

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：32666

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24592177

研究課題名(和文) 医工学を用いた微小外科手術技術評価と効果的トレーニング法の開発

研究課題名(英文) Development of skill assessment and training system for microsurgery using medico-engineering technology

研究代表者

森田 明夫 (Morita, Akio)

日本医科大学・医学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60302725

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：外科領域では術者の技術レベルが治療の成果に大きく関与する。脳神経外科や形成外科、眼科、耳鼻科、整形外科など微細な手術を行う外科領域で行われる微細外科手技(マイクロサージェリー)はその技術レベルの評価が困難であった。従来は観察による評価が主体であり、また外科技術の教育も見て学ぶことが主流となっていた。近年工学技術の進歩により様々な動作を工学的技術を用いて客観的に評価し記録することが可能となった。そこで本研究では工学系の技術を用いて微小外科の手技を客観的に評価しすることのできるシステムを確立した。さらに将来の技術トレーニングに生かす方法を確立することを目指した。

研究成果の概要(英文)：In the field of surgery, outcome is greatly affected by the skill of the surgeons. In the field of microsurgery, such as performed in plastic, ophthalmologic, otolaryngologic, orthopedic and neurosurgical procedures, skill assessment has been difficult. Traditionally, skills have been assessed and learned just by observation and mimicking in the field of surgery and microsurgery. Recently, with the development of engineering technology, analysis of various human motions and surgical procedures became feasible. In this research, we sought the method to analyze microsurgical skills using such medical-engineering technology and to establish engineered microsurgical training system.

研究分野：脳神経外科学

キーワード：Microsurgery Skill Assessment Engineering Strength motion analysis visual assessment training

1. 研究開始当初の背景

(1) 脳神経外科や形成外科をはじめとする微小手術手技を要する医学領域では、放射線治療や血管内治療など外科手術を最小限にする治療方法の開発が進み、治療を実際に経験できる機会が少なくなっていること。さらに社会的背景から、患者をいわば練習対象にして医療技術を向上することは不可能になりつつある。

(2) 現時点でも微小外科手術の評価および習得は見て学ぶという主観的方法によってされることが多く、客観的、数値化されたデータとして技術の評価し、またそれを伝承する方法がない。

そのような背景において、工学系技術を用いた技術訓練システムを開発することは極めて重要である。

2. 研究の目的

(1) 本研究は脳神経外科を始めとする形成外科、整形外科、耳鼻咽喉科、心臓血管外科、眼科等 微小外科手術を要する医領域において、医療の技術の安全性と確実性を向上するために、工学の技術を用いて、安全確実な操作の特徴の分析を行う。

(2) その分析に基づいて被訓練者が効率的に高度な技術を習得できるシステムを構築することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 術者の手の動きと鉗子（鑷子）等先端の発生力を正確に計測するために、手術器具に力センサー、位置センサー、角度、加速度センサーを術者の邪魔にならない重量、操作感で装着し正確にマイクロ手術技術を記録できるシステムを構築する。

(2) 手術を見て評価するスコア Visual Assessment Score のを構築し、この評価方法の客観性と被検術者の経験度戸を比較した。

(3) 必要な数の熟練 / 非熟練術者間の操作中に得られたデータの相違、手技間の相違などを検証し、手術技術が客観的に評価できているかを検証する。

(4) 評価システムを通常の脳神経外科手術の応用するために実際の疾患の模擬手術において客観的数値が計測できるかを検証する。

(5) どのような客観的数値が訓練により改善できるかを訓練前後で検証し、評価を明示することがその改善度に寄与できるかを検証する。

4. 研究成果

(1) 工学を用いた微小外科技術評価システムの構築

システムマイクロ血管吻合用の鉗子の先端に力センサーを固定さらに光学ナビゲーション

技術による位置センサー、角速度、加速度センサーを装着し血管吻合等の操作をおこないつつ位置情報、加速度、角速度、先端力情報が得られるシステムを構築した。多くの被検者、さまざまなレベルの術者のデータを得るためにシステムを移動できるようにして学会などでデータを得られるようにした（図1,2）。

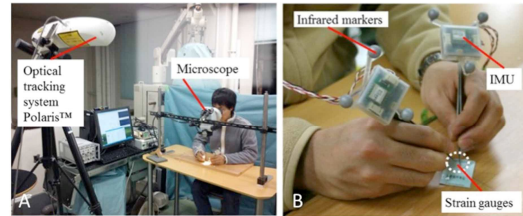


Fig. 1 Microsurgical skill assessment system.

