

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500265

研究課題名(和文) 下肢の運動錯覚を活用した片麻痺歩行の疑似体験手法とその教育利用

研究課題名(英文) Simulation Exercise of Hemiplegic Gait by Utilizing Illusory Kinesthesia of Leg and Educational Use

研究代表者

上杉 繁 (WESUGI, Shigeru)

早稲田大学・理工学術院・准教授

研究者番号：80350461

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円、(間接経費) 1,080,000円

研究成果の概要(和文)：片麻痺患者における動作の不自由さの理解を手助けする教育ツールを目指し、健常者において非侵襲かつ安全に片麻痺患者の疑似体験をするための方法とその活用に関する研究に取り組んだ。特に片麻痺歩行に焦点を当て、多くの患者が体験している、下肢を動かそうとしても動かない、勝手に動いてしまうなどの、感じている・イメージしている下肢の動きと、実際の物理的な下肢の動きとの間に齟齬が生じてしまう体験に着目した。そして、このようなずれを体験させるため、運動錯覚と反射運動を生じさせ、さらには変動する負荷を付与するという方法を考案し、体験ツールを開発した。さらに、歩行動作への影響について調査を行い、装置体験会を実施した。

研究成果の概要(英文)：In a class of practical work for physiotherapy students and nursing students, those students experience simulation of hemiplegia patient to improve understanding on situation of such patient. A well-known method on the simulation is to load weight and restraint on extremities of an able-bodied subject, and weaknesses of the method are pointed out. Therefore applicants have focused on significance of introspection of hemiplegia patient during walking, and we have devised a novel method on a simulation of hemiplegia patient by influencing on an interaction between action and perception of lower extremity. Based on this idea, we have designed and developed an experimental device that vibrates tendons of leg joints for generating illusory kinesthesia and reflex action. Finally we investigated how our device influenced a gait of able-bodied person, and we gave workshops on experiencing our device for simulation of hemiplegic walk.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：片麻痺歩行 疑似体験 腱振動刺激 運動錯覚 反射動作 教育支援

1. 研究開始当初の背景

(1) 脳卒中による麻痺

脳卒中は、脳内の出血や塞栓による血液の循環障害のために脳組織が損傷する病気であり、日本では平成22年の1年間に12.3万人が亡くなっているとも報告されている。一命を取り留めた患者においても、麻痺という、運動機能や感覚機能の障害、言語障害など多岐にわたる障害を生み出すことが多い。本研究で着目する片麻痺は比較的患者数が多い半身の麻痺であり、左右いずれかの上肢・下肢の動作や知覚に困難を生み、他にも両下肢の対麻痺など身体の部位に応じた様々な麻痺がある。

(2) 片麻痺患者の疑似体験

麻痺における運動や感覚の障害、さらには認知の障害は、健常人々には想像できない体験としての難しさがあり[1]、リハビリテーションに関わる理学療法士や看護師育成の教育現場では、麻痺患者への理解を深めるために、片麻痺の疑似体験実習などが行われる。そこでは四肢の一部の関節近傍におもりや拘束具を装着することによって、動きにくさという負荷を与え、関節の可動域を制限する方法が一般的に利用され、その手軽さから広く普及している。こうした疑似体験時の動作に関し、疑似体験装具を使用した歩行中の下肢の左右の動きのタイミング[2]、立ち上がり動作時の重心移動[3]、車椅子の操作[4]などにおいて、片麻痺患者の動作と比較した類似・相違点が報告されている。また、片麻痺疑似体験装具を使用した実習教育における効果についても報告されている[5]。

(3) 社会的問題

麻痺のためにリハビリテーションが必要である患者数は、日本国内においておよそ20万人いるとも推定されており、そこに関わる医療従事者が不足していることが問題とされている。こうした状況において、医療従事者の育成や一般生活者における麻痺への関心を高めるために、既存の疑似体験装具のみならず、新たな手法も必要であるとの教育現場における要請から、本問題意識を持つに至った。

[1] 例えば、山田、壊れた脳 生存する知、講談社、東京、2004。

[2] 武藤、栗津原、一宮、三宅、片麻痺疑似体験装具を用いた歩行訓練シミュレーション、ヒューマンインタフェースシンポジウム2007講演会予稿集、pp.921-926, Sept.2007。

[3] 田中、松田、片麻痺疑似体験時の立ち上がり動作における重心動揺と荷重率：足圧分布測定器による検討、九州保健福祉大学研究紀要、Vol.7, pp.177-181, Mar.2006。

[4] Kirby,R.L., Adams,C.D., MacPhee,A.H.,

Coolen,A.L., Harrison,E.R., Eskes,G.A., Smith,C., MacLeod,D.A. and Dupuis, D.J., Wheelchair-skill performance: controlled comparison between people with hemiplegia and able-bodied people simulating hemiplegia, Arch Phys Med Rehabil 2005, 86, pp.387-393, Mar. 2005.

[5] 藤野、百瀬、原沢、松岡、大澤、装具を用いた片麻痺疑似体験が学生に及ぼす学習効果、愛知県立看護大学紀要、Vol.12, pp.41-49, Dec.2006。

2. 研究の目的

(1) 既存の疑似体験装具

片麻痺患者においてよく見られる姿勢としてウェルニッケ・マン肢位があるが、筋の過度の緊張状態によって、半身の上肢は屈曲し、同側の下肢は伸展した状態としての動作の困難さが生じている。この状況を外部から観察する限りにおいては、各関節がまさに結果として「固定」してしまっているかのよう捉えることができる。既存の疑似体験装具は、運動麻痺によるこうした「固定」された上・下肢の動作を部分的に模倣する方針に基づいた、関節の拘束・負荷の付与というデザイン手法であると考えられる。

(2) 患者の内観を考慮した疑似体験

一方で申請者らは、片麻痺患者を外部から観察した際の動きの特徴のみに着目するのではなく、動作の生成や調整における不自由さに関する片麻痺患者自身の内観を重視した疑似体験を目指すことにした。片麻痺患者における麻痺とは、感覚や運動、その運動に関わる脳内の組織が損傷し、動きの感覚・知覚機能そのもの、動きの指令機能そのもの、それらに連動する機能が適切に働かなくなってしまう現象であり[6]、こうした脳の機能障害をそのまま疑似体験することは極めて困難である。そこで申請者らは、患者自身が感じている身体の動きの不自由さを疑似体験する方針として、自身の下肢を動かそうと思っても上手く動かない、あるいは勝手に動いてしまうなどの、感じたりイメージしている下肢の動きと、現実の物理的な下肢の運動との間に齟齬が生じてしまう現象に着目した。そして、こうした現象を健常者においても体験できる方法として、片麻痺歩行の新たな疑似体験手法を考案し、その体験ツールの開発と効果の検証、さらにはその活用方法の検討を目的とした。

[6] 例えば、宮本、リハビリテーション・ルネサンス、春秋社、東京、2006。

3. 研究の方法

(1) 運動錯覚と反射運動の活用

片麻痺患者が実感しているような、自身の下肢を動かそうと思っても上手く動か

ない、あるいは勝手に動いてしまうなどの下肢の動きを擬似体験する手法の考案へ向け、以下の4点の指針をまずは定めた。

① 体験者が感じている下肢の位置や動きと実際の身体のそれらとの間にずれを生じさせること

② 日常的には自然と調整されて動く下肢が、不随意に動いてしまう、あるいは随意的に動きにくい状態にすること

③ ①、②の現象に直ちに適応してしまわないようにすること

④ 健常者においても非侵襲かつ安全に擬似体験できること

そして①については、知覚した下肢の位置や速度と現実の身体のそれらとの間において、明らかにずれていると体験者が自覚しないようずれを生じさせるため、運動錯覚を活用することに着目した。そこで、著者らが先に研究した腱振動刺激法による運動錯覚[7]を適用することにした。

次に②については、下肢動作の随意性に影響を与えるために、筋の反射運動を利用することに着目した。他の方法として電気刺激法などもあるが、④であげた非侵襲性や、教育用のツールを想定していることから扱いやすさを考慮し、かつ①と同じ手法である腱振動刺激法を適用することにした。

続いて③については、①、②で述べた錯覚や反射を引き起こす刺激の強さや入力タイミングを実験者が操作することによって体験者に予測させないこと、さらにはそれらの刺激の変化に合わせて、あるいは知覚しにくい閾値近傍で、下肢の動きに負荷を与えるなどの制御を行うことにした。

そして④においては、上述した方法によって非侵襲性を考慮すること、刺激や負荷の付与において安全機構を組み入れること、また、被験者実験の際に事故等を防ぐ環境を設定することにした。

(2) 下肢の腱への振動刺激

以上を考慮して実験システムの開発に取り組むことにしたが、本手法の要である腱振動刺激法による運動錯覚・反射運動の活用方法についてさらに検討した。

四肢の関節近傍の腱に20-100[Hz]程度の振動刺激を与えると、緊張性振動反射と呼称される筋の収縮が生じる。この反射運動が生じる際に、その動きを妨げるように関節を外側からの力によって固定すると、収縮方向とは逆の方向に動いているかのような運動錯覚が創出する[8]。この錯覚の神経生理学的なメカニズム[9]や、錯覚創出時の脳活動[10]、さらには他動運動と組み合わせることによる影響[11]などがこれまでに研究されてきた。

先に著者らにおいても、運動錯覚の工学的な活用を想定し、腱振動刺激による運動錯覚と他動運動を組み合わせた実験システムを開発した[7]。そして上腕を他動的に動かす際の初期位置、移動回数、他動運動の速度を変

化させることで運動錯覚の強さを実験者によって調整可能であることを明らかにした。この時の他動運動の量は、錯覚した動きと比較して小さいことから、少しの負荷変化によって四肢の実際の動きと錯覚した動きの間に十分なずれが発生可能であることが推測される。しかしながら、随意的な動作時にはこうした運動錯覚が生じにくいことも示唆された。この点においては、例えば遊脚期から立脚期に向かう際の下肢が振り下ろされる時には、随意的な調整が必ずしも常に行われていないことを日常的に経験していることから、タイミングを考慮して刺激を与えることにより運動錯覚を生じさせることは十分可能であると考えた。また、立脚期や、歩幅などを調整する際に反射運動を起こすことで、立脚中の足の不安定性や、障害物に合わせた足運びが調整できなくなるなどの影響を与えることができるだろうと考えた。このように、歩行動作の状態に合わせて運動錯覚と反射運動を適切に組み合わせることで、片麻痺患者が体験しているような下肢動作の不自由さを擬似体験する手法の実現を目指すことにした。

[7] 友田, 上杉, 三輪, 上腕への腱振動刺激と他動運動による過伸展錯覚の特性, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.14, No.3, pp.361-369, Oct.2009.

[8] Goodwin, G.M., McCloskey, D.I., Matthews, P.B.C., The contribution of muscle afferents to kinesthesia shown by vibration induced illusions of movement and by the effects of paralyzing joint afferents, Brain, Vol.95, Issue.4, pp.705-748, Jan.1972.

[9] Burke, D., Lofstedt, L., Wallin, G., The responses of human muscle spindle endings to vibration of noncontracting muscles, J Physiol, Vol.261, pp.673-693, Oct.1976.

[10] Naito, E., Sensing Limb Movements in the Motor Cortex: How Humans Sense Limb Movement, The Neuroscientist, Vol.10, pp.73-82, Feb.2004.

[11] Cordo, P.J., Gurfinkel, V.S., Brumagne, S., Flores-Vieira, C., Effect of slow, small movement on the vibration-evoked kinesthetic illusion, Experimental Brain Research, Vol.167, pp.324-334, Dec.2005.

4. 研究成果

(1) 片麻痺歩行体験ツールの構築手法

3章で説明した方法に基づいて本研究で開発した片麻痺歩行体験ツールを、図1に示す。下肢の腱に振動刺激を付与することによって、運動錯覚と反射運動を生じさせるが、身体外部から振動刺激を与えることが可能な部位として、膝関節部と足関節部の2箇所を対象とした。そのため、膝関節部では膝蓋腱に振動刺激を与えることで、伸展動作方向の反射運動を起こし、屈曲方向への運動錯覚

を生じさせる。また、足関節部では、アキレス腱に振動刺激を与えることで、底屈動作の反射運動、背屈動作の運動錯覚を生じさせる。そのため、各関節部用に、歩行中にも絶えず刺激を付与することを可能とする振動刺激装置（クランク機構方式、偏心錘二重反転方式、40-100[Hz]）と、負荷を調整する牽引装置（複滑車による逆可動の実現、最大牽引力40[N]、最大牽引速度150[N/m]）を新たに開発した。さらには、振動刺激・牽引の入力タイミングや強さを調整するトリガーとして下肢の動きのデータを利用するため、各関節部には角度センサ、足底には離床・着床時の足底圧を計測するセンサ、腰部には揺動などを計測する加速度センサを組み込んだ。そして計測・制御コントローラによってそれらを統合するシステムを構築した。

以上により、歩行中に運動錯覚・反射運動を生じさせることにより、下肢動作の不自由さを体験するツールの構築手法を見出した。

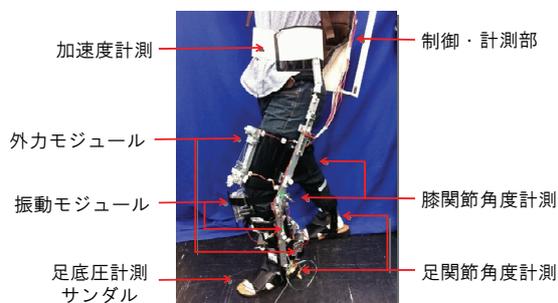


図1 片麻痺歩行体験ツール

(2) 開発したツールによる下肢動作への影響

続いて、開発したツールの特徴である、腱振動刺激による下肢動作への影響を調査するために、目標地点まで下肢を挙げさせた際の、振動刺激の付与箇所とその有無の差による下肢位置の変化を調べるリーチング実験と、歩行中の振動刺激の付与箇所とその有無の差による関節の可動域を比較する歩行実験を行った。

リーチング実験の結果を図2に示すが、振動刺激無しの場合と比較すると、足関節のみあるいは膝関節への振動刺激を付与することで、有意に足が下がってしまう現象が見られた。そして、被験者の主観報告からも、下肢位置が分かりづらくなることや、下肢を持ち上げたり、その場で維持したりすることが困難になることが報告された。

続いて、歩行実験の分析結果として、足、膝、足・膝への振動刺激により、2割強の被験者で有意に足関節の最大底屈角度が大きくなり、4割前後の被験者で有意に膝の伸展が強くなるような現象が見られた。そして、被験者の主観報告からも、足や膝関節を動かしにくくなることや、着地しにくいこと、不安定になることなどの歩行への影響が報告された。

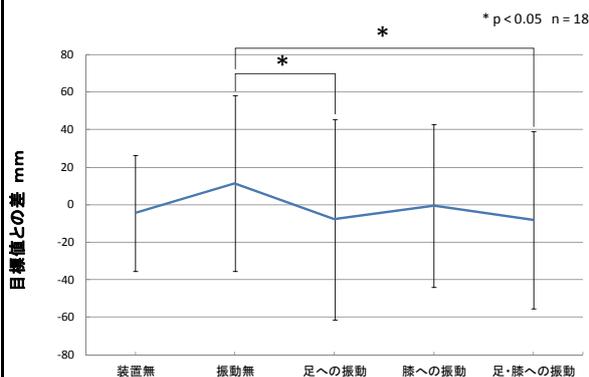


図2 リーチング実験の結果：振動刺激の付与箇所とその有無による足先位置と目標位置との差

その一方で、振動刺激の付与による運動錯覚・反射運動の効果がほとんど生じない場合や、あるいは、反射運動による筋緊張とは逆に弛緩してしまう現象もそれなりの頻度で観察され、体験者による効果の度合いの違いやそのメカニズムについては、今後調査すべき課題として見出された。

以上により、膝関節・足関節への振動刺激の付与による下肢動作への影響を、実験によって明らかにした。

(3) 装置体験会の実施

最後に、多数の参加者を対象にした装置体験会を実施することを踏まえ、4章(1)で紹介したツールにおいて、耐久性や使いやすさ、可搬性を考慮した、体験会用のツールへの換装を可能とした。

そして、理学療法士や理学療法の大学教員、学生を対象に、装置体験会を実施し、体験歩行と片麻痺歩行の類似性や、装置の使い方などについてコメントをしてもらった。片麻痺歩行との類似性に関する回答の結果を図3に示す。

