

教育利用を目指した片麻痺歩行の擬似体験手法に関する研究

上杉 繁[†], 尾白 大知[‡], 本多 慧[‡], 玉地 雅浩[§]

[†] 早稲田大学理工学術院 [‡] 早稲田大学大学院創造理工学研究科

[†] [‡] 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1, 59-308

[§] 藍野大学医療保健学部 〒567-0012 大阪府茨木市東太田 4-5-4

E-mail: [†] wesugi@waseda.jp, [§] m-tamachi@pt-u.aino.ac.jp

あらまし 理学療法士や看護師育成の教育現場では、片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を行う。既存の体験装具は四肢関節に一定の負荷を付与するにすぎないため、疑似体験としては不十分であることが指摘されている。こうした状況において、著者らは歩行に着目し、動かそうと思っても動かない、あるいは勝手に動くなどの片麻痺患者の主観的な経験に着目し、運動と知覚の間に齟齬を生じさせることによって健常者においても非侵襲かつ安全に疑似体験できる方法について研究を始めた。本稿では、こうした運動と知覚の運動に影響を与えるために、運動錯覚・反射運動・負荷変動の3つのはたらきを組み合わせる体験手法を考案したので紹介する。

キーワード 疑似体験, 片麻痺歩行, 運動錯覚, 反射運動, 腱振動刺激, 体験実習

Design of Virtual Experience of a Hemiplegic Gait toward Application in Practical Education

Shigeru WESUGI[†] Daichi OJIRO[‡] Satoru HONDA[‡] and Masahiro TAMACHI[§]

[†] Faculty of Science and Engineering, Waseda University

[‡] Graduate School of Creative Science and Engineering, Waseda University

[†] [‡] 59-308, 3-4-1 Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555 Japan

[§] Faculty of Nursing and Rehabilitation, Aino University 4-5-4 Higashiohta, Ibaraki-shi, Osaka, 567-0012, Japan

E-mail: [†] wesugi@waseda.jp, [§] m-tamachi@pt-u.aino.ac.jp

Abstract In a class of practical work for aspiring physical therapist and nurse, students experience simulation of hemiplegia to improve understanding on situation of hemiplegic patient. A well-known method on the simulation is to load weight and restraint on extremities of an able-bodied subject, and weakness of the method is pointed out. Therefore authors have focused on significance of introspection of hemiplegic patient during walking, and we have devised a novel method on a simulation of hemiplegia by influencing on an interaction between action and perception of lower extremity. Based on this idea, we have designed and developed an experimental system utilizing illusory kinesthesia, reflex action, and load control.

Keyword Virtual Experience, Hemiplegic gait, Illusory kinesthesia, Reflex action, Tendon vibration, Practical work

1. はじめに

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。麻痺における運動や感覚の障害、さらに

は認知の障害は、健常な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たり、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、片麻痺疑似体験の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]。

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問題意識を持つにいたった。そこで本稿では、従来の麻痺の疑似体験装具の特徴について言及し、新たな疑似体験手法を提案する。

2. 研究方針

片麻痺患者においてよく見られるウェルニッケ・マン肢位を図 1 に示すが、筋の過度の緊張状態によって、半身の上半肢は屈曲し、同側の下半肢は伸展した状態としての動作の困難が生じている。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に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、関節への拘束・負荷の付与というデザイン手法であると考えられる。

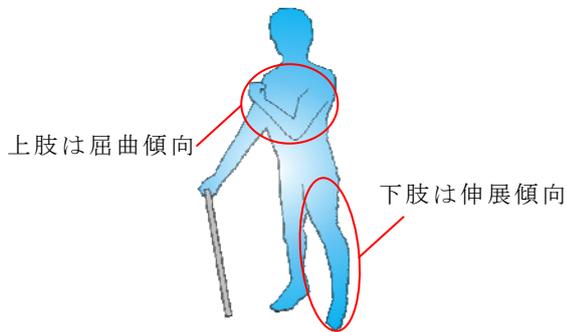


図 1. ウェルニッケ・マン肢位

一方で著者らは、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。片麻痺患者における、四肢を動かそうと思っても自由に動かないことや、勝手に動いてしまうことなどの麻痺現象は、感覚や運動、その連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ことであり^[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。そこで著者らは、患者自身が感じている四肢の動きの不自由さを疑似体験する方針として、感覚・知覚機能そのもの、動きの指令機能そのものは正常に働いていたとしても、少なくとも上・下肢における運動と知覚の連動に齟齬が生じることによって、その動きは主観的にも影響を受けるとい

う仮定のもとに、研究を進めることにした。

例えば日常生活において、激しい運動後に階段を上る際、思いがけずにつま先が階段に引っ掛かってしまう現象を経験することがある。こうした現象は、筋が疲労していることによって足が十分に上がっていないこと、かつその状態を知覚していないこと、その結果として適切な運動調整が行われなかったと解釈することができる。以上のような事例を踏まえると、行為主体が気づかないように、運動と知覚の連動に齟齬を生じさせた場合には、その行為者の内観においても動きの不自由さが生じてくる可能性が考えられる。

著者らの観点に基づいて、既存の疑似麻痺体験手法と、提案する手法の違いを図 2 で示す。図 2 (a) は既存の装具による疑似体験のイメージであり、関節が動かないように拘束されている自身の身体の状態そのものを認識し、行為をしている。一方、著者らの研究方針を図 2 (b) に示すが、体験者自身は普段通りに歩行していると感じているが、実際には上手く動いていないなど、現実の身体の動きと主観的な動きとの間にずれが生じた状態で行為をしている。

