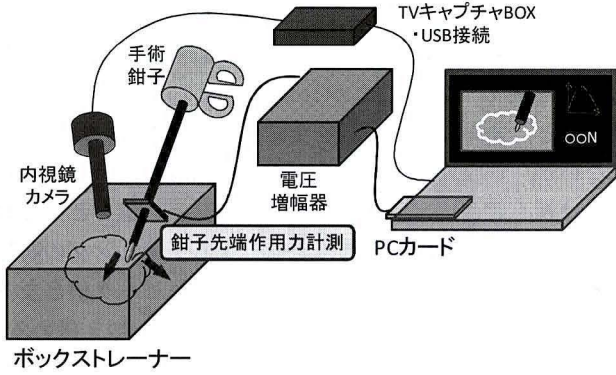


図2 鉗子先端作用力計測システム概略図

Fig. 2 An overview of the system measuring the force on the tip of laparoscopic instrument.

4. 先端作用力計測内視鏡鉗子の作成

手術用鉗子は、全長約 300 mm の先端がへら型である内視鏡手術用鉗子を用いた (図 3a)。鉗子を先端付近で切断し、両側の切断端にネジ型留め具を取り付け、ひずみゲージ式 3 軸力覚センサと切断した鉗子を接続できる形とした (図 3b)。鉗子切断部位は、力覚計測時の内視鏡視野において鉗子先端が力覚センサにより遮蔽されないよう、鉗子先端から一定の距離をおいた。切断した鉗子とセンサを組み合わせた状態で、鉗子先端から力覚センサまでの距離は 61 mm である (図 4)。3 軸方向は、センサ面上に作用する水平方向の力を、せん断力とし (図 3b 上、左右方向を X 軸、上下方向を Y 軸)、センサ面に垂直な方向に作用する力を垂直力 (Z 軸) とした。せん断力は x 軸と y 軸方向の力の値を、それぞれ 2 乗し和の平方根を求め、合力として算出した。X 軸は図 3 における右側方向、Y 軸は上側方向、Z 軸はセンサ下面方向に加わる力が正の値として計測される。

力覚センサの大きさは 20 mm 四方であり、重さは約 3 g (ケーブルを除く)、センサ中央のネジ穴が受感部となっている。今回はセンサに試作鉗子を接続した状態での計測が目標であるため、センサ中央部の受感部で計測された値を補正し先端に加わる力を求めた。センサに鉗子を装着した状態で荷重を行った際のセンサの定格出力は、X 方向が $300 \mu\epsilon$ (0.15 mV/V)、Y 方向が $150 \mu\epsilon$ (0.075 mV/V)、Z 方向が $50 \mu\epsilon$ (0.025 mV/V) であり、これら定格出力の値行列に計算を行い定格容量が XYZ 方向全方向とも 3 N となる。また、センサに 0~3 N の荷重を行った際の出力誤差は、XYZ 方向全方向とも定格出力の 1% 以内である。

5. 表示ディスプレイとシステム全体像

ディスプレイには、内視鏡カメラからの画像と計測された作用力がリアルタイムで表示される。計測された力は、せん断力と垂直力に分けて表示し (図 5)、経時的な計測

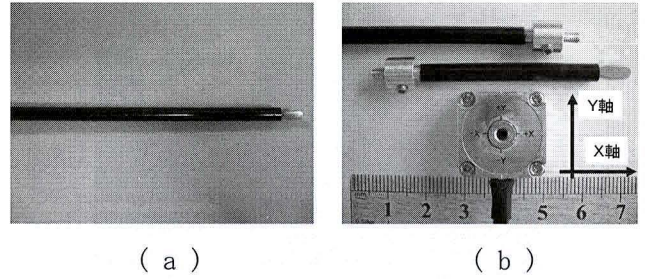


図3 圧計測可能な手術用鉗子
(a) 使用した内視鏡鉗子
(b) 切断した内視鏡鉗子と力覚センサ

Fig. 3 Instrument that can measure the force.
(a) Laparoscopic instrument before modification.
(b) Cut instrument combined with 3DOF sensor.

