脳活動計測に基づいた手術支援ロボットの直感的な操作性評価

Intuitive Operability Evaluation for Robotic Surgery using Brain Activity Measurement to Determine Hand – Eye Coordination

○正 三浦 智 (早大) 正 小林 洋 (早大)
正 関 雅俊 (早大) 正 野口建彦 (早大)
正 粕谷昌宏 (電通大) 正 横尾勇樹 (早大)
正 藤江正克 (早大)

Satoshi MIURA, Waseda University, miura-s@akane.waseda.jp
Yo KOBAYASHI, Waseda University
Masatoshi SEKI, Waseda University
Takehiko NOGUCHI, Waseda University
Masahiro KASUYA, University of Electro-Communications
Yuki YOKOO, Waseda University
Masakatsu G. FUJIE, Waseda University

The intuitive operability, representing user interoperability, has not been quantitatively evaluated in surgical robot. We propose a method for measuring brain activity to determine intuitive operability so as to design a robot with intuitive operability. The objective of this paper is to determine the angle and radius between the endoscope and the manipulator that allows users to perceive the manipulator as part of their body. In the experiments, while subjects moved the hand controller to position the tip of the virtual slave manipulator on the target in the surgical simulator, we measured the brain activity through brain imaging devices. The results show that brain activation is significantly greater with a particular slave manipulator configuration. We conclude that the hand-eye coordination between the body image and the robot should be closely matched in the design of a robot with intuitive operability.

Key Words: Endoscopic Surgery, Robotic Surgery, Cognition, Intuitive Operability, Brain activity

1. 序論

21 世紀に入りロボット手術の臨床化が進んでいる^[1]。ロボット手術には手術の遠隔化・低侵襲化といった利点がある。^[2] ロボット手術は一般的にマスタ・スレーブ方式が用いられる。医師はモニタを見ながら間接的に術場の状況を把握し術具を操作する。そのため、ロボット手術は開腹手術に比べて医師の操作は困難となる。よって、医師が直接操作しているような操作性（直感的な操作性）が、手術支援ロボットの開発に求められている^[3]。

操作性の向上を図るため、手術支援ロボットの工学的なスペックは飛躍的に上昇した。しかし、医師の感じる直感的な操作性については、十分な考慮がされていない。その原因は医師の内面をアンケートや作業成績といった、主観的または定性的な方法でしか評価していないためである。

本研究では、操作者の脳活動を計測し、ロボットの直感的な操作性を評価する手法を提案する。図 1 に示すように、人が道具を自分の身体の一部と見なしていると、反応が活発化する部位が脳には存在する^[4]。そこで本研究では“直感的な操作性”を“まるで自分の身体の一部としてロボットを動かしているような感覚”として定義付ける。操作者の脳活動が活発であるほど、手術支援ロボットの直感的な操作性は高いものと評価する。本提案手法により、直感的に操作できるロボットを設計するた

めの要求仕様を導出できる。

ロボットを自分の身体の一部と見なすためには、視覚と体性感覚のフィードバックに整合性がなければならぬと言われている^[5]。手術支援ロボットにおける内視鏡と鉗子は、医師にとっての眼と手の関係を代替する。そのため、手術支援ロボットにおいて、内視鏡と鉗子の位置関係が視覚と体性感覚の整合性を持たせるために重要であるという仮説を立て研究を実施した。

本研究の目的は、脳活動計測から内視鏡とスレーブアームの位置関係を検討することである。図 2, 3 に示すように、内視鏡とスレーブアームの位置関係は、次の二点で定義される。1. 内視鏡とスレーブアームがどれくらい離れているかを示す半径。2. 内視鏡からスレーブアームが見える角度である。本稿では 5 種類の半径と 5 種類の角度をそれぞれ検討し、計 25 種類の位置にアームを設置した場合の操作性を脳活動計測から検討した

Fig. 1. Our ideal control system

Fig. 2. Our motivation image.

Fig. 3. Our motivation image.

2. 方法

被験者はハンドルコントローラを操作することで画面に映った仮想アームを操作する。その際の被験者の脳活動を計測し、どのようなアームの設置条件だと脳活動が活発化するかを検討した。

ハンドルコントローラは PHANTOM-Omni®を用いた。仮想アームの先端の位置と姿勢は、PHANTOM-Omni®の先端の位置と姿勢に対応している。脳活動計測は光トポグラフィを用いて頭頂部を計測した。頭頂部には身体の領域を認知する機能があると言われているためである。

実験中のタスクは画面に映った緑色のボックスに、仮想アームの先端で触れるというタスクを行った。この理由は物体に触れる瞬間が最も身体の境界線を意識し、身体と物体との違いを認識すると思われるためである。

3. 結果

実験の結果、13 人中 8 人の被験者は、ある特定のアーム位置で操作した場合に、脳活動が活発化した。図 5 はその 8 人のうちの一例である。

4. 考察

上記 8 名の被験者は、どこのアーム位置で脳活動が活発化したのか検討した。その結果、人間の腕の機構とロボットの機構が近いような位置に仮想アームが設置されていると、脳活動が活発化することが示唆された。人間の身体像（自己に対する空間イメージ）とロボットの動きが一致し、脳活動が活発化すると考察される。

本稿の実験より、ロボットの直感的な操作性は、身体像とロボットの動きや機構を如何に重ねるかが重要であると推察される。今後どのような条件下によって身体像が直感的な操作性を促すかを考察し、直感的に操作できる手術支援ロボットの開発を目指す。

Fig. 4. Proposal technique.

Fig. 5. Result for the arm configuration

5. 結言

近年ロボット手術が普及しているが、直感的に操作できる手術支援ロボットは開発されていない。本研究では脳活動計測により操作者の内観である直感的な操作性を計測する手法を提案した。目的は、脳活動計測から内視鏡とスレーブアームの位置関係を検討することである。実験では、被験者はハンドルコントローラを使って仮想アームを操作した。実験の結果、13 人中 8 人はある特定のアーム位置で脳活動が活発化した。彼ら 8 人はどのような条件で脳活動が活発化するかを検討したところ、人間の身体像とロボットの機構が深く関係していることが示唆された。

謝 辞

本研究の一部は、日本学術振興会グローバル COE プログラム「グローバルロボットアカデミア」、文部科学省ハイテク・リサーチ・センター整備事業、科研費 23240081、科研費 22360108 の支援を受けて行われた。

文 献

- [1] J. Leven, D. Burschka, R. Knmar, M. Choti, C. Hasser, and R. H. Taylor, "Davinci Canvas: a telerobotic surgical system with integrated, robot-assisted, laparoscopic ultrasound capability," *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, MICCAI 2005*, vol. 3749, pp. 811-818.
- [2] T. Osa, C. Staub, and A. Knoll, "Framework of automatic robotic surgery system using visual servoing", in *Proc. 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Taipei, Taiwan, 2010.
- [3] G.H. Ballantyne, "Robotic surgery, telerobotic surgery, telepresence, and telerobotics - review of early clinical results," *Surg Endosc*, vol. 16, pp. 1389-1402, 2002.
- [4] A. Maravita and A. Iriki, "Tools for the body," *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 8, no. 2, February 2004.