

令和元年5月30日現在

機関番号：34417

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K11074

研究課題名(和文) 泌尿器内視鏡手術における Ergonomic analysis

研究課題名(英文) Ergonomics analysis of urological endoscopic surgery

研究代表者

松田 公志 (MATSUDA, Tadashi)

関西医科大学・医学部・教授

研究者番号：20192338

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、泌尿器内視鏡手術に対し工学的アプローチにより、技術レベルの異なる術者の椎体、肩肘関節の位置と熟練術者の姿勢を明らかにし、さらに筋電計測を行い筋使用部位を評価した。光学式モーションキャプチャシステムを用い、3次元空間で肩肘関節、下肢関節の位置情報を取得した。腹腔鏡手術では熟練者の脇角度は軽く開き、肘を屈曲させ、頭部位置が安定する傾向にあり、ロボット手術では、初心者は、肘が進展し、手首の屈曲時間が長く、肘がアームレストより高く位置する時間が長い事が明らかとなった。筋電計測では、初心者は橈側群の筋電振幅が強く、尺側筋の使用割合が多いことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

内視鏡手術の普及に伴い、術者のergonomicsに関する問題点が注目されてきている。本研究では、泌尿器腹腔鏡操作、ロボット手術操作を対象とし、モーションキャプチャシステムにより、技術レベルの異なる術者の椎体、肩肘関節の位置と熟練術者の姿勢の特徴および筋電図計測による筋使用範囲の特徴を明らかにすることを目標とした。熟練者と初心者のergonomicsの差に関する情報は、疲労軽減や技術習得期間の短縮の一助となりうる。今後フィードバックシステムを用いラーニングカーブの評価を行いたいと考えている。

研究成果の概要(英文)：In this study, we revealed that the position pattern of joint angles and the positional relationship during laparoscopic box training and robotic simulation task between different skill levels of the surgeon using an optical motion capture system. We also evaluated the muscle activity during laparoscopic and robotic tasks. In laparoscopic training, the arms of experts were more loosely held at their sides and the elbows were more bent than novices. Expert's heads were more stable and thoracolumbar flexion angle was smaller. In robotic tasks, novices showed significantly excessive extension in both elbow and extension in both wrist angles than experts. The novices had significantly lower percentage of time when the wrist height was lower than the elbow height than the experts on the right side in simulation tasks. As for the measurement of muscle activity, we revealed that novices have more muscle activities than experts for flexor carpi ulnaris, not for flexor carpi radialis.

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

### 1. 研究開始当初の背景

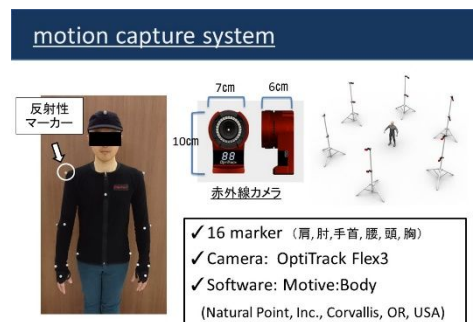
内視鏡技術の普及に伴い、低侵襲治療が広く行われ術後疼痛軽減、整容面、入院期間短縮など患者には大きなメリットをもたらした。その反面、術者は開腹手術とは異なり行動の制限を受けた状態で処置を行う必要があり、手術経験年数の増加と共に、慢性炎症など筋骨格系への負担が起きる可能性が示唆されている。術中、術者はモニター位置・ベッドの高さ、関節位置に配慮し自身への負担を少なくすることが望ましい。しかしながら人間工学的な知識を学ぶ機会は充実していないといった現状がある。