質問：自分が装置を体験している際に、脳卒中患者の動作（姿勢、歩行、立ち上がりなど）と比べて類似点がありましたか

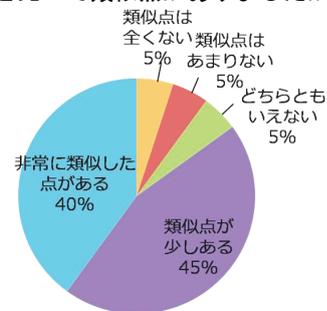


図3 装置体験における片麻痺患者との類似性に関する回答

また、片麻痺歩行との類似性に関する個別のコメントとして、足が出せない現象や重心をのせられない動きが類似していること、伸

張反射が高い状態と、それをコントロールできないところが似ていること、感覚が低下していることや荷重困難な感じが類似していること、膝折れや、分回し歩行が自然と出ていることなどがあげられた。

以上により、理学療法関係者に装置を体験してもらったところ、提案手法により、片麻痺患者の動作と類似した体験が可能であることが示唆された。

(4) 今後の展開

下肢に振動刺激を付与することで、運動錯覚と反射運動を生じさせる方法は、既存の体験装置とは異なる、片麻痺歩行の新たな体験手法として有効である可能性が示唆された。その一方で、体験者によって効果の程度が異なることから、そのメカニズムについてさらに検証し、体験ツールとしての精度を高めていく必要がある。

将来的には、片麻痺患者のリハビリテーションに関わる理学療法士や看護師などの医療従事者の育成のみならず、一般生活者も対象にした体験実習における疑似体験ツールの利用へと展開していきたい。そのためには、考案した手法を多くの箇所において利用してもらうための仕組みを実現する必要がある。そこで、申請者らがアイデアの検証モデルとして作成した、長靴に市販のマッサージ器を組み合わせた器具によって類似した疑似体験を生み出す方法や、安価な簡易版装置を作成する方法をWEB等で公開すること、その製作や使用方法に関するワークショップも合わせて開催すること、そして申請者らが開発したツールを体験者毎に調整することで、より様々な疑似体験を可能とするワークショップも開催することなど、体験デザインのオープン化の枠組みを検討していきたい。

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)

[学会発表] (計6件)

- ① 玉地, 福澤, 矢野, 上杉, 出来る事と出来ない事を共に生み出す投錨点としての身体 —なぜ私たちは歩けるのか、脳卒中後遺症者の歩行を疑似体験する装置を装着しながら考える—, 応用哲学会第6回年次研究大会発表用(2014.5), 関西大学, 高槻
- ② Wesugi, S., Design Approach of Simulation Exercise with Use of Device and Its Significance: Design of Novel Device for Realistic Experience of Being a Hemiplegia Patient, Int. Conf. on Human-Computer Interaction, (2013.7), Las Vegas, USA
- ③ 玉地, 尾白, 川瀬, 上杉, 脳卒中後遺症の知覚世界を疑似体験することは出来る

のか—歩行時の知覚世界を哲学と工学と理学療法学の汀から考える—, 応用哲学会第五回年次研究大会, (2013.4), 南山大学, 名古屋

- ④ Wesugi, S., Tamachi, M., Ojiro, D., Kawase, G., Design Approach on Human-Diminishing Devices Considered through Development of Hemiplegic Gait Simulation Device, International Conference on Human-Machine Systems, Cyborgs and Enhancing Devices (HUMASCEND-2012), (2012.6), Iasi, Romania
- ⑤ 上杉, 尾白, 本多, 玉地, 教育利用を目指した片麻痺歩行の疑似体験手法に関する研究, HCG シンポジウム 2011 (2011.12), 高松 [ベストプレゼンテーション賞]
- ⑥ 上杉, 錯覚する身体 —片麻痺歩行の疑似体験手法について—, 共創システムシンポジウム 2011 (2011.10), 東工大, 東京

[その他]

研究室ホームページ

<http://www.wesugi.mech.waseda.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上杉 繁 (WESUGI, Shigeru)

早稲田大学・理工学術院・准教授

研究者番号: 80350461

(2) 研究分担者

玉地 雅浩 (TAMACHI, Masahiro)

藍野大学・医療保健学部・准教授

研究者番号: 70388700