図1：工学微小外科手術技術評価システム

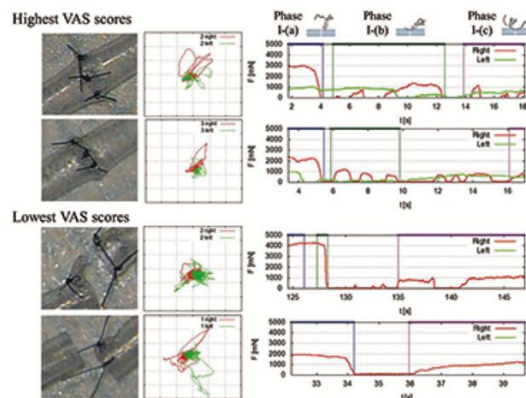


図2：工学システムを用いて得られた上級者と初心者の数値データ

(2) Visual Assessment Score の検証

従来の技術評価は目でみて判断することが多かったが、これを数値するのも難しい。今回の工学を用いた評価が、目で見て熟練していると思われる手技の評価とどのように関連するのかをみるために、見た目の評価のスコア化をおこなった。3名の熟練医師により23名の様々な経験レベルの脳神経外科医による模擬血管吻合のビデオを観察し様々な手技コンポーネントにスコアを付与し各評価者毎の平均と分散からスコア化をおこなった。各評価者間のばらつきは少なく（Cronbach coefficient 0.85）次の表にあるように高いスコアは経験年数よりも過去1年の経験症例数、バイパス手術経験数に有意に多かった。本評価は比較的客観的に手術技術の定量化をできるシステムであると判断した。

表1：術者経験と視覚的技術評価

Registered subject properties vs VAS*	Correlation coefficient	p-value
Clinical experience vs VAS	0.17	0.44

Experience in microsurgery vs VAS	0.17	0.45
Surgical volume – bypass surgery vs VAS	0.37	0.08
Surgical volume – last year vs VAS	0.44	0.04

*VAS: visual assessment score

(3) VAS で判定された非熟練術者と熟練術者の相違

図3に示すように操作時間は縫合操作 Phase IIの系の操作のとき以外は有意に熟練者が短かった。また図4に示すように操作距離も左右とも熟練者のほうが短かった。

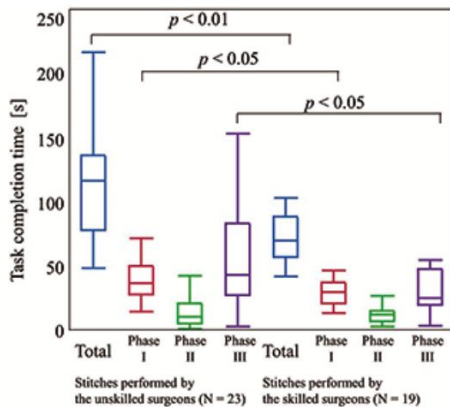


図3：VASで非熟練と熟練術者間の操作時間の比較

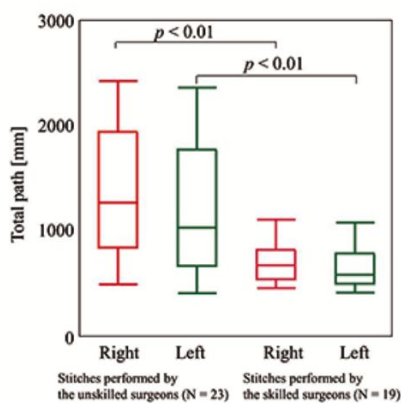


図4：VASで非熟練と熟練術者間の操作距離の比較

力に関しては Phase Ic の針を抜く操作の時のみ熟練者の力が有意に弱く他の Phase では平均値では差はみとめられなかった(図5)。ただし図2にあるように熟練者では右手の力にリズム的な操作圧が加わり、非熟練者では力がずっと一様である。また左手の力は今回評価していないが、非熟練者では左手の操作力が一定しない。

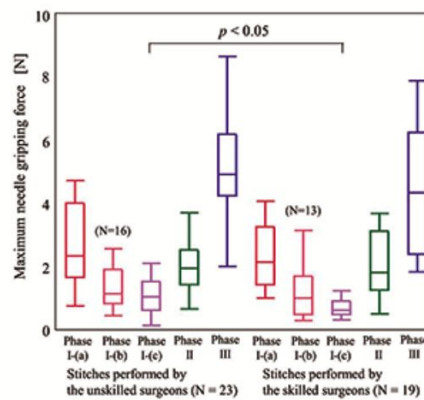


図5：VASでの非熟練と熟練術者間の操作器具先端力の比較

(4)当該技術の脳神経外科の一般手術シミュレーションへの応用

脳実態モデルを用いて本機器を用いて手術シミュレーションを行い様々な外科手技を行う予定としているが、先端機器に別の計測装置が必要であることが判明し行えていない

(5)トレーニング装置としての発展

今回明らかになった非熟練と熟練術者の相違は操作時間と距離であり、これは全体的な技術上達の結果である。これを改善のための指示とはできない。左手の力解析をさらに精細に行い、努力や練習で比較的容易に改善できる動作指標を検出する必要があることがわかった。