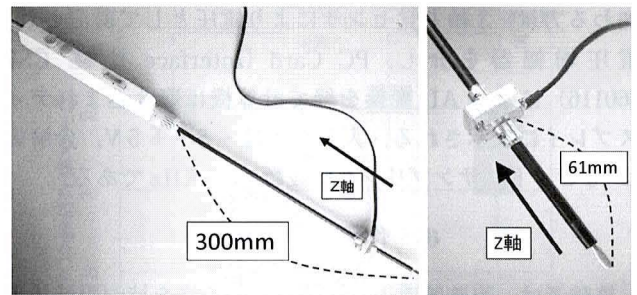


図4 鉗子全体像

Fig. 4 The remodeled instrument.

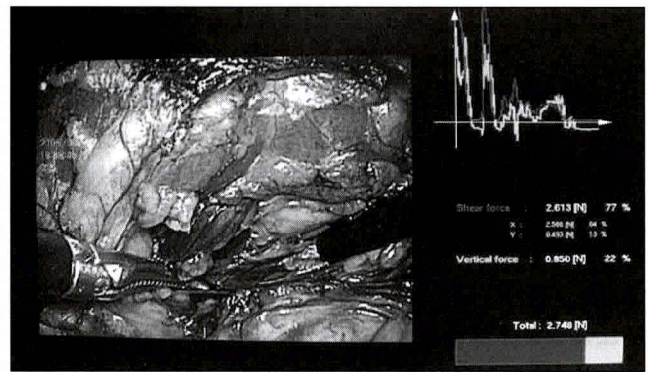


図5 表示ディスプレイ

Fig. 5 Display image.

力の変化を示す波形状のグラフと (図 5 右上、縦軸が計測力を示し、横軸は時間を示す)、計測力の大きさ (図 5 右中、単位: N)、さらに計測力全体のうちの、垂直力とせん断力の割合を示す帯状のグラフ (図 5 右下) として示した。次に実際のシステムの概観を図 6 に示す。図 6 の左下のボックストレーナー内に剥離操作を行う豚の臓器を置き、ボックストレーナー上面からセンサを組み込んだ手術用鉗子を挿入し剥離操作を行う。操作を行っている様子はボックストレーナーに付属の内視鏡カメラにより撮影されノート型 PC の画面上に表示される。術者は、表示画面上



図 6 システム概観

Fig. 6 Total system.

の内視鏡画像を確認しながら剥離操作を行う。鉗子先端に加わる力は、3軸力覚センサにより電圧として計測され、電圧増幅器を介し、PC Card (Interface 社製, CSI-360116) による AD 変換を経て計算機に取り込まれディスプレイに表示される。入力電圧は $-5 \sim +5$ V, 分解能は 16 ビット, サンプリング周波数は 10 KHz である。

6. 作用力計測実験

被験者は、腹腔鏡手術認定医[10]の資格を持つ腹腔鏡手術熟練者 2 名と執刀経験の無い初心者 3 名とした。標本は、死体豚の腎動脈付きの腎臓を 1 人の術者に対し 1 つ用意した。標本の選択条件は、腎臓、腎動脈、腹部大動脈の腎動脈起始部と同部位を含む腹部大動脈の壁が含まれることとした。剥離操作中に腎臓と腎動脈の位置が変化しないよう注射針を用いて、腎動脈起始部付近の大動脈壁および、腎周囲の脂肪をゴム板に固定した。

標本をボックストレーナー内に置いた状態で、被験者の利き腕にセンサつき鉗子を、利き腕と反対側にはセンサを組み込んでいない同じタイプの先端へら型の鉗子を用意して実験を行った。また、鉗子先端の入射角や操作方法が一定となるようにボックストレーナーの鉗子挿入部であるポート位置の固定を行った。実験の際、熟練者と初心者双方で入射角や操作方法に大きな差は認めなかった。

腎動脈の周囲を覆っている脂肪組織を剥離し、腎動脈の側面を露出させる操作 (図 1) を計測の対象とした。臓器に触れた時点を剥離操作の開始とし、鉗子が臓器から離れた時点を剥離操作終了とした。また剥離開始から剥離終了までを 1 回の剥離操作とし、実験では術者に剥離操作を 10 回行うよう指示した。剥離操作が連続して行われていた場合や臓器から鉗子が外れ操作が途中で終了した場合は、計測対象から除外した。

