

平成 22 年 5 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2007 ～ 2009

課題番号：19200043

研究課題名（和文） マイクロサージェリーのための術者支援ロボットの開発

研究課題名（英文） Neurosurgeon' Arm Supporting Robot for Microneurosurgery

研究代表者

本郷 一博 (HONGO KAZUHIRO)

信州大学・医学部・教授

研究者番号：00135154

研究成果の概要（和文）： 正確な手技を続けることが求められる顕微鏡下脳神経外科手術において、術者の腕を自動的に保持する装置を開発した。本装置は手台と手台保持装置からなるコンピュータ制御のブレーキを持つ受動型ロボットである。移動状態では、手台は常に術者の腕を下から持ち上げるように支え、術者の腕との摩擦により移動する。臨床使用において、数名の患者に本装置を使用し、合併症無く手術は成功した。本装置は術者の腕を快適に支えることで、術者の疲労を軽減し、手術の正確性を達成させた。顕微鏡下手術を容易にする支援装置として有用であると判断した。

研究成果の概要（英文）： Continuous precise procedures are strictly required in microneurosurgery. To stabilize surgeon's arm and reduce surgeon's fatigue, we have developed an intelligent armrest which follows surgeon's hand automatically. It consists of an arm holder and a holder supporting device. A 6-axis force sensor was located between the arm holder and supporting device. The holder supporting device has 5 degrees of freedom. It works as a passive controlled machine, powered by springs and controlled by computer-assisted brakes. In the transfer state, the arm holder always pushes up the surgeon's arm from the bottom side. The pushing force makes the friction force between surgeon's arm and the arm holder. The robot decreased surgeon's hand tremor remarkably. By researching these basic experiments, clinical application of the robot was approved by ethical committee of Shinshu University. This robot was applied to several clinical surgeries, they were successfully finished without any complications. We conclude that the auto-adjusting arm holding robot is a useful tool for holding the surgeon's arm comfortably.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	12,400,000	3,720,000	16,120,000
2008年度	21,500,000	6,450,000	27,950,000
2009年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
年度			
年度			
総計	37,600,000	11,280,000	48,880,000

研究分野：脳神経外科手術支援ロボットの開発
 科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：低侵襲治療システム、微細脳神経外科手術、手術支援装置

1. 研究開始当初の背景

顕微鏡下手術は直視やルーペでの解像度より細かい操作が必要な手術において行われる。操作中は術具の先端のみしかみえないため、術具の交換や顕微鏡視野の変更時には、いったん顕微鏡から目を離し、助手と術具の受け渡しをおこない、再度顕微鏡下で術具を術野まで持っていく必要がある。現在の術具は先端が非常に繊細で、術野近くの不適當な場所に置いておくと先端を傷めてしまう。難易度の低い一時間程度の手術でも頻回な操作が必要なこの作業は、一回ごとに10秒以上かかること、術具の出し入れをする際に脳を損傷する可能性があること、そもそも術野から目を離さなければならないことが問題である。術野から手を抜かなくても術具を受け取る場所に正確に術具を出せる器械があれば、手術時間の短縮と安全性の向上につながる。顕微鏡下での手の震えは深い術野や細かい手技になるほど問題になる。手の震えを抑えるためには、手を置く場所を確保することで改善するため、これまでさまざまな手を置く場所（手台）が開発されている（Ohta T, et al. Neurosurgery. 46:1259-61, 2000）が、術者の手の位置は常に動くものであり、手台は容易に位置を変えられるものでなければならない。これまでの手台は位置を換えるために操作を必要とし、そのたびに術具の受け渡しをしなければならいため、有効に使用されてこなかった。

2. 研究の目的

操作しなくても手についてくる手台が開発されれば、手術時間を全く延長すること無しに格段に安全な手術を提供することができる。この2点を同時に解決するために我々はこれまでにないコンセプトの手術支援装置をデザインした。ロボット技術を応用したこの装置の開発を行った。

3. 研究の方法

- (1) 手台の動作範囲の設定、対応する各軸の可動範囲の検討（手台のデザイン）
- (2) 術具交換装置の動作範囲の設定、交換方法の検討、駆動装置の選定（交換装置のデザイン）
- (3) 術具交換装置の滅菌方法の確認
- (4) 手台、術具交換装置の作動スイッチの検討
- (5) 試作機の製作

