

氏名・(本籍)	木村 竜太 (秋田県)
専攻分野の名称	博士(医学)
学位記番号	医博甲第1000号
学位授与の日付	平成31年3月21日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	医学系研究科医学専攻
学位論文題名	Development of a Rehabilitation Robot Combined with Functional Electrical Stimulation Controlled by Non-disabled lower Extremity in Hemiplegic Gait(片麻痺者に対する機能的電気刺激と健側フィードバックを用いたリハビリテーションロボットの開発)
論文審査委員	(主査) 西川 俊昭 教授 (副査) 河谷 正仁 教授      橋本 学 教授

## 学位論文内容要旨

## 研究成績

Development of a Rehabilitation Robot Combined with Functional Electrical Stimulation Controlled by Non-disabled lower Extremity in Hemiplegic Gait (片麻痺者に対する機能的電気刺激と健側フィードバックを用いたリハビリテーションロボットの開発)

関節角度再現性は、股関節 (FES 有/無) (平均±標準偏差, %)  $87.9 \pm 5.9 / 87.4 \pm 8.0$ , 膝関節  $72.3 \pm 11.8 / 70.1 \pm 12.4$  だった。FES 有無において有意差は認めなかった。歩行周期は股関節  $98.6 \pm 3.8 / 99.7 \pm 0.2$ , 膝関節  $99.9 \pm 0.1 / 99.8 \pm 0.2$  だった。FES 有無において有意差は認めなかった。AJC はコントロールの通常歩行が股関節 ( $\text{rad}^2/\text{s}^3$ ) 763, 膝関節 5384 だった。Akita Trainer 装着時には股関節健側 (FES 有/無) 650/602, 患側 433/309, 膝関節健側 4976/4866, 患側 1066/920 だった。Akita Trainer 装着時の患側股関節, 膝関節は, FES の有無にかかわらず, 有意に AJC が小さかった。有害事象は特に認めなかった。

申請者氏名 木村 竜太

## 結論

## 研究目的

脳卒中などの中枢神経障害者数の増加に伴い、リハビリテーションの需要が増加している。従来、中枢神経系は障害された場合は再生しないと考えられていたが、近年神経の可塑性が実証され、ニューロリハビリテーションの分野が発展している。これは課題特異的な訓練を繰り返し、一定量の訓練量を確保することで神経の可塑性を促進するものであるが、この点においてリハビリテーションロボットが特に有用と考えられている。しかし、従来のリハビリテーションロボットの動きはロボットが規定するもの、もしくは補助するものであり、新たな歩行運動を学習する必要があった。そこで、歩行は個人特有の運動であり、発症前に近い歩行を発症早期から再現することで、より有効な歩行訓練ができないかという仮説を元に、片麻痺者に対して、9軸センサにより健側下肢の動きを患側に再現する健側フィードバックシステムを開発した。また、ロボットのみでは自己の筋活動を促すことが難しいが、機能的電気刺激 (FES) を併用することで、筋活動を伴った効果的な神経筋再教育が可能となる。だが、健側フィードバックシステム、また FES とのハイブリッドシステムを用いた歩行訓練リハビリテーションロボットの報告はまだない。本研究の目的は、開発したロボット (Akita Trainer) の 9 軸センサの精度 (再現性)、FES の有無で再現性が異なるかどうか、また再現時の動きの滑らかさを検証することである。

Akita Trainer の健側フィードバックシステムは高い関節角度再現性が得られ、FES の有無で再現性に有意差は認めなかった。また健側に比べ、患側 (ロボット側) はより滑らかな動きを行っていた。本システムのように複数機器や装置が連携して動作する際、管理・制御する側をマスター、制御される側をスレーブと呼ぶ。このマスタースレーブ方式は手術ロボットや上肢リハビリテーションロボットに用いられているが、歩行訓練リハビリテーションロボットとしては本機器が初の報告となる。運動学習においては、学習の転移性が重要と考えられ、運動においては常に体性感覚フィードバックを介した誤差修正を行っている。その際に、健常時に近い歩行を行うことができれば、誤差修正が少なく効率的な歩行訓練が可能になると考える。また、FES を併用することで、発症早期から自己の筋活動を伴った訓練を行うことができ、リハビリテーション効果を向上できる可能性がある。今後は、対麻痺への対応機器を作成し、再生医療を併用した臨床応用を目指す。