7. 実験結果

熟練者と初心者の計測結果の 1 例を図 7a, b に示す。グラフ横軸を剥離鉗子から終了までの時間 (秒) とし、縦

軸を力の大きさ (N) とする。図 7a, b より、剥離操作を行う際、術者は垂直力と、せん断力の割合を変化させながら剥離を進めていることが分かる。図 7a, b の結果を比較すると、せん断力の経時的な推移に大きな違いは認められないが、垂直力の推移では、全体の剥離時間において熟練者は初心者と比べ早いタイミングでピーク値をとっており、せん断力と垂直力のピーク値となるタイミングの間隔が長い。またせん断力、垂直力がそれぞれピーク値となる時の各力の比も異なり、さらに短時間で力を加え緩める、または時間をかけて力を加え緩めるといった力の作用時間の違いも予想される。以上より熟練者と初心者の剥離操作中の作用力の違いを検討するため、各力のピーク値となるタイミング、各力のピーク値の間隔、ピーク時の各力の比、力の作用時間の割合の 4 項目を検討した。

ピーク値のタイミングは、1 回の剥離操作に要する時間が操作毎に異なるため、剥離時間全体に対し、各力がピーク値となる時間を式 (1) で示すように百分率で求めた。垂直力がピーク値となるまでの時間を PVT (S), せん断力がピーク値となるまでの時間を PST (S), 剥離時間全体を T (S) とし、垂直力がピーク値となるタイミングを T_{PV} (%), せん断力がピーク値となるタイミングを T_{PS} (%) と表すこととした。図 7a で、垂直力のピーク値のタイミングは 30%, せん断力のピーク値のタイミングは 76% である。

$$T_{PV} = \frac{PVT}{T}, \quad T_{PS} = \frac{PST}{T} \quad (1)$$

ピーク値の間隔は、せん断力のタイミングが垂直力のタイミングに比べ大きい値をとることが多いことから、せん断力がピーク値となるタイミングから垂直力がピーク値となるタイミングを式 (2) に示すように、引き算を行うことで求めた。図 7a では 46% で、図 7b では 21% である。

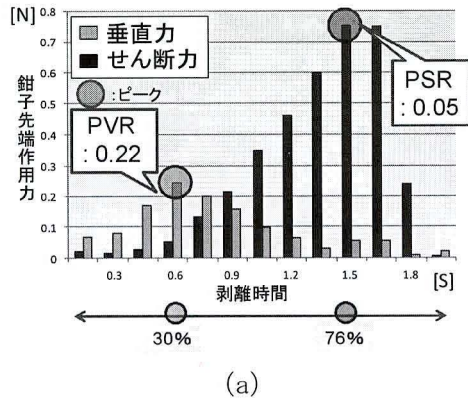
$$\text{ピーク値の間隔 (\%)} = T_{PS} - T_{PV} \quad (2)$$

ピーク時の各力の比は、垂直力がピーク値の時の垂直力の値を PVF_{VF} (N), せん断力の値を PVF_{SF} (N) とし、せん断力がピーク値の時の垂直力の値を PSF_{VF} (N), せん断力の値を PSF_{SF} (N) と表し、垂直力がピーク値の時の比を PVR (%), せん断力がピーク値の時の比を PSR (%) とし、式 (3) に示すように求めた。

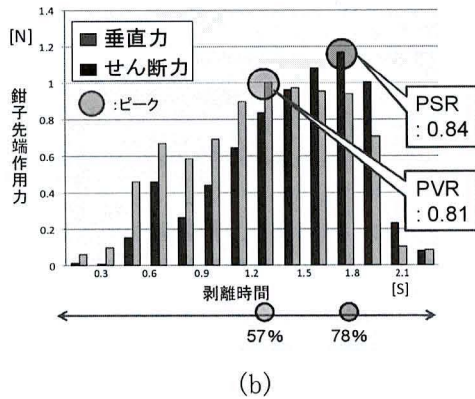
$$PVR = \frac{PVF_{SF}}{PVF_{VF}}, \quad PSR = \frac{PSF_{VF}}{PSF_{SF}} \quad (3)$$

