

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：33920

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K10320

研究課題名(和文)血管内治療用ロボットの開発

研究課題名(英文)Development of the robot supporting endovascular therapy

研究代表者

宮地 茂(Miyachi, Shigeru)

愛知医科大学・医学部・教授

研究者番号：00293697

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：これまで6年間に及ぶ基盤研究の成果として、挿入力測定装置(特許取得、臨床応用中)を開発し、カテーテルとガイドワイヤーの両方を別々に操作できる遠隔操作による操作ロボットに組みこんだ。挿入力測定装置における抵抗力認知の正確性について検証するとともに、安全管理の観点から過大な力がかかった場合にすぐに行為を停止させられるような安全装置をつけ、血管モデルを用いた実証を行った。今回の研究期間内では主として動作再現性の検証を行ったが、今後は、安全かつ正確なカテーテル治療支援ロボットを完成させ、遠隔治療も含めた脳血管内治療の可能性の拡大と、術者負担の軽減のためにロボット治療の臨床での早期実現化を目指す。

研究成果の概要(英文)：We developed a prototype of support robot for neuroendovascular therapy. Our robot has two independent slaves manipulating catheter and guidewire connected with the remote master driver with two joysticks. Slave manipulator has the sufficient output power more than 1 newton to reproduce the exact master intervention without slip and delay. This machine has a unique function to indicate the reaction force of the resistance on wire stuck using the sensor system. It is useful to prevent over-action of the machine. We checked the controllability, safety and reproducibility of our machine on the in-vivo silicone vascular model. Although the operator's motion could be well reproduced in the simple model, it was difficult to realize the exact correspondence against the rapid action or in the acutely curved vessel. Neuroendovascular intervention requires the delicate power adjustment with fine finger control. Our robot may realize neurointerventions without human operators in the angiosuite.

研究分野：脳神経外科、神経放射線科、ロボット医学

キーワード：血管内治療 ロボティクス 遠隔医療 挿入力 カテーテル ガイドワイヤー センサー フィードバック

1. 研究開始当初の背景

血管内治療は低侵襲性の利点によりあらゆる分野に導入され、飛躍的に需要が伸びている。循環器領域における冠動脈ステントはもちろん、近年は脳血管領域における貢献が著しい。このようなカテーテル治療は、長時間の X 線透視下に行う作業であり、X 線管球近くで作業を行う施術者やスタッフの累積被ばくが問題となっている。放射線防御板や血管撮影装置の線量低減などの工夫がなされているが、解像度を保持した正確な治療を行うためにはある程度の線量が必要となる。一方、昨今腹部外科領域では、ダ・ビンチに代表されるロボット手術が広く導入されてきている。術者の手の動きを正確に反映したロボットアームの操作では高い精度のマスタースレーブ技術が確立されている。翻って、血管内治療における操作を見直すと、通常の外科手術における複雑な三次元的な動きに対し、カテーテルなどのデバイスの押し引きとねじりという一次元的なシンプルな動きのみで構成されているため、動作制御はより容易である。別室での術者のカテーテル操作を、術野で再現できるロボットアームならぬロボットフィンガーは、生涯被ばくの影響が懸念される血管内治療施行医師に待望されているところであり、またその作成は現在の精巧なロボット工学技術を用いれば十分実現可能なレベルにある。

2. 研究の目的

循環器領域、脳血管領域で飛躍的に需要が伸びている血管内治療は、長時間の X 線透視下に行う作業であり、施術者の累積被ばくが問題となっている。一方、そのカテーテル操作は、押し引きとねじりというシンプルな動きのみで構成されているため、腹部ロボット手術より動作制御は容易である。本研究では、実際に作業を行う指にあたる

動作部分を開発し、術者の実際の感覚と動作を再現するプロトタイプのロボットを試作する。申請者らが開発し特許を取得している「挿入力検知装置」を用い、指先の感覚をフィードバックする統合的操作により、制御をより安全なものとする。この開発により、血管内治療医の負担と健康被害の軽減が実現でき、熟達者の遠隔操作により、緊急や困難症例の血管内治療が専門医不在の施設でも施行することが可能となる。

3. 研究の方法

平成 26 年度には、デバイスを操作するロボットフィンガーのハードウェアの製作を行う。術者の持つ疑似デバイスの動きを、実際のデバイスを持つロボットが、ローラークチュエータの動きで正確かつ遅滞なく再現できるかどうかを検証する。平成 27 年度には、挿入力検知装置をガイドワイヤー挿入部に取り付け、前年度に確立したロボット操作において、抵抗感の認知が実際に機能するのかを検証する。平成 28 年度には、術者とロボットの認知-運動機能の共有化が実現された段階で、実際の血管モデルや動物モデルを用い、操作性を in-vitro に検証する。

初年度にはカテーテルやガイドワイヤーなどのデバイスを操作するロボットフィンガーのハードウェアの製作を行う。実際のロボット操作は、被ばくの影響のない別室にて術者が透視モニターを見ながらシミュレーションデバイスマシンを用いて行うが、その術者の持つ疑似デバイスの動きを、実際のデバイスを持つロボットが、ローラークチュエータの動きで正確かつ遅滞なく再現できるかどうかを検証する。

