

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：34417

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K11211

研究課題名(和文)手術動作の医工学的な解析と、それらを基盤とした科学的なトレーニング法の構築

研究課題名(英文)Development of surgical educational methods based on ergonomics analysis

研究代表者

木下 秀文(KINOSHITA, Hidefumi)

関西医科大学・医学部・准教授

研究者番号：30324635

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：安全な手術を行うためには、手術を科学的にとらえ、手技を客観的に分析するのが第一歩となる。この研究では、腹腔鏡手術およびロボット補助手術での術者の動作のエルゴノミクス、すなわち術者の姿勢、手の動き、器具の把持力の変化などを熟練者と初心者間で、手術シミュレーターを用いて解析した。様々なエルゴノミクスの因子で、熟練者と初心者の違いが明らかとなった。例えば、肘の角度が、熟練者のほうが閉じていて、次に行う様々な動作に対応しやすいこと、実際の縫合では、持ち手の軌跡の範囲が、熟練者では体幹に近い位置に集中するのに対し、初心者では、非常に広い範囲で操作を行っていることなどが、客観的に明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

医療の中で手術は、きわめて重要な治療手段である。安全な手術を提供することは当然であるが、手術が技術であるため、様々な問題が起こりうる。手術の多くで、腹腔鏡手術やロボット補助手術のような高難度の手技が必要となり、技術を継承するための、手術教育がますます重要なものとなってきた。従来の徒弟制度的な教育には限界がある。我々の研究は、手術動作を客観的に解析し、安全な手術とはどのようなものか、言語化することに注力し、手術のエルゴノミクスを明らかにしている。このような知見をもとに、理論的な手術教育が構築され、より安全な質の高い手術が、短期間で習得されることが期待される。

研究成果の概要(英文)：It is the first step that we objectively analyze the surgical technique and define the safe surgery, to achieve the safety of surgery. In this study, we analyzed the surgeon's ergonomics of the pure laparoscopic and robotic assisted laparoscopic surgery using the surgical simulator, and compared them between novices and experts. Ergonomics means the posture, hand movement, and grasping power etc of surgeon. We clarified the difference between novices and experts in various factors. For example, elbow angle was smaller (closer) in the experts during the surgery. This means that the hand position of the experts is usually near side to their trunk, and easily perform the next movement. Actually the area of trajectory of the experts' hand was in the narrower space closer to their trunk compared that that area of novices was larger.

研究分野：医学

キーワード：手術教育 エルゴノミクス 手術動作解析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

外科医がラーニングカーブの過程にある間、対象患者は外科医の不十分な技術によるリスクを負う可能性がある。実際に、腹腔鏡手術のような高度な技術を要する手技が普及するに伴い、医療の現場においては、様々な事故が報告されている。私たちは画像・ナビゲーションなどの手術補助具の開発、手術手技の客観的解析など、ラーニングカーブを短縮するための基礎的な研究を行い、様々な成果を報告してきた。

このように、手術の操作を科学的にとらえ解析し、そこから得られる様々な知見にもとづいて、安全な手術を定義し、特に初心者が、できるだけ容易に安全で高度な技術を獲得できるような教育方法や注意喚起を行うシステムを構築することは喫緊の課題である。手術を科学し、教育に応用する点が、医療の安全性という社会のニーズに合致している。

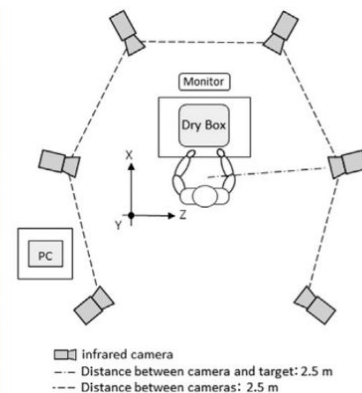
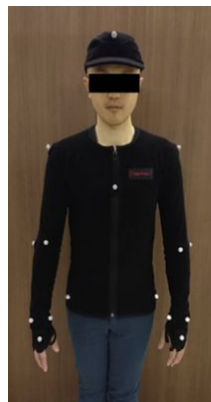
2. 研究の目的