力の作用時間の割合は、各力のピーク値の 75% 以上、50% 以上、25% 以上の力を加えている時間を求め、剥離時間全体に占める割合を算出し比較を行った。図 8 は、図 7 に示す熟練者と初心者の垂直力の推移のみをグラフと示したものである。X% 以上の垂直力を加えている時間を $T_{VF X\%}$ (S) と表し、せん断力は $T_{SF X\%}$ (S) と表し、 $W_{VF X\%}$ と $W_{SF X\%}$ を式 (4) のように求めた。

$$W_{VF X\%} = \frac{T_{VF X\%}}{T}, \quad W_{SF X\%} = \frac{T_{SF X\%}}{T} \quad (4)$$



(a)



(b)

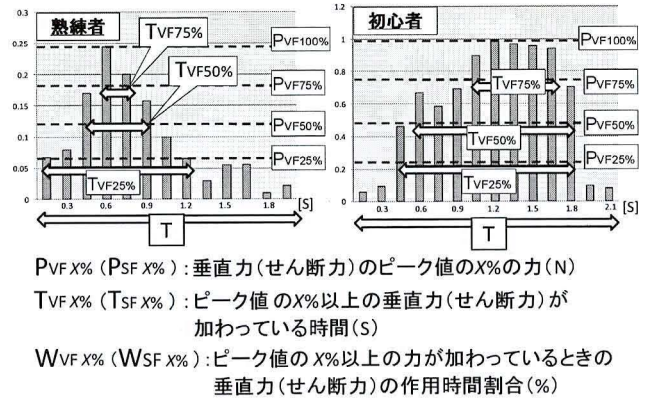
図7 剥離操作時の作用力計測結果
(a) 熟練者の作用力
(b) 初心者の作用力

Fig. 7 Measuring the force during a dissection procedure.
(a) Dissection procedure by an experienced laparoscopic surgeon.
(b) Dissection procedure by a novice.

$W_{VF X\%}$ と $W_{SF X\%}$ の値が小さい場合、術者が力を加え緩める動作にかかる時間が短く、値が大きい場合は時間を長くかけていると考えることができる。図8の一例では、熟練者の垂直力の経時的推移は、初心者にとって作用時間が短いことが分かる。

今回の計測は各術者10回行ったが、剥離操作を連続して行った場合が認められたため、熟練者2名の計測回数は計18回、初心者3名の計測回数は計28回となった。両群間の検定には、統計学的手法としてMann-Whitney's U-testを用い、 $p < 0.05$ を有意であると判断した。また、各力のピーク値となるタイミング、各力のピーク値の間隔、ピーク時の各力の比、力の作用時間の割合の4項目の値に関しては、被験者数が少なく外れ値が多いため、中央値を求め箱ひげ図を用いて評価を行った。

ピーク値となるタイミングを集計した結果(図9)は、熟練者、初心者ともに、せん断力に比べ垂直力が早いタイミングでピーク値をとる結果となった($p < 0.05$)。また、 T_{PS} を熟練者と初心者と比較したところ、熟練者は中央値:79.5%であったのに対し、初心者は82.8%と差を認めなかった($p > 0.05$)。しかし T_{PV} では熟練者が33.3%



$PVF X\%$ ($PSF X\%$): 垂直力(せん断力)のピーク値のX%の力(N)

$TVF X\%$ ($TSF X\%$): ピーク値のX%以上の垂直力(せん断力)が加わっている時間(S)

$W_{VF X\%}$ ($W_{SF X\%}$): ピーク値のX%以上の力が加わっているときの垂直力(せん断力)の作用時間割合(%)

図8 力の作用時間の一例

Fig. 8 A case of the force applying time.