(6) 試作機を使用した手術シミュレーション

(7) 臨床手術への応用に従って研究を行った。

4. 研究成果

(1) 自動運動機能を持たない手台の有用性を検討したところ、手台を使うと手術手技自体を改善させなかったが、手術の安定感が増すこと、手術の疲労が軽減することが確認された。また術中に必要な手台の位置は手肘の下から上のみであり、保持装置は5自由度で良いことが分かった。すべての術者の手肘の動作範囲に追従させると保持装置は他の手術装置と干渉してしまうことが分かった。手台可動範囲はコンピューターシミュレーションで最適の大きさを導き出した。動作方法は患者への安全性の面からパッシブ制御とし、各関節にバネを用い、ブレーキをコンピューター制御することで自動追従を可能とした。術者からの入力を計測するために手台と保持装置のあいだに6軸センサーを選択した。ブレーキ、バネの選定などの設計を行った。試作機の制御方法をプログラミングした。

(2) 前腕可動範囲を脳神経外科領域で行われる種々の術式毎の、術具交換にかかる時間の測定と、術者の利き手の動きの範囲を測定するとともに、周囲の術具や頭部固定器具の相対的位置関係を測定し、手台の動作範囲を検討した。解析では術中術者は広い範囲に手や肘を動かしていたが、その動作は手術操作と関連しないものであった。また熟練した術者での器具交換時間は平均2秒であり、ロボットを利用しても時間短縮出来ないことが分かった。また装置として有効なグランドデザインができなかった。

(3) (2)の結果より研究から除外した。

(4) 手台の滅菌脱着、保持装置のドレーピング方法を検討した。手台は絶縁医療用プラスチック、保持装置は全面滅菌ビニール保護とすることとした。手台と手台保持装置のドレープを作成した。手台保持装置を容易に移動させるための、ドレープと術衣の抵抗をあげる研究を行った。

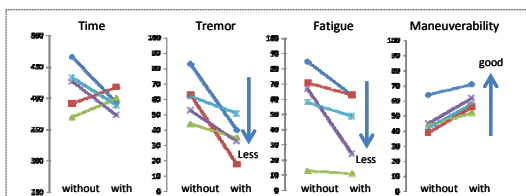
(5) 自動追従型手台を設計試作した。本装置は手置きと保持装置からなる。保持装置は5自由度をもち、各関節にはバネとブレーキを

設置した。手置きは、バネによる跳ね上がりの力により術者の腕との間に抵抗を生じさせることで、モーターを使用せずにも移動させる。さらに手置きと手置き保持装置の間に設置した力センサーから術者が移動したい方向を力ベクトルとして読みとり、それを速度ベクトルに変換し術者の移動したい方向のみに各関節のブレーキを調節解除してやることで、スムーズな移動を実現させた。粗動、微動による動作方法ではないその中間の動作方法を検討し、仕様に組み込んだ。(下図)



試作した自動追従型手台。
瑞穂医科製マイクロチェアに取り付けてある。

(6) 脳深部手術シミュレーションを行ったところ、目標としたふるえの減少、疲労の軽減、手術操作性の向上を得た。保持装置を効率的に動作させるために必要な接触位置を検討したところ、その位置は外科医の肘直下であったが、手台の安定は逆に腕中央であった。最適な手台の保持装置への取り付け位置は保持装置の動作性能に依存するため、保持装置の改良毎に検討しなければいけないことがわかった。(下図)



自動追従手台を用いて顕微鏡下手術シミュレーションを行った。手台の使用により手術時間は短くなる傾向があり、疲労度と手の震えは著明に減少、手術操作性の向上が得られた。

本装置を使用して、経験を積んだ脳神経外科医に手術シミュレーションを行ったところ、

全く同じタスクであっても手台の使用され方、手台への力のかけ方が異なり、また術者の手台に対する形状要求も異なっていることが判明した。手台が固定されると手術操作性は安定するが、術者の腕の方向が拘束されるため、腕を移動させながら行う手技では固定された手台が邪魔な場合があることがわかった。

(7) 本装置のコンセプト、構造、基本ソフトは 2008 年度に特許申請を行い、国内外で成果を発表した。本装置は信州大学医学部倫理委員会にて臨床使用可能と判断され、2009 年 3 月より臨床使用を行っている。臨床使用にて術者より本装置使用により、より安全で正確な手術が行い得たとの感想を得た。(下図)



臨床使用一例目の実際。保持装置、手台には透明のドレープをかけてある。術者の腕には水色のビニールテープを巻いてあり、手台のドレープとの摩擦係数を上げることで、移動性能を向上させている。

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 9 件)

- ① Yako T, Goto T, Hongo K: Usefulness and limitation of a freely movable armrest in microneurosurgery. Journal of Neurology and Neurosurgery (in press) (査読有)
- ② Goto T, Miyahara T, Toyoda K, Okamoto J, Kakizawa Y, Koyama J, Fujie MG, Hongo K: Telesurgery of Microscopic Micromanipulator System “NeuRobot” in Neurosurgery: Interhospital Preliminary Study. Journal of Brain Disease 1:45-53, 2009 (査読有)
- ③ Goto T, Tanaka Y, Kodama K, Yomo S, Hara Y, Sato A, Hongo K: Staple slectrodes: an inovative alternative for intraoperative electrophysiological

- monitoring. J Neurosurg 108: 483-490, 2008 (査読有)
- ④ Nishizawa K, Fujie MG, Hongo K, Dohi T: Development of Surgical Manipulator System "HUMAN" for Clinical Neurosurgery. Japan Medical Association Journal 49: 335-344, 2008 (査読有)
- ⑤ 本郷一博, 柿澤幸成, 後藤哲哉, 堀内哲吉: 解剖に基づく手術の要点-内頸動脈 paraclinoid aneurysm-. 脳神経外科ジャーナル 17:666-672, 2008 (査読無)
- ⑥ 後藤哲哉, 本郷一博: 脳神経外科手術ロボット「NeuRobot」の改良について. 画像ラボ 19(9) 63-67, 2008 (査読無)
- ⑦ 本郷一博, 後藤哲哉: 聴神経鞘腫の手術. (基本をマスター 脳神経外科のスタンダード) 脳神経外科速報 5:544-553, 2008 (査読無)
- ⑧ 西澤幸司, 村垣善浩, 藤江正克, 佐久間一郎, 伊関 洋: 狭隘術野での精密低侵襲手術を支援するマニピュレータシステムの開発. Journal of Japan Society of Computer Aided Surgery : J. JSCAS 9: 7-14, 2007 (査読有)
- ⑨ Goto T, Tanaka Y, Kodama K, Kusano Y, Sakai K, Hongo K: Loss of visual evoked potential following temporary occlusion of the superior hypophyseal artery during aneurysm clipping. J Neurosurg 107:865-867, 2007 (査読有)
- [学会発表] (計 22 件)
- ① 後藤哲哉: 顕微鏡下脳神経外科手術における自動追従型手台ロボットの有用性について. 第 19 回脳神経外科手術と機器学会(CNTT), 東京, 2010/3/19-20
- ② 後藤哲哉: 顕微鏡下脳神経外科手術における自動追従型手台ロボットの有用性について. 第 18 回日本コンピュータ外科学会, 東京, 2009/11/21-23
- ③ 岡本 淳: 脳神経外科手術用自動追従型手台ロボットの開発 -パウダブレーキによるパッシブな角速度制御-. 第 18 回日本コンピュータ外科学会, 東京, 2009/11/21-23
- ④ 後藤哲哉: 顕微鏡下脳神経外科手術における自動追従型手台ロボットの開発. 第 68 回日本脳神経外科総会, 東京, 2009/10/14-16 (シンポジウム)
- ⑤ 藤江正克: 医療・福祉分野における知能ロボットの現状と展望. 第 14 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 東京, 2009/9/10 (招待講演)
- ⑥ Hongo K: Surgery-assisting robotics (NeuRobot) for minimary invasive neurosurgery. XIV World Congress of Neurological Surgery, Boston, USA, 2009/8/30-9/4 (招待講演)
- ⑦ Goto T: Auto-adjusting arm holding robot for microscopic neurosurgery -concept and preliminary results- Swiss-Japanese Neurosurgical Joint Meeting 2009, Zurich, Switzerland, 2009/7/23-26
- ⑧ 岡本 淳: 経外科手術手技をサポートする手台マニピュレータ EXPERT の開発. 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 2009, 福岡, 2009/5/24-26
- ⑨ Fujie MG: Robot project in Japan -Basic Technology Development for Practical Application of Human Support Robots. 4th International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering, Antalya, Turkey, 2009/5/2 (招待講演)
- ⑩ Goto T: Auto-adjusting arm holding robot for microscopic neurosurgery - concept and pre-liminary results. 3rd International Winter Congress, Snowbird, Utah, USA, 2009/3/22-29
- ⑪ 藤江正克: 手術支援ロボットの現状と今後に求められる機能性能. 第 46 回日本人工臓器学会大会, 東京, 2008/11/22 (招待講演)
- ⑫ 本郷一博: Surgery for the Foramen Magnum Meningioma. 台湾頭蓋底外科学会 2008 年総会, 台北, 2008/11/15 (招待講演)
- ⑬ 本郷一博: 手術に役立つ教育セミナー 脳腫瘍の診断から摘出まで: エキスパートによるポイントの解説 「機器 (顕微鏡・手術器具の使い方)」 第 13 回日本脳腫瘍の外科学会, 大阪, 2008/10/21 (招待講演)
- ⑭ 後藤哲哉: 顕微鏡下脳神経外科手術のための術者の腕を自在に保持するロボットの開発. 第 67 回日本脳神経外科学会総会, 盛岡, 2008/10/1-3
- ⑮ Hongo K: Robotic Neurosurgery in the management of Brain Tumors. the 2008 Annual Meeting of the Indonesia Neurosurgical Society, Semarang, Indonesia, 2008/8/20, (招待講演)
- ⑯ Goto T: Auto-adjusting arm holding robot for microscopic neurosurgery -concept and preliminary results-. CARS 2008, Barcelona, Spain, 2008/6/26-29
- ⑰ 藤江正克: 医療ロボティクスの課題と展望 日本機械学会. 第 20 回バイオエンジニアリング講演会, 東京, 2008/1/26 (基調講演)
- ⑱ Hongo K: Surgery-assisting Robot (NeuRobot) for Minimal invasive Neurosurgery. 12th Asian-Australasian Congress of Neurological Surgeons, 名

古屋, 2007/11/20 (招待講演)

- ① 本郷一博: 脳神経外科術における手術支援ロボットNeuRobot. 第66回日本脳神経外科学会総会, 東京, 2007/10/3 (招待シンポジウム)
- ② 本郷一博: 脳神経外科先端医療 - 立体画像による手術シミュレーションおよび手術支援ロボットの開発. 第13回金沢医科大学医学研究セミナー, 金沢, 2007/9/2
- ③ 本郷一博: ロボットで脳の手術? - 最先端の脳神経外科医療 -. 第1回信州医療ワールド夏季セミナー, 松本, 2007/8/16
- ④ Fujie MG: Intelligent Robotics Based Medicine. HANOVER MESSE, Hanover, Germany, 2007/4/20 (招待講演)

[図書] (計2件)

- ① 本郷一博: 脳腫瘍 41. 神経上皮性腫瘍 (神経膠腫)、42. 髄膜腫、43. 下垂体腺腫 標準脳神経外科学 第11版, p167-188 医学書院 東京, 2008
- ② 後藤哲哉、本郷一博: 固定器具使用法. 脳神経外科専門医を目指すための経験すべき手術 44, pp6-, メジカルビュー, 東京, 2007

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

- ① 名称: 衝突防止装置
発明者: 本郷一博、後藤哲哉、藤江正克、岡本 淳、豊田和孝
権利者: 国立大学法人信州大学
種類: 特許
番号: 出願 2008-151906
出願年月日: 平成 20 年 6 月 10 日
国内外の別: 国内
- ② 名称: 移動装置
発明者: 本郷一博、後藤哲哉、藤江正克、岡本 淳、豊田和孝
権利者: 国立大学法人信州大学
種類: 特許
番号: 出願 2008-147161
出願年月日: 平成 20 年 6 月 4 日
国内外の別: 国内

○取得状況 (計2件)

- ① 名称: 衝突防止装置
発明者: 本郷一博、後藤哲哉、藤江正克、岡本 淳、豊田和孝
権利者: 国立大学法人信州大学
種類: 特許
番号: 公開 2009-297080
取得年月日: 平成 21 年 12 月 24 日

国内外の別: 国内

- ② 名称: 移動装置
発明者: 本郷一博、後藤哲哉、藤江正克、岡本 淳、豊田和孝
権利者: 国立大学法人信州大学
種類: 特許
番号: 公開 2009-291363
取得年月日: 平成 21 年 12 月 17 日
国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本郷 一博 (HONGO KAZUHIRO)
信州大学・医学部・教授
研究者番号: 00135154

(2) 研究分担者

後藤 哲哉 (GOTO TETSUYA)
信州大学・医学部附属病院・助教
研究者番号: 30362130

藤江 正克 (FUJIE MASAKATSU)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号: 20339716

岡本 淳 (OKAMOTO JUN)
早稲田大学・理工学術院・研究院講師
研究者番号: 10409683

八子 武裕 (YAKO TAKEHIRO)
信州大学・医学部附属病院・助教
研究者番号: 40447735

田中 雄一郎 (TANAKA YUICHIRO)
聖マリアンナ医科大学・医学部・准助教
研究者番号: 70192177
(H19→H20 連携研究者)

(3) 連携研究者

岩田 浩康 (IWATA HIROYASU)
早稲田大学・高等研究所・准教授
研究者番号: 30339692