

令和元年6月13日現在

機関番号：34417

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K20167

研究課題名(和文)内視鏡下手術操作における技術分析と新規教育方法の開発

研究課題名(英文) Skill analysis of urological robotic surgery and development of new educational method

研究代表者

吉田 健志 (YOSHIDA, Kenji)

関西医科大学・医学部・助教

研究者番号：40572673

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、ロボット補助下前立腺全摘除術における尿道膀胱吻合操作に注目し、吻合モデルにおける尿道への作用力計測を行い、技術差を分析することが目標である。前立腺手術における膀胱尿道吻合手技は、糸針を使用し吻合を行うが、尿道への過度の荷重は、尿道組織の損傷に繋がる。3軸力覚センサを組み合わせた骨盤膀胱尿道吻合モデルを作成し、作用力計測を行える環境を作成した。吻合時間は熟練者が短く、垂直方向の作用力、手前に尿道を引いてしまう力は初心者のほうが大きいという結果であった。現在ステレオ画像に処理を加え、作用力を3次的に重畳表示するシステムを作成し視覚的なフィードバック法を模索している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

腹腔鏡操作やロボット補助操作は触覚の欠如から、指導者のみならず術者自身も鉗子作用力の理解困難な面がある。そのため操作の特徴を伝え技術を伝達することは容易ではない。本課題では、尿道膀胱吻合モデルの作成を行い、吻合時のモデル上にある疑似尿道に加わる作用力の大きさおよび方向(垂直、水平方向)を定量化し、実際熟練者が注意を払っている点を明らかにすることが目標である。標的臓器に対する作用力を確認可能なビューワーを作成することは、技術伝達の一助となると期待できる。また将来的に開発予定であるフィードバックシステムは新たな技術教育手法として有益なものとなる可能性があると考えている。

研究成果の概要(英文)：In this study, we focused on VUA (vesicourethral anastomosis), which is part of robot-assisted radical Prostatectomy. We developed a VUA model which can measure the tractive force on the urethra, and we assessed the force direction on the urethra among surgeons' skills for different levels of surgeons. Urethral damage during VUA may occur when passing the needle through the urethra. Unnecessary urethral damage contributes to urinary incontinence. Experts manipulate the urethral tissue protectively to avoid excessive traction force. Therefore, we created a VUA training models that allow trainees to learn the strength of the traction forces on the urethra. We saw a significant difference between the two groups for task completion time and all force parameters including maximum force, force volume, and the length of time that specific excessive forces were applied to the urethra. Now, we have been developing systems which provide feedback on the traction force on the urethra.

研究分野：内視鏡手術教育

キーワード：手術技能分析 内視鏡手術 力覚計測

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、工学技術の進歩に伴い手術操作の定量化が注目され、手術技術を分析することが試みられている。経験の浅い術者への教育は重要課題であり、手術技術の分析は技術伝達に役立てることが出来、注目を浴びている。手術操作には、結紮、縫合、把持、剥離など様々な操作がある。各操作を分析するには操作の特徴を捉え定量化することが重要である。



### 2. 研究の目的

現在までに、縫合操作の分析に関しては、鉗子先端の移動距離に注目し、動きを分析する報告が大半を占めている。しかしながら、縫合操作では組織損傷を防ぐ目的から、結紮点作用力を意識する事も重要と考えられる。縫合結紮操作の作用力計測に関する研究は、ドライボックス内の操作台にセンサーを組み込み、単純結節縫合での熟練者と初心者の作用力の差を示しフィードバック可能な装置の開発を記した報告が2編あるのみである[1.2]。

近年、泌尿器分野での前立腺全摘除術は罹患率の増加から、腹腔鏡やロボット補助腹腔鏡手術の件数が増加の一途を辿っている。そのため尿道膀胱吻合は、泌尿器科医にとって必須の取得手技である。前立腺全摘除術では、臓器摘除後に尿道と膀胱を吻合する操作が必要である。

吻合時、尿道は脆弱な組織であるため、経験の浅い術者では吻合針や糸で過度の力を加えてしまい、尿道を裂くことがしばしば見受けられる。そのため術者は、尿道に対し出来る限り強い力を加えない様に指導をうけ、ダメージの少ない操作を心掛ける。しかし、腹腔鏡手術、ロボット補助手術では触感覚が乏しいため、実際に術者がどの程度の力を加えているかを直感的に理解することが困難であるため作用力の定量化が必要である。どの方向にどの程度の力を加える操作が尿道を裂く可能性の高い操作なのかを定量化した研究は過去に認められない。今回、我々は、尿道膀胱吻合操作での作用力計測を行い、さらに作用力フィードバックシステムの開発に関して研究を進めたので報告する。

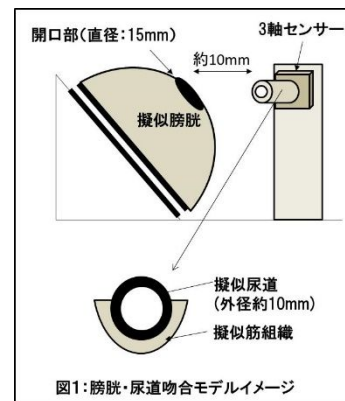
[1] Horeman T et al., Force measurement platform for training and assessment of laparoscopic skills. Surg Endosc., 24(12), 3102-8, 2010.