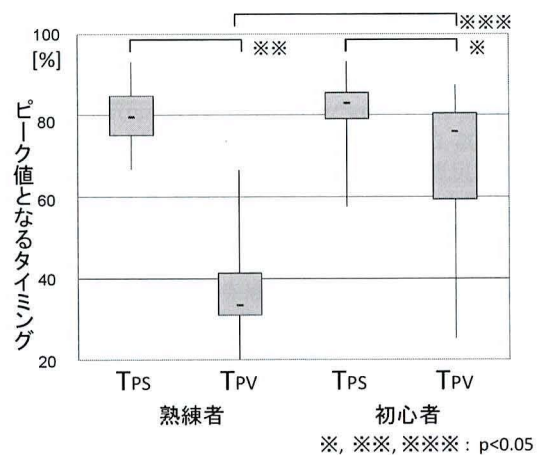


図9 ピーク値のタイミング

Fig. 9 The percentage of time to the peak force.

初心者が75.9%と、熟練者が剥離開始後、早くピークとなる結果となった($p < 0.05$)。

ピーク値の間隔の結果(図10)は、熟練者の間隔の中央値が40.8%、初心者が10.4%であり、熟練者のピーク値の間隔は初心者と比べて長いという結果となった($p < 0.05$)。

各ピーク値におけるせん断力と垂直力の比を図11に示す。熟練者ではPSRの中央値が0.16、PVRが0.33、初心者ではPSRが0.50、PVRが1.65であった。せん断力がピーク値の時、熟練者と初心者のPSRの中央値は1以下であることから、ともに垂直力の値がせん断力の値よりも小さいことがわかるが、熟練者の垂直力の値の方が、より小さいという結果となった($p < 0.05$)。また、垂直力がピーク値の時のPVRに関しては、初心者のPVRの中央値は1以上であり熟練者は1以下であることから($p < 0.05$)、垂直力の値に比べて初心者はせん断力の値が大きく、熟練者はせん断力の値が小さくなると考えられた。

力の作用時間の検討結果を図12に示す。熟練者の $W_{SF75\%}$ の中央値は37.3%、 $W_{SF50\%}$ は51.5%、 $W_{SF25\%}$ は

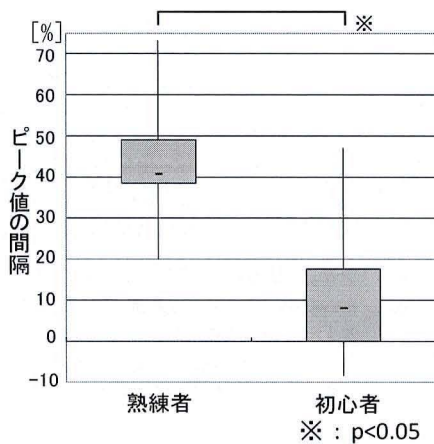


図 10 ピーク値の間隔

Fig. 10 Intervals of the vertical peak force to the shear peak force.

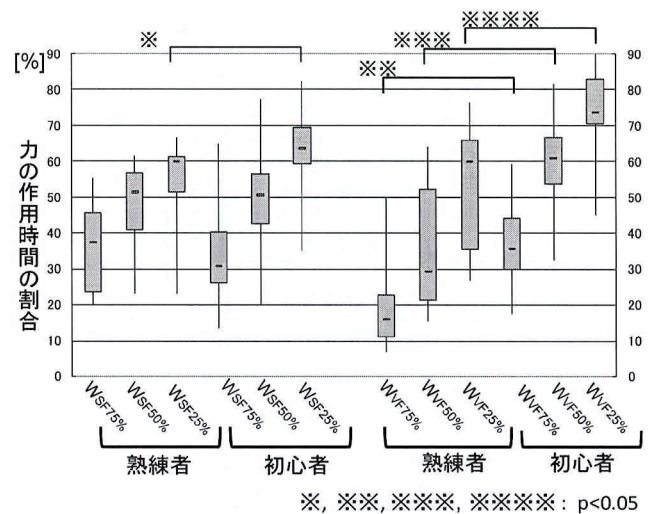


図 12 力の作用時間の割合

Fig. 12 The percentage of the force applying time.