次年度には、挿入力検知装置をガイドワイヤー挿入部に取り付け、前年度に確立したロボット操作において、抵抗感の認知が実際に機能するのかを検証する。また、現

在音で抵抗感を知らせる仕組みになっているが、これをワイヤー操作部に反力を与えることで、ロボットが感じている抵抗感を、術者も感覚的に体験できるシステムを開発する。実際の感覚の評価を in-vitro で行う。

3 年目には術者とロボットの認知-運動機能の共有化が実現された段階で、実際の血管モデルを用い、操作性を in-vitro に検証する。また、ブタなどの動物を用いて、臨床現場に近いシチュエーションで実現可能かどうかを、実際にデバイスを動脈内に挿入して検証する。

4 . 研究成果

これまで 6 年間に及ぶ脳血管内治療ロボット開発の基盤研究の成果として、まず挿入力測定装置（特許取得、臨床応用中）を開発し、研究成果として、カテーテルとガイドワイヤーの両方を別々に操作できる遠隔操作による操作ロボットを完成させ、これに挿入力測定装置を組み合わせた。このモデルでは Y コネクタを固定台に置き、その下に力センサーを配置し、さらに防水構造とした。電子制御回路は、ロボットの土台の中に格納し、力センサーを医師の手側でなく、Y コネクタの下側に設置したことで全長を短くした。この構造を、同じようにガイドワイヤー用のロボットにも適用してある。今回は挿入力測定装置における抵抗力認知の正確性について検証するとともに、安全管理の観点から、その抵抗を可視化することにより、過大な力がかかった場合にすぐに行為を停止させられるように設定を調整し、血管モデルを用いた実証を行った。

今回の研究期間内では主として動作再現性の検証を行ったが、ジョイスティックによるマスター側の操作は忠実に反映されていたものの、スレーブ側の起動に数ミリ秒の遅れが生じることと、動作スピードは慎

重な動きを行なうためと、高速操作でのスリップを防ぐため、実際の治療における操作よりはかなり遅く設定せざるを得なかった。また、現在有線でのコントロールとなっているため、ガイドワイヤーの回転角度に制限が生じていること、実臨床において使用するには装置全体がまだ大きく（特にカテーテル駆動部とガイドワイヤー駆動部の位置など）、それぞれの機器の相互作用（反発、追従など）や滅菌方法などまだ改善すべき点が残っている。

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 2 件)

Matsubara N, Miyachi S, Izumi T, Yamada H, Marui N, Ota K, Tajima H, Shintai K, Ito M, Imai T, Nishihori M, Wakabayashi T. Clinical Application of Insertion Force Sensor System for Coil Embolization of Intracranial Aneurysms. World Neurosurg. 査読あり DOI: 10.1016/j.wneu. 2017.06.092. (印刷中)

福本優治、山口 瞬、広中孝英、永野佳孝、金光拓也、宮地 茂。脳血管内治療用遠隔操作ロボットの操作デザインの検討と開発。平成 29 年度日本デザイン学会第 3 支部研究発表会概要 ; 査読なし、2017、35-36

〔学会発表〕(計 5 件)

福本優治、山口瞬、広中孝英、永野佳孝、金光拓也、宮地茂。脳血管内治療用遠隔操作ロボットの操作デザインの検討と開発。日本デザイン学会第 3 支部 平成 28 年度研究発表会、2017

広中孝英、永野佳孝、宮地茂、川口礼雄、松尾直樹。脳血管内治療用遠隔操作ロボットの開発（第 2 報）第 26 回日本コンピュータ外科学会、2017

川口 礼雄、宮地 茂、永野 佳孝、広中 孝英、松尾 直樹、高安 正和。血管内治療をロボットにやらせる ~ 脳血管内治療遠隔操作ロボットの開発 ~ 第 33 回日本脳神経血管内治療学会総会、2017 Miyachi S, Kawaguchi R, Nagano Y, Hironaka T, Matsuo N, Ohshima T, Takayasu M. Development of Support

Robot for Neuroendovascular Intervention. ABC-WIN Seminar 2018 (国際学会), 2018

宮地 茂. 脳血管内治療の最新のテクノロジー. 第69回千葉神経外科研究会, 2018

宮地 茂. 脳血管内治療の最新情報. The 11th KVIC, 2018

研究者番号:

(4)研究協力者
なし

()

〔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:
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

宮地 茂 (MIYACHI, Shigeru)
愛知医科大学・医学部・教授
研究者番号: 00293697

(2)研究分担者

永野 佳孝 (NAGANO, Yoshitaka)
愛知工科大学・工学部・教授
研究者番号: 40610142

大西 宏之 (OHNISHI, Hiroyuki)
大阪医科大学・医学部・助教
研究者番号: 10641657

平松 亮 (HIRAMATSU, Ryo)
大阪医科大学・医学部・助教
研究者番号: 40609707

(3)連携研究者

なし

()