## 研究方法

対象は、健常成人男性 10 名 (22~24 歳) である。Akita Trainer を使い、右を模擬患側、左を健側と規定し 0.8km/h でトレッドミル歩行を行った。9 軸センサを用い計測した健側の動きを、歩行周期 1/2 ずらし患側へ再現した。また、患側の大腿四頭筋には FES を併用し、遊脚終期~立脚中期にかけて関節運動が生じる最低刺激を行った。FES あり、なしで各 3 分間歩行を行い、中央 30 秒間の平均値を計測値とした。関節角度は光学式モーションキャプチャを用いて計測した。股関節・膝関節角度、歩行周期の健側に対する再現性、各関節の動きの滑らかさを示す Angular Jerk Cost (AJC) を検証した。

## 学位（博士一甲）論文審査結果の要旨

主査：西川 俊昭

申請者：木村 竜太

論文題名：Development of a Rehabilitation Robot Combined with Functional Electrical Stimulation Controlled by Non-disabled lower Extremity in Hemiplegic Gait

(片麻痺者に対する機能的電気刺激と健側フィードバックを用いたリハビリテーションロボットの開発)

## 要旨

著者の研究は論文内容要旨に示すように、片麻痺者に対する機能的電気刺激と健側フィードバックシステムを用いた歩行訓練リハビリテーションロボットを開発し、その精度を、関節角度・歩行周期再現性ならびに、Angular Jerk Cost を用いて動きの滑らかさを評価したものである。

これまでのリハビリテーションロボットが規定された動きで訓練していたのに対し、機能的電気刺激を用いて麻痺者の自己筋収縮を伴いながら、健側フィードバックシステムを用いて患者個人の固有の歩行を用いた歩行訓練を行うことができるが、両システムを用いた歩行訓練リハビリテーションロボットはまだない。筆者らは、初めて両システムを用いた歩行訓練リハビリテーションロボット (Akita Trainer) について報告し、その再現性の精度ならびに動きの滑らかさについて検討した。

本研究の斬新さ、重要性、実験方法の正確性、表現の明瞭さは以下のとおりである。

## 1) 斬新さ

健側フィードバックシステムそのものが過去に報告が少なく、リハビリテーションロボットへの応用はない。また日常診療で用いられている機能的電気刺激をリハビリテーションロボットに併用した報告も極めて少ない。本研究は、両システムを臨床応用に用いた機器として初の報告である。また測定項目として、Angular Jerk Cost を用いた計測により、動きの精度のみでなく、機能的電気刺激を併用することによる動きの滑らかさの減少がないかについても検証が行われている点も斬新な点に挙げられる。

## 2) 重要性

脳卒中に代表される中枢神経障害において、麻痺の残存は著しくその後の QOL・ADL を低下させるため、その根本的治療に今後期待されている。そこで、近年中に応用される再生医療と、ロボットリハビリテーションの組み合わせが重要になると考えられている。本研究で用いた健側フィードバックシステムは、さらにテーラーメイドの医療を行うという視点も組み込まれており、運動学習という視点においても高いリハビリテーション効果を見込めると考えられる。

## 3) 実験方法の正確性

本研究では、関節角度計測を、精度の保障されたモーションキャプチャーシステムを用いて行っている。また、さらに、各評価項目の測定を同一検者で行い、測定に関する検者間のバイアスを除去している。計測結果の算出方法についても、過去の研究と同様の手順で正確に測定している。

さらに、全ての結果は統計学的検討が加えられており、実験方法は客観的で正確性がある。

## 4) 表現の明瞭さ

本研究の持つ意味、機能的電気刺激ならびに健側フィードバックシステムについての概要、各種計測方法、評価項目、得られた結果、考察は簡潔かつ明瞭に記載されている。

以上述べたように、本論文は学位を授与するに十分値する研究と判定する。