一連の研究を通じ、初心者が危険な操作を行う要因に、術者のエルゴノミクスが大きくかかわっていることがわかってきた。これらには、手術中の術者の姿勢、手の位置、上肢の可動域を無視したポジショニング、器具の把持力の不安定さなどがあげられる。本研究では、近年普及してきている腹腔鏡手術およびその進化型であるロボット手術に焦点をあてて、手術操作中の上肢の位置、器具の把持力や動きの速度を可視化し、注意喚起を行うシステムや教育方法を構築する。

3. 研究の方法

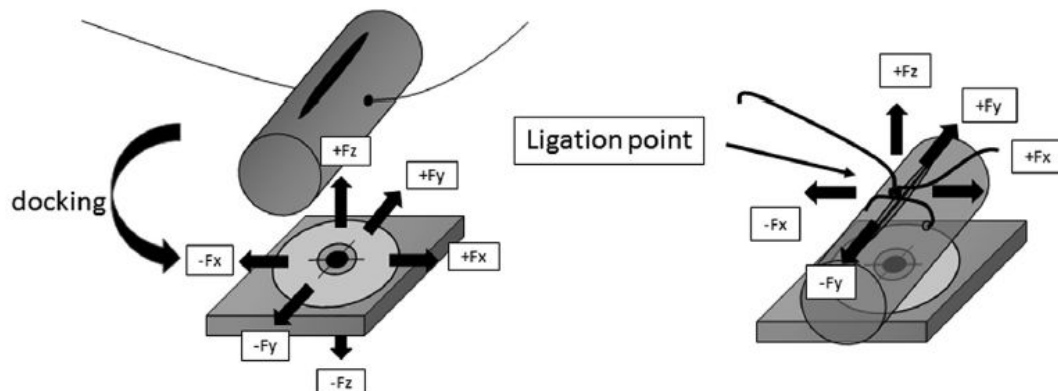
1) 術者の姿勢と捜査中の手の移動軌跡の範囲

被験者の体部位の位置情報は光学式 motion track system (OptiTrack Flex3) で計測した。被験者は右の図のように、上体に 16 か所 (額、肩、胸正中、腰、肘 x 2、手首 x 2、手背) のマーカーを装着し、被験者を取り囲む 6 基の capture 用のカメラを用いて、マーカー位置を解析した。位置情報は、x y z の 3 軸のデータとして集積した。操作としてはシミュレーターで実際の縫合を行った。10 人ずつの熟練者と初心者が操作を行い、各パラメーターを比較した。

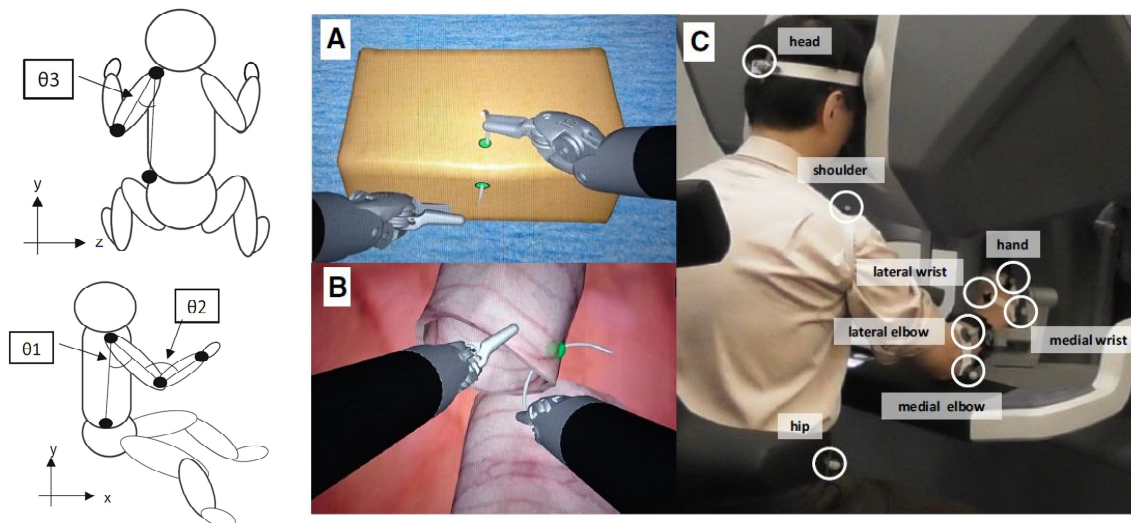


2) 縫合操作時の縫合部に働く力

上図のように縫合モデルを圧センサーに接続し、44 人の被験者で糸の結紮操作を行った。44 人



の内訳は、初心者 13 名、中級者 16 名、エキスパート 15 名であり、各々の群で結紮部位に働く圧を 3 次元で計測した。

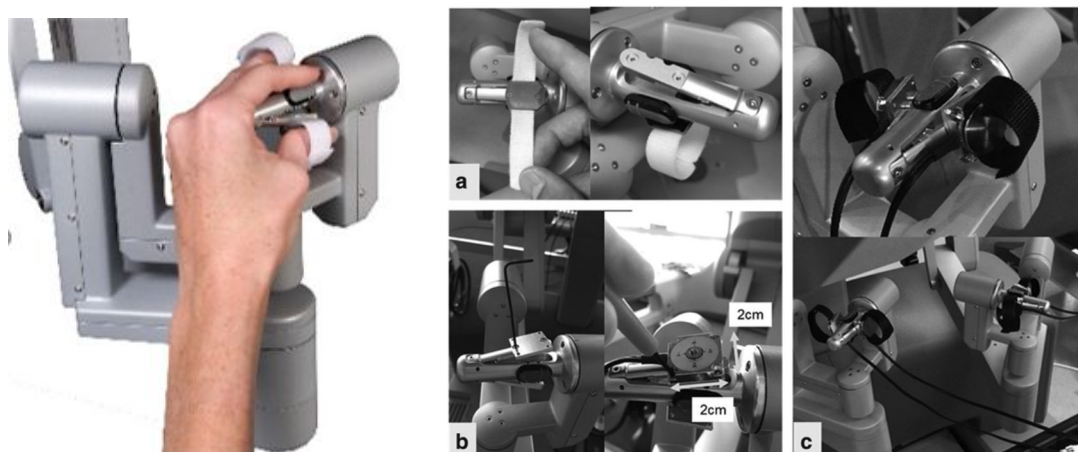


3) ロボット操作時の術者の上腕と前腕と手首の位置関係

1) と同様の手法で、ロボット手術における術者の上肢の動きを解析した(上図)。初心者 10 名、エキスパート 10 名で比較検討した。シミュレーターはダヴィンチシステム用のヴァーチャルシミュレーターを用いた。常設のタスクから、2 種類の縫合タスクを用いて評価した。上腕角 1、3 肘角 2 などのエルゴノミクスのパラメーターについて、初心者とエキスパートの違いを検討した。

4) ロボット操作時のマスターコントローラーの把持力

ロボット手術では、術者は下左のようなマスターコントローラーと呼ばれるハンドルを操作して、手術を進めている。一般的にコントローラーは第 1 指および第 3 指で把持し、動かすことが多い。手術に限らず、モノを把持するという行為は、基本的な動作であるが、手に必要以上に



力が入ると、前腕、上腕、さらに上体にも力が入り、様々な運動がスムーズに行えなくなることが知られている。この研究では、マスターコントローラーを指で把持する部分に圧センサーを装着して、10 人の初心者と 11 人のエキスパートで把持力のパターンの違いを解析した。タスクは、ダヴィンチ用シミュレーターを用いて、縫合タスクを行った。このシミュレーターには、被験者の器具の軌跡、ミスの数、時間などを計測し、さらにそれらを総合して点数をつける機能がある。

4. 研究成果

1) 術者の姿勢と操作中の手の移動奇跡の範囲

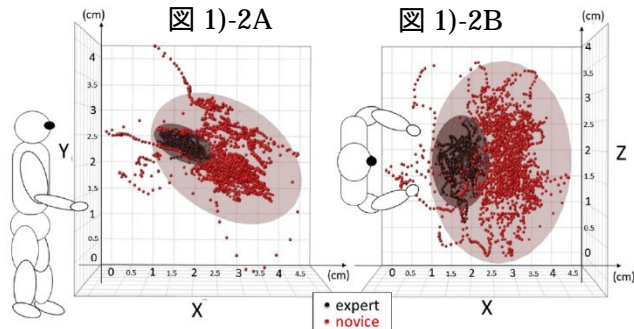
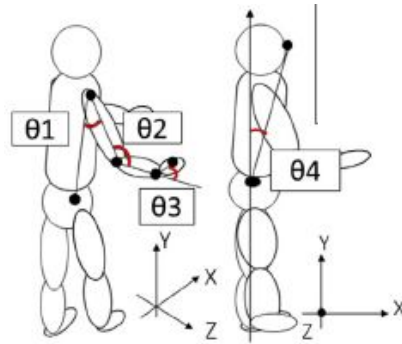
- 1 肩の角度、 2 肘の角度、 3 手首の角度、
4 前屈角度 を測定した。(図1)-1)

初心者に対して、熟練者は、上腕は有意に前方に位置していた(1が大きい)。一方、前屈角度(4)は有意に小さい。すなわち、上級者が、体躯はまっすぐに立って、上腕を前方に出して操作するのに対して、初心者は、上腕は上体と平行に近く、これを補うため、前屈角度を大きくしていた。初心者は、悪い姿勢で、縫合操作を行っている。

肘の角度は熟練者は有意に狭く、初心者は伸ばして操作を行っていた。つまり、初心者は肘の操作性に余裕がない状態で、縫合手技を行っていることがわかる。手首の角度は、両者で有意な差はなかった。

図1)-2ABは、初心者(赤)とエキスパート(黒)の手の動きの奇跡であるが、垂直方向(A)、水平方向(B)、共に初心者は手の動きが、広いのに対して、エキスパートは体に近い狭い位置で操作を行っていることが明らかである。初心者は前記の肘関節の角度が初心者で大きく開いている(腕を伸ばして操作している)ことが実際の軌跡でも示されている

図1)-1



2) 縫合操作時の縫合部に働く力

図2)にエキスパート(A)と初心者(B)で、結紮部位にかかる水平方向および垂直方向への力のパターンの違いを示す。エキスパートは水平方向および垂直方向にかかる力が、初心者より有意に小さかった。特に垂直方向の力には5倍以上の差があった。初心者は結紮の際に糸を上方向に引っ張り上げてしまうことを意味する。すなわち、人体であれば、組織を上方向に引っ張り、引きちぎるような操作が顕著なことを意味する。

図2)A Expert force pattern

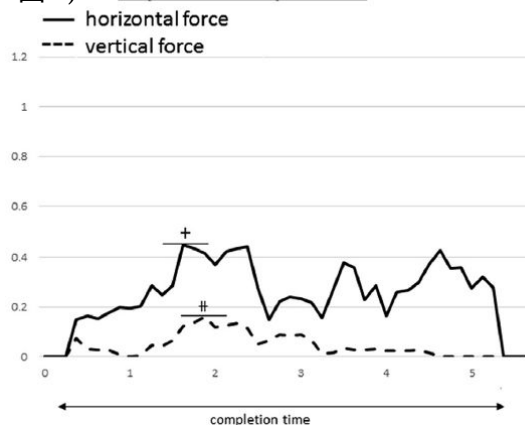
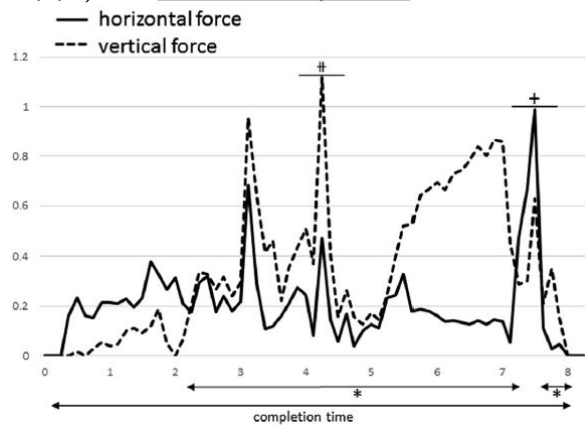


図2)B Novice force pattern



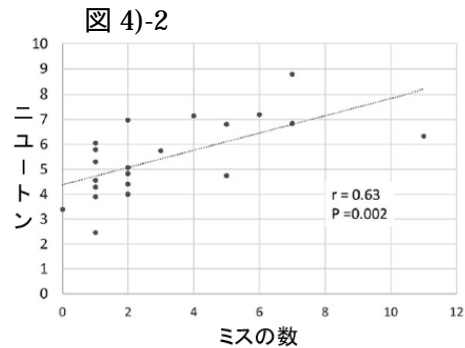
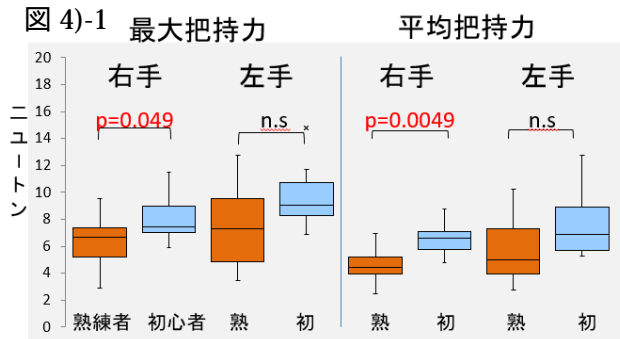
3) ロボット操作時の術者の上腕と前腕と手首の位置関係(表3)-1)

初心者とエキスパートの主な違いを表に示す。初心者は、アームレストから肘が離れて操作することが有意に多く、手首の位置がエキスパートに比べて低めである傾向が示された。すなわち、ロボット手術においても、1)の腹腔鏡での結紮操作の結果と同様、腕が伸びた状態で操作していることが明らかとなった。初心者には、肘をできるだけアームレストに着けた状態で、しかも、手首は肘よりも高めの位置で手術操作をしたほうが、安全であるといった教育方法が構築可能であると思われる。さらに、上腕、前腕、手首の位置などをリアルタイムで表示し、注意喚起を行うようなシステムがあれば、より容易に手技をマスターできると思われる。

Task	Group	Right side			Left side		
		Elbow		Wrist	Elbow		Wrist
		Height (cm)	More than 5 cm (%)	Height (cm)	Height (cm)	More than 5 cm (%)	Height
Suture Sponge 1	Experienced	0.89 ± 0.37	1.36 ± 1.41	4.10 ± 2.53	0.94 ± 0.37	1.17 ± 2.52	2.20 ± 3.01
	Novice	2.49 ± 1.90	18.90 ± 23.62	0.68 ± 1.80	1.61 ± 1.01	7.38 ± 9.03	0.65 ± 1.85
	<i>p</i> value	0.034*	0.005*	0.005*	ns	0.042*	ns
Tubes	Experienced	1.41 ± 0.76	4.29 ± 8.94	5.49 ± 2.30	1.99 ± 0.63	10.54 ± 8.04	5.64 ± 4.53
	Novice	2.30 ± 1.23	13.52 ± 16.18	-0.85 ± 3.30	2.14 ± 0.95	13.08 ± 10.18	2.84 ± 2.59
	<i>p</i> value	0.042*	0.014*	<0.001*	ns	ns	ns