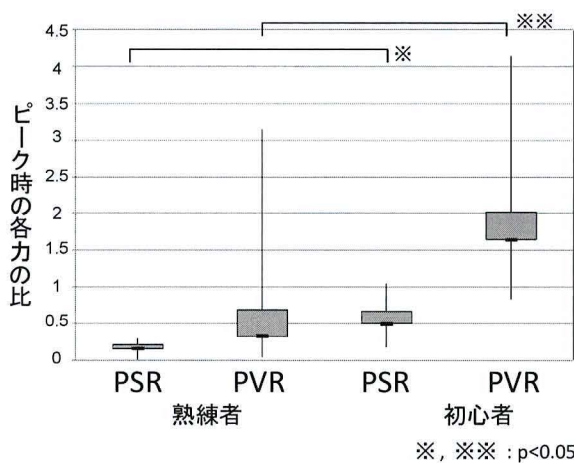


図 11 ピーク時の各力の比

Fig. 11 The ratio of the shear and vertical force at the peak force.

60.0%, $W_{VF75\%}$ は 16.0%, $W_{VF50\%}$ は 29.3%, $W_{VF25\%}$ は 60.0% であり, 初心者の $W_{SF75\%}$ の中央値は 30.8%, $W_{SF50\%}$ は 50.7%, $W_{SF25\%}$ は 63.6%, $W_{VF75\%}$ は 35.5%, $W_{VF50\%}$ は 61.0%, $W_{VF25\%}$ は 73.6% であった. W_{SF} では, $W_{SF25\%}$ の値のみ, 熟練者と初心者間に有意差を認めたが ($p < 0.05$), W_{VF} では, $W_{VF75\%}$, $W_{VF50\%}$, $W_{VF25\%}$ において熟練者の値は初心者と比べ小さい値をとる結果となった ($p < 0.05$). この結果から, せん断力の作用時間に関しては熟練者と初心者に大きな差を認める傾向はないが, 垂直力を加え緩める動作にかかる時間は, 初心者に比べ熟練者は短時間であると推察できた.

結果をまとめると, 熟練者は初心者に比べ垂直力がピークとなるタイミングが早く, ピーク値の間隔が長い. さらに, 垂直力がピークの時は, せん断力の値は初心者と比べ小さく, せん断力がピークの時の垂直力の値も小さい. また, 垂直力の作用時間においても, 初心者と比べると有意

に短時間であった. 以上より, 被験者が加える作用力の方向を推察すると, 熟練者は剥離開始後, 垂直力を加えた後に垂直力を緩めながら, せん断力を加えており, 一方で初心者は, 剥離開始後から終了までに, 2方向の力を同時に強めながら加えていると考えられた.

8. 考 察

一般的に剥離を行う臓器の存在する部位の奥側には, 他の臓器や血管が隠れて存在する可能性がある. そのため術者は剥離操作を行う際, 鉗子先端を直視で確認できない部位へ進め過ぎないように注意を払う必要がある. 今回の結果では熟練者は, 剥離開始後に垂直力を加えた後に, 緩める時間を比較的短くしながら, せん断力を加えていた. このことから, 鉗子先端が剥離を行っている部位より奥へと進み過ぎないように操作を行っている可能性があると推察できた. 一方で初心者は, 剥離開始から終了までに, 2方向の力を, 剥離時間後半にピークを認めるように時間をかけ力を加えているという結果となった. このことから, 鉗子が剥離を行っている部位より奥へと進み, 先端が確認できなくなる操作を行っている可能性があると推察できる. 以上より初心者の操作では, 隠れた臓器や血管を損傷する可能性があると考えられた.

また, 初心者の剥離技術を熟練者の剥離技術に近づけるには, 垂直力とせん断力のピークの間隔をあけ, 垂直力を加え緩める時間をできる限り短時間とし, 垂直力が緩み始めたところに, せん断力を加え始めその後にピークとするように指導する必要があると考えられる. 鉗子の動きとしては, 垂直方向の力を加えた後, 水平方向に力を推移させる際に, 剥離を行っている部位より鉗子が奥へ進みすぎないように指導することが必要であると考えられる.