### 2. 研究の目的

腹腔鏡手術の縫合操作時において、初心者の関節位置を熟練者と比較して観察すると、肩位置を拳上させ、肩関節を外転させる動作をしばしば見受けられる。またロボット手術においても同様で無理な関節位置を取りながら操作を行う場面が見受けられる。技術差による関節位置、筋使用部位を検証し、熟練術者の関節位置を明らかにすることによって、初心者の手術教育に役立てたいと考え本研究の着想に至った。また、筋疲労に関する既存研究は、腹腔鏡手術とロボット手術での筋電図計測による筋疲労分析を行い、腹腔鏡手術の疲労度が強いことを示した報告が多い。いずれも、タスク全体を通じた筋疲労度の評価がなされているが、熟練者と初心者の使用する筋肉の部位の差に関する詳細な分析を行った研究は少ない。本研究では、泌尿器内視鏡手術（腹腔鏡操作、ロボット手術操作）に対し、工学的アプローチにより、技術レベルの異なる術者の椎体、肩肘手関節の位置と熟練術者の姿勢を明らかにすること、また、筋電計測により技術差の異なる術者において筋使用部位を比較することを研究目標とした。

### 3. 研究の方法

光学式 motion capture system (OptiTrack Flex3; Natural Point Inc., Corvallis, OR) を 6 台使用し、3 次元空間内で術者の関節位置を計測することとした。マーカーを付着させたボディースーツやハンドグローブ、ヘッドギアを、術者に装着し 3 次元でのマーカー位置を特定し、両肩肘手首胸腰椎、頭頂部のマーカー位置を計測することで関節角度を計測した。また、筋電図計 (FREE EMG; BTS Bioengineering.) を使用し上腕二頭筋、上腕三頭筋、僧帽筋の筋電位計測を行うこととした。

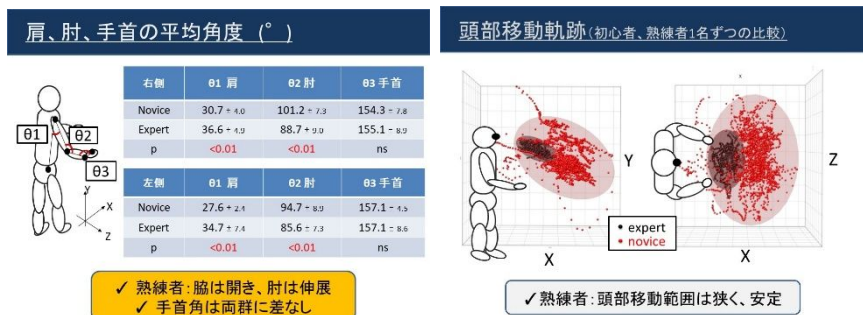


対象は、ドライボックス下の腹腔鏡操作、ロボットシミュレーター操作とし、  
 に関しては、腹腔鏡手術における結紮縫合手技、  
 に関しては da Vinci Surgical simulator の Suture Sponge 1、Tubes のタスクを対象とした。被験者は、熟練者、初心者の 2 群とし、  
 熟練者 10 名 (腹腔鏡手術歴 16 - 30 年)、  
 初心者 10 名 (腹腔鏡手術歴 0 - 5 年)、  
 熟練者 10 名 (ロボット手術経験数 100 例以上)、  
 初心者 10 名 (ロボット手術経験数 0 例) とした。今回の検討では、  
 タスクを行う際の、  
 関節位置と筋電位を評価し、ergonomics analysis を行った。検討項目は  
 1: 肩、  
 2: 肘、  
 3: 手首、  
 4: 胸腰椎の関節平均角度および頭部の移動範囲を評価し、  
 1: 脇角 (側面から)、  
 2: 肘角 (側面から)、  
 3: 肘角 (上側から)、  
 4: 脇角 (背側から)、  
 5: 手首角を評価した。