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 Harada K, Morita A, Minakawa Y, Baek YM, Sora S, Sugita N, Kimura T, Tanikawa R, Ishikawa T, Mitsuishi M. Assessing microneurosurgical skill with medico-engineering technology. World Neurosurg. 2015 May 28. pii: S1878-8750(15)00630-0. doi: 10.1016/
- 2 Okubo T, Harada K, Fujii M, Tanaka S, Ishimaru T, Iwanaka T, Nakatomi H, Sora S, Morita A, Sugita N, Mitsuishi M. Hand-held multi-DOF robotic forceps for neurosurgery designed for dexterous manipulation in deep and narrow space. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2014;2014:6868-71. doi: 10.1109/EMBC.2014.6945206. PubMed PMID: 25571574.
- 3 Baek Young Min, Tanaka Shinichi, Harada Kanako, Sugita Naohiko, Morita Akio, Sora Shigeo, Mitsuishi

- Mamoru, Robust Visual Tracking of Robotic Forceps Under a Microscope Using Kinematic Data Fusion IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 19(1):278-288, 2014.
- 4 Mamoru Mitsuishi, Akio Morita, Naohiko Sugita, Shigeo Sora, Ryo Mochizuki, Keiji Tanimoto, Young Min Baek, Hiroki Takahashi, and Kanako Harada, Master-slave robotic platform and its feasibility study for microneurosurgery, The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, 9(2):180-189, 2013.
 - 5 Takahashi Hiroki, Baek Young Min, Sugita Naohiko, Mitsuishi Mamoru, Sora Shigeo, Morita Akio, Design and use of a master manipulator for a micro-neurosurgical system based on motion analysis, International Journal of Biomechanics and Biomedical Robotics, 2(1): 7-17, 2012.
- [学会発表](計 15 件)
- 1 Atsushi Nakazawa, Kanako Harada, Hirofumi Nakatomi, Naoyuki Shono, Yusuke Kurose, Shinichi Tanaka, Nobuhito Saito, Akio Morita, Naohiko Sugita, Mamoru Mitsuishi, “Instrument Motion Analysis And Simulations For Minimal Bone Removal In Robotic Burr-Hole Neurosurgery”, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, Barcelona, Spain, June 24-27, 2015 (Accepted)
 - 2 Shinichi Tanaka, Young Min Baek, Kanako Harada, Naohiko Sugita, Akio Morita, Shigeo Sora, Hirofumi Nakatomi, Nobuhito Saito, Mamoru Mitsuishi, “Robust Forceps Tracking using Online Calibration of Hand-Eye Coordination for Microsurgical Robotic System”, submitted to 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2014), 3529-3535, Chicago, IL, USA, Sept. 14-18, 2014
 - 3 Takuro Okubo, Kanako Harada, Masahiro Fujii, Shinichi Tanaka, Tetsuya Ishimaru, Hirofumi Nakatomi, Shigeo Sora, Akio Morita, Naohiko Sugita, Mamoru Mitsuishi, “Hand-held Multi-DOF Robotic Forceps for Neurosurgery Designed for Dexterous Manipulation in Deep and Narrow Space”, 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp.6868-6871, Chicago, Illinois, USA, August 27-31, 2014.
 - 4 Yusuke Kurose, Young Min Baek, Yuya Kamei, Shinichi Tanaka, Kanako Harada, Shigeo Sora, Akio Morita, Naohiko Sugita, Mamoru Mitsuishi, “Preliminary Study of Needle Tracking in a Microsurgical Robotic System for Automated Operations”, Proceedings of 2013 13th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2013), pp. 627 – 630, Gwangju, Korea, October 20-23, 2013.
 - 5 Y. Kamei, K. Harada, S. Tanaka, Y. Kurose, Y.M. Baek, S. Sora, A. Morita, N. Sugita and M. Mitsuishi, “Master manipulator with high usability designed for microsurgical robotic system”, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 8, suppl.1, S127, Heidelberg, June 26-29, 2013.
 - 6 Young Min Baek, Shinichi Tanaka, Kanako Harada, Naohiko Sugita, Akio Morita, Shigeo Sora, Ryo Mochizuki, and Mamoru Mitsuishi, “Full state visual forceps tracking under a microscope using projective contour models”, 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2012), pp.2919-2925, Minnesota, USA, May 14-18, 2012
 - 7 Y. Kamei, S. Tanaka, K. Harada, Y. Baek, Y. Ida, S. Sora, A. Morita, N. Sugita and M. Mitsuishi, “Study on Master Manipulator Design Parameters for Robotic Microsurgery”, the 4th edition of the IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics (BioRob 2012), pp.847-852, Rome, June, 2012
 - 8 K. Harada, Y. Minakawa, Y.M. Baek, S.Sora, A. Morita, N. Sugita, M. Mitsuishi, “Development of microsurgical skill assessment system, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery”, 7, suppl.1, S213, Pisa, June 27-30, 2012.
 - 9 大久保 拓郎, 忽滑谷 浩史, 原田 香奈子, 中富 浩文, 楚良 繁雄, 森田 明夫, 斉藤 延人, 杉田 直彦, 光石 衛, 手持ち型多自由度ロボット紺子の開発, Journal of Japan Society of Computer Aided Surgery : J.JSCAS, 16, 3, 211-212, 大阪大学, 大阪, 11.8-9, 2014.
 - 10 田中 真一, 楚良 繁雄, 森田 明夫, 中富 浩文, 斉藤 延人, 原田 香奈子, 杉田 直彦, 光石 衛, 顕微鏡下微細手術支援口ボ