こうした方針に基づき、片麻痺歩行の疑似体験手法について検討するための実験的なシステムの開発に取り組んだ。



(a) 従来の麻痺の疑似体験手法のイメージ



(b) 提案する麻痺の疑似体験手法のイメージ

図 2. 既存の手法と提案する疑似体験手法の違い

3. システム設計

本研究では、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疑似体験する手法について検討するため、実験システムの開発の指針として、以下の 4 点をまずは定めた。

- 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、明らかにずれしていると体験者が自覚しないように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。身体の視覚的表現を使用せずに、四肢の動きそのものの動きの錯覚を生み出す方法はあまり報告されておらず、その中でも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体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。

以上を考慮して実験システムの開発に取り組むが、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する。

四肢の関節近傍の腱に20~100Hz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体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錯覚と反射を適切に組み合わせることで、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。

4. システム開発

本研究で最終的に目指している擬似体験装置の完成イメージを図3に示す。

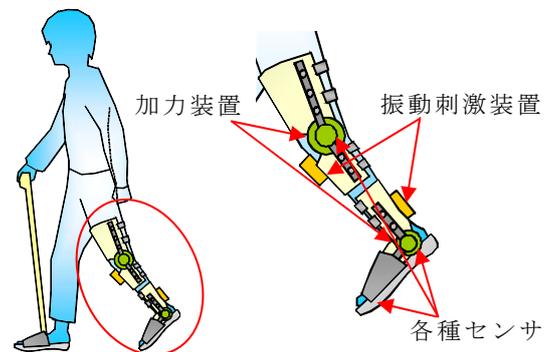


図3. 片麻痺歩行擬似体験ツールの完成イメージ

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、膝関節部と足首関節部の2箇所今回は着目する。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、足首関節部では、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、背屈動作の錯覚を生じさせる。そのため、各関節部には振動刺激装置と負荷を生じさせる加力装置を装着する。さらには、刺激・加力装置の入力のタイミングや強さを調整するための下肢の動きを計測するため、各関節部には角度センサ、足底には離床・着床時の圧力分布を計測するセンサ、腰部には揺動などを計測する加速度センサを組み込む。そして計測・制御コントローラによ

てそれらを統合するシステムである。

このシステムを構築する上で、まずは振動刺激による運動錯覚、反射運動、負荷付与による歩行への影響を検討するため、膝関節部のみに着目した実験システムを開発した。図4にシステムの構成を示す。

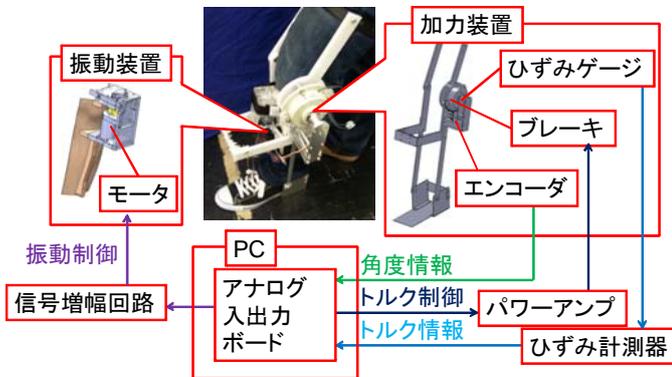


図4. 膝関節部を対象とした実験システム

本システムは、膝蓋腱に振動刺激を与える振動装置と、調整した負荷を膝関節の動作に与える加力装置、それらを制御するコンピュータから構成される。振動装置 (85×90×230[mm]) は、クランク機構によって接触面を振幅 3[mm]、振動数 35[Hz]で振動させることができ、歩行中においても膝に常に接触するように、バネの伸縮力によって押さえつけるスライド機構も組み込んでいる。また振動装置を身体に装着させるために、3D スキャナで計測した脚形状のデータに基づいて設計した固定具を、3D プリンタを利用して製作し、面ファスナー付きベルトによって下腿部に固定する。次に加力装置は、大腿部と下腿部に固定したプレートのジョイント部に、パウダブレーキ(最大トルク 5[N・m]、質量 1.3[kg])、負荷センサ、角度センサを組み込んだ構成である。以上の装置を実際に製作し、膝関節部の角度センサに基づいて、振動装置のモータの回転数やパウダブレーキのトルクを、コンピュータを介して制御することを実現した。

5. おわりに

運動錯覚・反射運動・負荷変動の3つのはたらきを組み合わせることによる片麻痺歩行の擬似体験手法を提案し、そのための実験システムを製作した。開発したシステムの効果を調査するための被験者実験の準備を現在進めており、実験の結果については次の機会に報告する。その際には、特に本手法の特徴である以下に示す点についてさらに検討していきたい。

- 腱振動刺激法による歩行中の運動錯覚の創出の有無
- 錯覚と反射のための振動刺激のタイミング制御方法
- 提案手法による下肢動作の不自由さと片麻痺歩行との類似性
- 歩行の生理学的なメカニズムとの関連性

また将来的には、片麻痺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擬似体験ツールの利用を期待している。そこで、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に、著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擬似体験を生み出す方法を WEB 等で公開することや、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、そして著者らが開発するツールを体験者毎に調整することで、より様々な擬似体験を可能とするワークショップも開催するなど、体験デザインのオープン化の枠組みを検討している。

謝 辞

本研究成果の一部は、科研費 (23500265) の助成を受けたものである。

文 献

- [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, “片麻痺擬似体験装置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, “片麻痺擬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 RL, Adams CD, MacPhee AH, Coolen AL, Harrison ER, Eskes GA, Smith C, MacLeod DA and Dupuis DJ, 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, “装置を用いた片麻痺擬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.
- [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.
- [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.