### 4. 研究成果

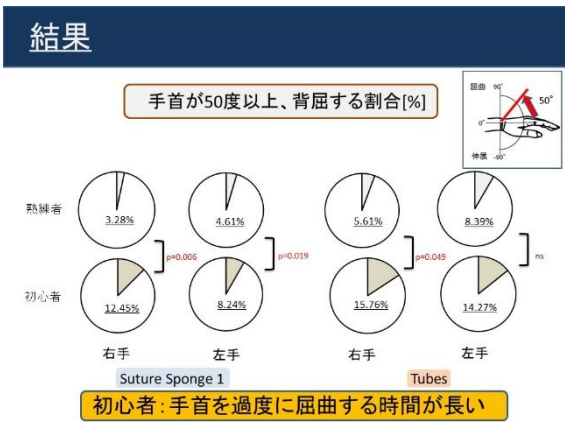
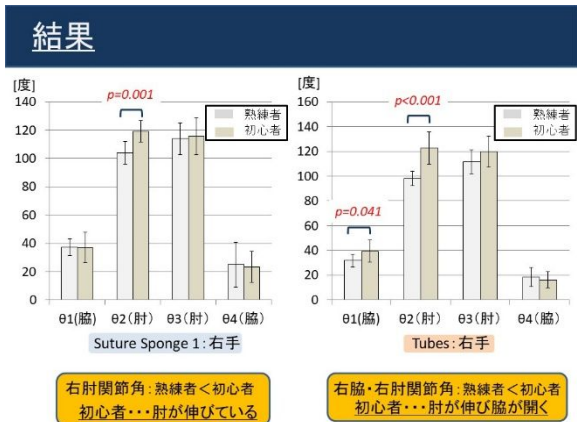
#### ergonomics analysis

腹腔鏡操作に関する検討において、熟練者の脇は軽く開き肘は伸展、手首角に関しては熟練者と初心者には差は認められず、熟練者は肩関節をよく動かしている結果であった。胸腰椎に関しては、初心者は、前傾姿勢が強い結果となり前傾姿勢となることから腰部への負担が



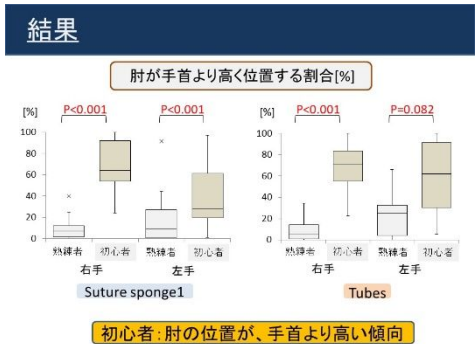
懸念される結果となった。

ロボット手術に関しては、Suture Sponge1 において右肘関節角は熟練者が初心者に比べ小さく、初心者は肘が伸びており、Tubes において右脇・右肘関節角は熟練者が初心者に比べ小さく、初心者は肘が伸び、脇が開く結果となった。手首角度に関しては、両手首において初心者が手首を過度に屈曲する傾向にあった。



また、肘位置に関しては、初心者の肘の位置が、手首より高い傾向にあり、さらに手首位置が熟練者と比べ低い位置で操作を行っていることが明らかとなった。

初心者の肢位の特徴としては、肘の伸展 (約 100° vs 120°)、手首の過度な背屈、アームレストから肘が浮く、低いワーキングゾーンがあげられた。



フィードバックシステム

取得されたデータはプログラミングソフト (Visual Studio および OpenGL) を利用したアプリケーションによりリアルタイムで確認可能である。3次元空間上に術者の姿をスケルトン表示し、各関節位置を球体で示す。術者の初期関節位置をゼロポジションとして、各関節位置がゼロポジションより遠ざかることで球体の色調表示を変化させ、位置の逸脱を理解することが可能なシステムを作製する。

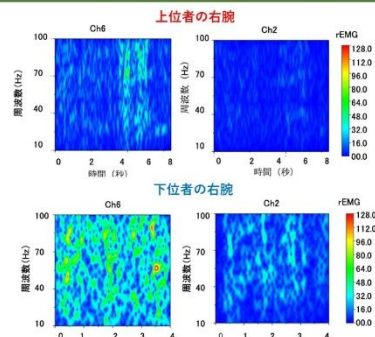
フィードバックシステムの開発



筋電図計測

FREE EMG を 8ch 用意し両側前腕の橈側と尺側の筋肉を対象として筋電計測を行った。分解能は 16bit、サンプリング周波数は 1000Hz とした。腹腔鏡でのドライボックスを用いた縫合操作に関しては、時間周波数解析を行うことで初心者は熟練者に比べ、尺側の筋肉を使用する機会が多い傾向にあることが明らかとなった (橈側に関しては両群比較で差を認めなかった)。また、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関しては、同様の時間周波数解析を行ったところ、熟練者の振幅は小さく、初心者の振幅は大きい傾向にあった。

シミュレータでの前腕筋電図の技能評価実験



〔雑誌論文〕(計 3 件)

Upper body position analysis of different experience level surgeons during laparoscopic suturing maneuvers using optical motion capture.

Takayasu K, Yoshida K, Mishima T, Watanabe M, Matsuda T, Kinoshita H.  
Am J Surg. 2019 Jan;217(1):12-16. doi: 10.1016/j.amjsurg.2018.06.026.

Analysis of the tractive force pattern on a knot by force measurement during laparoscopic knot tying.

Takayasu K, Yoshida K, Kinoshita H, Yoshimoto S, Oshiro O, Matsuda T.  
Am J Surg. 2018 Aug;216(2):314-318. doi: 10.1016/j.amjsurg.2017.07.009.

Analysis of the posture pattern during robotic simulator tasks using an optical motion capture system.

Takayasu K, Yoshida K, Mishima T, Watanabe M, Matsuda T, Kinoshita H.  
Surg Endosc. 2018 Jan;32(1):183-190. doi: 10.1007/s00464-017-5655-1.

〔学会発表〕(計 12 件)

Matsuda T, The position of forceps tip and arm joint position during vesicourethral anastomosis (VUA) by robotic surgery using optical motion capture, 36th World Congress of Endourology, 2018

Takayasu K, Yoshida K, Mishima T, Watanabe M, Kinoshita H, Matsuda T, Technical Evaluation of Robotic Surgery Including Ergonomics and Finger Power Applied on the Manipulator, The 16th Urological Association of Asia Congress, 2018

高安健太、吉田健志、三島崇生、渡辺仁人、木下秀文、松田公志、motion capture を用いたロボット手術での膀胱尿道吻合時の鉗子先端および上肢位置の検討、第 32 回日本泌尿器内視鏡学会総会、2018

松田公志、泌尿器腹腔鏡技術認定制度：4 年間の歩みと不合格ビデオでの不適切手技、第 21 回日本内視鏡外科学会総会 アジア内視鏡外科学会、2017

吉田健志、手術技術分析とフィードバックシステム開発の取り組み、第 67 回日本泌尿器科学会中部総会、2017

高安健太、吉田健志、小糸悠也、三島崇生、谷口久哲、矢西正明、安田鐘樹、駒井資弘、渡邊仁人、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 105 回日本泌尿器科学会総会、2017

松田公志、泌尿器内視鏡外科手術 27 年の歩みとこれから：技術の開発・普及・伝達のために、第 105 回日本泌尿器科学会総会、2017

Matsuda T, Long-term outcome of nationally required surgical skill assessment program, 35th World Congress of Endourology (国際学会)、2017

松田公志、泌尿器腹腔鏡技術認定制度：過去・現在・未来、第 31 回日本泌尿器内視鏡学会総会、2017

高安健太、吉田健志、三島崇生、渡邊仁人、木下秀文、松田公志、光学式 motion capture system を用いた腹腔鏡縫合操作における上半身肢位分析、第 31 回日本泌尿器内視鏡学会総会、2017

松田公志、泌尿器腹腔鏡手術における安全確保：日本泌尿器内視鏡学会の取り組み、第 56 回日本産科婦人科内視鏡学会 (招待講演)、2016

吉田健志、高安健太、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 回近畿内視鏡外科研究会、2016

〔図書〕該当なし

〔産業財産権〕該当なし

〔その他〕該当なし

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：木下 秀文  
ローマ字氏名：( KINOSHITA,Hidefumi )  
所属機関名：関西医科大学  
部局名：医学部  
職名：准教授  
研究者番号：30324635

研究分担者氏名：吉田 健志  
ローマ字氏名：( YOSHIDA,Kenji )  
所属機関名：関西医科大学  
部局名：医学部  
職名：講師  
研究者番号：40572673

研究分担者氏名：井上 貴昭  
ローマ字氏名：( INOUE,Takaaki )  
所属機関名：関西医科大学  
部局名：医学部  
職名：講師  
研究者番号：00411512

### (2)研究協力者

研究分担者氏名：高安 健太  
ローマ字氏名：( TAKAYASU,Kenta)

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。