4) ロボット操作時のマスターコントローラーの把持力

縫合操作は、針の持ち替え、刺入、抜去の3つの相の繰り返しとなる。被験者の利き手は右手であり、全員が右手での縫合を行った。針の持ち替えは左右の手を使うため、熟練者と初心者で有意差が出なかったが、刺入、抜去の相では、熟練者のほうが最大把持力、平均は磁力共に優位に低かった。これは、熟練者が、指に大きな力を加えずに（リラックスした状態で）縫合操作を行っていることを意味している。例として刺入相のグラフを図4)-1に示す。さらに興味深いことに、平均は磁力と縫合操作のミス数は、有意に相関していた。これらのことから、手術時には、コントローラーをできるだけ（リラックスさせた状態で）軽く持ち、操作中も指に力が入りすぎないように意識させることも、良い教育方法になる可能性が示唆された（図4)-2）。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takayasu Kenta, Yoshida Kenji, Kinoshita Hidefumi, Yoshimoto Syunsuke, Oshiro Osamu, Matsuda Tadashi	4. 巻 216
2. 論文標題 Analysis of the tractive force pattern on a knot by force measurement during laparoscopic knot tying	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The American Journal of Surgery	6. 最初と最後の頁 314 ~ 318
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.amjsurg.2017.07.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takayasu Kenta, Yoshida Kenji, Mishima Takao, Watanabe Masato, Matsuda Tadashi, Kinoshita Hidefumi	4. 巻 32
2. 論文標題 Analysis of the posture pattern during robotic simulator tasks using an optical motion capture system	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Surgical Endoscopy	6. 最初と最後の頁 183 ~ 190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00464-017-5655-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mishima Takao, Yoshida Kenji, Takayasu Kenta, Watanabe Masato, Kinoshita Hidefumi, Matsuda Tadashi	4. 巻 33
2. 論文標題 Analysis of Gripping Force on a Master Controller During Simulated Robotic Surgery	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Endourology	6. 最初と最後の頁 802 ~ 808
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/end.2019.0240	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takayasu Kenta, Yoshida Kenji, Mishima Takao, Watanabe Masato, Matsuda Tadashi, Kinoshita Hidefumi	4. 巻 217
2. 論文標題 Upper body position analysis of different experience level surgeons during laparoscopic suturing maneuvers using optical motion capture	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The American Journal of Surgery	6. 最初と最後の頁 12 ~ 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.amjsurg.2018.06.026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Takayasu K, Yoshida K, Mishima T, Watanabe M, Kinoshida H, Matsuda T
2. 発表標題 The position of forceps tip and arm joint position during vesicourethral anastomosis (VUA) by robotic surgery using optical motion capture
3. 学会等名 36th World Congress of Endourology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田健志, 高安健太, 三島崇生, 木下秀文, 松田公志
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第31回日本内視鏡外科学会総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田健志, 高安健太, 木下秀文, 松田公志
2. 発表標題 VR・ARを用いた手術学習環境の開発
3. 学会等名 第106回日本泌尿器科学会総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高安健太, 吉田健志, 三島崇生, 渡辺仁人, 木下秀文, 松田公志
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第32回日本泌尿器内視鏡学会総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 マスターコントローラーの把持力の大きさはミスターゲット数に影響を与えるか？
2. 発表標題 三島崇生, 吉田健志, 高安健太, 渡辺仁人, 室田卓之, 木下秀文, 松田公志
3. 学会等名 第32回日本泌尿器内視鏡学会総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kenta Takayasu, Hidefumi Kinoshita
2. 発表標題 Upper body position analysis using optical motion capture during laparoscopic suturing maneuvers
3. 学会等名 35th World Congress of Endourology (国際学会)
4. 発表年 2017年～2018年

1. 発表者名 吉田健志、木下秀文
2. 発表標題 手術技術分析とフィードバックシステム開発
3. 学会等名 第67回日本泌尿器科学会中部総会
4. 発表年 2017年～2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	松田 公志 (MATSUDA Tadashi) (20192338)	関西医科大学・医学部・教授 (34417)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	三島 崇生 (MISHIMA Takao) (80460830)	関西医科大学・医学部・講師 (34417)	
研究分担者	吉田 健志 (Yoshida Kenji) (40572673)	関西医科大学・医学部・講師 (34417)	削除：2019年3月18日
研究分担者	井上 貴昭 (Unoue Takaaki) (00411512)	関西医科大学・医学部・講師 (34417)	削除：2019年3月18日