今回の検討では, 熟練者の技能分析を行い鉗子の動きを推察するには, 被験者数が充分ではないと考えられる. し

かし今回の結果から本システムを利用することで、個々の術者が加えている作用力を理解することが可能であると考えられた。今後、被験者数を増やし更なる検討を行いたいと考えている。また、現行のシステムでは、片腕の作用力の計測しか行えないという問題点もある。腹腔鏡手術においては、両腕の協調運動にも注目する必要があることから、今後は両側同時に鉗子の先端作用力が計測可能であるシステムの作成を併せて行う予定である。

将来的には本システムを、トレーニングボックスに組み込むことを目標としている。トレーニングシステムや指導ツールとして使用すれば、力の方向という情報をもとに助言を行う新しい指導方法の提案が可能となり、安全を意識した手術技術の習得の補助を行うことが期待できる。さらに剥離操作中のディスプレイの画像を録画することで、その場に居合わせなかった人物にも術者の作用力を伝えることができると考えられ、様々な用途での使用を期待したい。

9. おわりに

今回我々は、腹腔鏡手術用鉗子先端に加わる力の計測が可能なシステムを開発した。本システムは3軸力覚センサにより、剥離操作中の手術用鉗子先端に加わる作用力の方向の分析を可能とする点が特徴的である。死体豚の腎血管を剥離する際の利き腕における鉗子先端作用力の計測実験を行い、剥離開始から終了までの垂直力とせん断力の時間的推移に関し検討を行ったところ、熟練者は鉗子先端が剥離部位より奥へと進み過ぎないように操作を行っているのに対し、初心者は鉗子が剥離部位より奥へ進めすぎてしまい先端が確認できなくなる操作を行っているかと推察できた。

謝辞 本研究の一部は大阪大学グローバル COE プログラム「予測医学基盤」の支援を受けた。また本研究で使用した鉗子の作成にあたり、ご協力頂いた大阪大学大学院基礎工学研究科 荒木勉教授、坂口良幸技官に篤く御礼申し上げます。

文 献

1. Moorthy K, Munz Y, Sarker SK, Darzi A: Objective assessment of technical skills in surgery. *Brit Med J.* **327**: 1032-1037, 2003.
2. Datta V, Mackay S, Mandalia M, Darzi A: The use of electromagnetic motion tracking analysis to objectively measure open surgical skill in the laboratory-based model. *J Am Coll Surg.* **193**: 479-485, 2001.
3. Chmarra M, Jansen F, Grimbergen C, Dankelman J: Retracting and seeking Movements during laparoscopic goal-oriented movements. Is the shortest path length optimal? *Surg Endosc.* **22**: 943-949, 2008
4. Egi H, Okajima M, Yoshimitsu M, Ikeda S, Miyata Y,

Masugami H, Kawahara T, Kurita Y, Kaneko M, Asahara T: Objective assessment of endoscopic surgical skills by analyzing direction-dependent dexterity using the Hiroshima university endoscopic surgical assessment device (HUESAD). *Surg Today.* **38**: 705-710, 2008.

5. Moorthy K, Munz Y, Dosis A, Bello F, Chang A, Darzi A: Bimodal assessment of laparoscopic suturing skills. Construct and concurrent validity. *Surg Endosc.* **18**: 1608-1612, 2004.
6. Nageotte F, Zanne P, Mathelin M, Doignon C: A circular needle path planning method for suturing in laparoscopic surgery. (<http://eavr.u-strasbg.fr/~christophe/publications/icranZMD.pdf#search='A circular needle path planning method for'>) [accessed July 17, 2009]
7. 川原知洋, 岡島正純, 金子真, 宮田義浩, 赤山幸一, 住谷大輔, 吉田誠, 吉満政義: 非接触硬さセンサの内視鏡外科手術における応用. *日鏡外科会誌.* **13**: 735-741, 2008.
8. 木口量夫, 清水聡, 佐々木誠, 山本元司, 長谷川勉, 倉爪亮, 小西晃造, 中島秀彰, 橋爪誠: 腹腔鏡下手術シミュレータ開発—腹腔鏡下手術における鉗子操作時の力学的特性—. (http://fortune.is.kyushu-u.ac.jp/~kurazume/papers/ROBO MEC06-5-1A1_A11.pdf) [accessed July 17, 2009]
9. 伊藤彰人, 辻内伸好, 小泉孝之, 大島裕子, 野尻芳郎, 土屋陽太郎, 平間直道, 黒木史郎: ロボット指のための小型触覚センサの開発. *日本機械学会論文集(C編).* **72**: 2721-2726, 2006.
10. 松田公志, 小野佳成, 寺地敏郎, 内藤誠二, 馬場志郎, 三木恒治: 泌尿器腹腔鏡技術認定制度の現状と将来. *日本内視鏡外科学会雑誌.* **11**: 131-136, 2006.

吉田 健志 (ヨシダ ケンジ)

2003年関西医科大学卒。2003年～関西医科大学泌尿器科学医員。2008年～関西医科大学泌尿器科学大学院入学。2008年4月～2009年9月大阪大学大学院基礎工学研究科機能創成専攻生体工学領域特別研究学生、現在に至る。現在、関西医科大学泌尿器科学大学院生。専門研究分野：泌尿器科学。

所属学会名：日本泌尿器科学会、日本 Endourology・ESWL学会、日本内視鏡外科学会。



黒田 嘉宏 (クロダ ヨシヒロ)

2000年京都大学総合人間学部卒。2005年京都大学大学院情報学研究科博士後期課程修了。同年京都大学大学院医学研究科特任助手。2006年大阪大学大学院基礎工学研究科助教、現在に至る。現在、大阪大学大学院基礎工学研究科機能創成専攻生体工学領域大城研究室助教。専門研究分野：医用VR、触覚情報処理、教育訓練システム。

所属学会名：ACM, IEEE, 日本バーチャルリアリティ学会、生体医工学学会、日本VR医学会。



鍵山 善之 (カギヤマ ヨシユキ)

2003 年神戸大学工学部情報知能工学科卒業。2007 年神戸大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了。同年神戸大学学術振興会特別研究員 (PD)。2008 年大阪大学臨床医工学融合研究教育センター特任助教。現在に至る。現在、大阪大学臨床医工学融合研究教育センター特任助教。専門研究分野：医用画像解析、手術計画システム、フィジウムシミュレーション基盤構築。

所属学会名：日本生体医工学会、日本コンピュータ外科学会、日本機械学会。



井村 誠孝 (イムラ マサタカ)

2001 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程。2001 年 10 月奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手。2007 年 4 月同助教。2009 年 4 月大阪大学大学院基礎工学研究科准教授。現在に至る。現在、大阪大学大学院基礎工学研究科機能創成専攻生体工学領域准教授。専門研究分野：バーチャルリアリティ、コンピュータグラフィクス、医用画像処理。

所属学会名：IEEE、日本バーチャルリアリティ学会、情報処理学会。



木下 秀文 (キノシタ ヒデフミ)

1988 年京都大学医学部卒。2000 年～京都大学医学部附属病院泌尿器科学助手。2003 年～京都大学医学部附属病院泌尿器科学講師。2004 年～関西医科大学泌尿器科学准教授。現在、関西医科大学泌尿器科学准教授。医学博士。専門研究分野：泌尿器科学、泌尿器科腫瘍。

所属学会名：日本泌尿器科学会、日本 Endourology・ESWL 学会、日本内分泌外科学会、日本内視鏡外科学会。



松田 公志 (マツダ タダシ)

1978 年京都大学医学部卒。1985 年～京都大学医学部附属病院泌尿器科学助手。1991 年～関西医科大学泌尿器科学助教授。1995 年～関西医科大学泌尿器科学教授。現在、関西医科大学泌尿器科学教授。医学博士。専門研究分野：泌尿器科学、男性学、泌尿器腹腔鏡手術。

所属学会名：日本泌尿器科学会、日本 Endourology・ESWL 学会、日本内視鏡外科学会、日本内分泌外科学会。



大城 理 (オオシロ オサム)

1990 年大阪大学基礎工学研究科博士後期課程修了。1993 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手。1994 年奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術調査センター助教授。2003 年大阪大学大学院基礎工学研究科教授。現在に至る。現在、大阪大学大学院基礎工学研究科機能創成専攻生体工学領域教授。専門研究分野：医用画像処理、生体信号処理。

所属学会名：生体医工学会、システム制御情報学会、電子通信情報学会。