[2] Cundy TP et al., Force-Sensing Enhanced Simulation Environment (ForSense) for laparoscopic surgery training and assessment. Surgery., 157: 723-31, 2015.

### 3. 研究の方法

#### 擬似膀胱尿道吻合モデル作成：

作成した膀胱尿道吻合モデル(図1)は、ドーム状の擬似膀胱と3軸センサー(USL06-H5-50-N-C, Tec Gihan, Kyoto, Japan)に取り付けた擬似尿道からなり、膀胱開口部(約15mm)と擬似尿道との距離は約1cm程度とする。擬似尿道の6時方向には、同素材の尿道周囲組織を付着させ厚みを持たせた。擬似膀胱と擬似尿道は、アクリル樹脂製のケース内に固定される。擬似膀胱はマジックテープで着脱式とし、擬似尿道は3軸センサーがアクリル板にネジ固定され、センサー中心の受感部のネジ穴に擬似尿道を取り付ける。外径約10mmのプラスチック製ハイピック(ネジ付着ピン)に擬似尿道を取り付け、センサと着脱可能である。



3軸センサーは、センサ面上のX軸、Y軸方向とセンサ面と垂直のZ軸方向の力を計測することが可能である。尿道運針時および吻合糸をたぐる操作、結紮操作を行う際、擬似尿道の断面に対し長軸方向(垂直力:Z軸)と短軸方向(水平力:X軸とY軸の合力)の計測が可能となる。3軸センサーに加わる作用力は、センサーのねじ穴部分への作用力が直接計測されるため、ハイピックおよび擬似尿道を装着した状態でキャリブレーションを行い、先端に加わる作用力を求めることができる係数を算出している。また、計測実験毎のキャリブレーションも計測の事前に行うこととした。

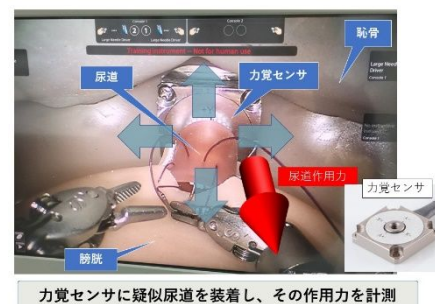


図2:膀胱尿道吻合モデル、作用力計測方向

#### 作用力計測実験

被験者は、ロボット手術に習熟した熟練者7名(ロボット手術経験数:中央値150例、範囲60-200例)と、初心者8名(ロボット手術経験数:中央値0例、範囲0-10例)とした。da Vinci

Surgical System を膀胱尿道吻合モデルにドッキングさせ、両端針の 4 - 0 モノクリルを用い吻合を行った。術者は全員右利きであった。評価項目は、作業時間、運針の平均時間、尿道にかかる最大作用力の平均、尿道部位別に加わる作用力とした。

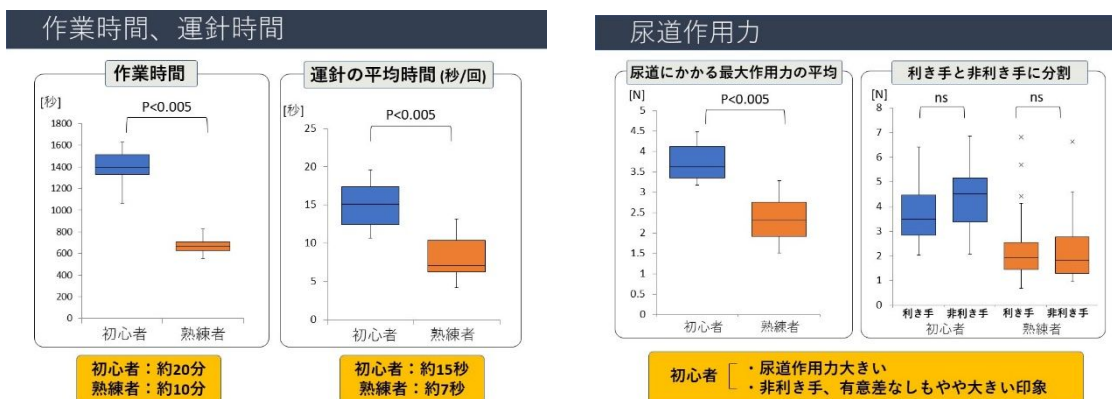
本モデルでは尿道へ直接運針する際の力以外、すなわち膀胱への運針、ないし膀胱を尿道方向へ手繰る際の作用力の計測も行ったが、計測された作用力はほとんどが 0.5N 以下であり尿道運針時の作用力とくらべ小さな値としてしか計測されなかったことから解析対象から除外した。

#### 4 . 研究成果

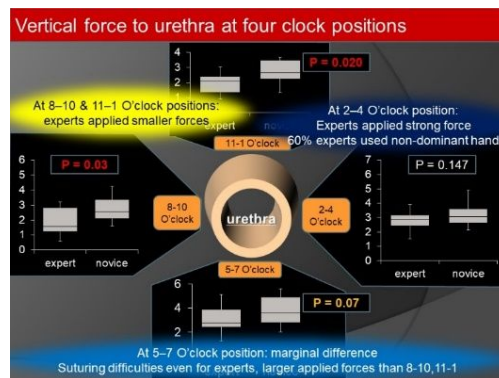
##### 作用力の解析

尿道への運針回数は、初心者が平均 11.2 回に対し熟練者は 10.6 回であった。作業時間に関しては、初心者は約 20 分を要したのに対し、熟練者は約 10 分程度との結果となった。尿道への通算運針時間は、初心者が平均約 15 秒に対し熟練者は約 7 秒であった。

尿道にかかる最大作用力の平均に関しては、初心者は熟練者に比べ優位に大きい結果となった。また、利き手と非利き手に分けて分析を行ったところ初心者、熟練者ともに差を認めない結果であった。初心者の加える尿道への作用力は熟練者より大きく、非利き手の作用力は利き手と比べると有意差は認めないものの、やや大きい印象をうけた。



尿道 8 - 10 時、11 - 1 時、2 - 4 時では初心者の作用力は熟練者と比べ大きい力が加わっていたが、尿道 2 - 4 時、5 - 7 時方向の運針では、尿道への作用力は両群間に差はないことが明らかとなった。2-4 時方向では、熟練者、初心者共に非利き手を使用することが多く作用力に差が生じにくい結果となったと考えられた。また 5 - 7 時方向の操作は、熟練者であっても難易度が比較的高く尿道へのダメージが懸念されると推察された。現在症例数を増やし追加検討を行っている。



##### フィードバックシステム

尿道への作用力がリアルタイムに内視鏡画像上に表示されるシステムを開発中である。da Vinci Surgical System は、左右視野を用いたステレオ画像が特徴的である。内視鏡カメラから取り込まれたステレオ画像情報をノートパソコンに取り込み、作用力を立体的に重畳表示する画像処理を行う手法を作成している。なお本研究では、術者の関節位置も計測しているが、計測した関節位置と尿道作用力の関係性については現在検討を行っている。肘の位置が高く位置する際に、マスターコントローラーの位置が不安定となり作用力が大きくなることを予想している。

#### 5 . 主な発表論文等

[ 雑誌論文 ] (計 1 件)

タイトル : Analysis of the tractive force pattern on a knot by force measurement during laparoscopic knot tying.

著者 : Takayasu K, Yoshida K, Kinoshita H, Yoshimoto S, Oshiro O, Matsuda T.

雑誌名 : Am J Surg. 2018 Aug;216(2):314-318. doi: 10.1016/j.amjsurg.2017.07.009. 査読あり

〔学会発表〕(計 8 件)

Yoshida K, Takayasu K, Matsuda T, Analysis of gripping force on a master controller during robotic simulation maneuvers, 36th World Congress of Endourology (国際学会), 2018

吉田健志、高安健太、三島崇生、木下秀文、松田公志、ファントムを用いたロボット補助下膀胱尿道吻合操作時の尿道作用力分析、第 31 回日本内視鏡外科学会総会、2018

吉田健志、高安健太、木下秀文、松田公志、VR・ARを用いた手術学習環境の開発、第 106 回日本泌尿器科学会総会(招待講演)、2018

Yoshida K, Takayasu K, Matsuda T, Analysis of the surgeon's posture during robotic simulator tasks using motion capture system, 35th World Congress of Endourology (国際学会), 2017

吉田健志、泌尿器前立腺全摘除術における膀胱尿道吻合シミュレータと force feedback システムの開発、第 30 回内視鏡外科学会 ワークショップ、2017

吉田健志、技能伝達を目的とした工学的アプローチによる手術技術分析、第 11 回手術教育研究会、2017

吉田健志、高安健太、木下秀文、松田公志 技能伝達を目的とした工学的アプローチによる手術技術分析、第 30 回日本泌尿器内視鏡学会、2016

吉田健志、高安健太、三島崇生、矢西正明、駒井資弘、杉素彦、木下秀文、松田公志、光学式 Motion capture system を用いた Robotic surgery における肢位分析、第 29 回日本内視鏡外科学会、2016

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

該当なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。