ットによる吻合動作のオンラインタスク
認識手法の開発, Journal of Japan
Society of Computer Aided Surgery :
J.JSCAS, 16, 3, 175-176, 大阪大学, 大
阪, 11.8-9, 2014.

- 11 大久保 拓郎, 原田 香奈子, 藤井 雅浩,
田中 真一, 石丸 哲也, 中冨 浩文, 楚良
繁雄, 森田 明夫, 杉田 直彦, 光石 衛,
深部狭所での操作を対象とした脳神経外
科手術用多自由度ロボット鉗子の開発,
ロボティクス・メカトロニクス講演会
2014, 3A1-B01, 富山市総合体育館, 富山,
May 25-29, 2014.
- 12 亀井 雄矢, 原田 香奈子, 田中 真一, 黒
瀬 優介, 白 榮民, 楚良 繁雄, 森田 明
夫, 杉田 直彦, 光石 衛, “超微細手術支
援システムのための高操作性マスタ・マ
ニピュレータの開発”, 日本機械学会ロ
ボティクス・メカトロニクス講演会 2013
(ROBOMECH2013), 2A1-L04, つくば,
2013年5月22 - 25日
- 13 黒瀬 優介, 白 榮民, 亀井 雄矢, 田中 真
一, 原田 香奈子, 楚良 繁雄, 森田 明夫,
杉田 直彦, 光石 衛, “手技の自動化に向
けた顕微鏡下超微細手術における微細針
のトラッキングに関する研究”, 日本機械
学会ロボティクス・メカトロニクス講演
会 2013 (ROBOMECH2013), 2A2-K07,
つくば, 2013年5月22 - 25日
- 14 光石衛, 杉田直彦, 原田香奈子, 白榮民,
田中真一, 亀井雄矢, 黒瀬優介, 上田高
志, 楚良繁雄, 森田明夫, ” マスター・
スレーブ型手術ロボット・システムによ
る 超微細手術の実現”, 第 21 回日本コン
ピュータ外科学会大会, 12(VS)-5, 徳島,
2012年11月2-4日(日本コンピュータ
外科学会誌 第 21 回日本コンピュータ外
科大会特集号, Vol.14, No.3, pp.
154-155, 2012)
- 15 白榮民, 田中真一, 原田香奈子, 杉田直
彦, 森田明夫, 楚良繁雄, 光石衛:手術ロ
ボットにおけるビジュアルサーボを用い
た軌道制御方法, ロボティクス・メカト
ロニクス講演会 2012 論文集,
ID-2P1-U05, 静岡, 2012年5月27-29日

〔図書〕(計1件)

- 1 森田明夫, 楚良繁雄, 光石衛: ロボット
とバイパス術 ロボットの
microsurgery への応用と科学的手術手
技評価 森田明夫 編: バイパス術のす
べて 次世代への技術の継承 新 NS
Now, Medical View, Tokyo, pp134-143,
2015.2., ISBN: 978-4-7583-1561-6

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森田明夫 (Morita, Akio)
日本医科大学 大学院医学研究科 大学
院教授
研究者番号: 60302725

(2) 研究分担者

光石 衛 (Mitsuishi, Mamoru)
東京大学 工学系研究科 教授
研究者番号: 90183110

杉田直彦 (Sugita, Naohiko)
東京大学 工学系研究科 教授
研究者番号: 70372405

原田 香奈子 (Harada, Kanako)
東京大学 工学系研究科 特任講師
研究者番号: 80409672

(3) 連携研究者

()

研究者番号: