

平成11年度厚生科学研究費補助金
長寿科学総合研究事業総括研究報告書
長寿科学総合研究事業分担研究報告書
長寿科学総合研究事業総合研究報告書

研究課題：(H10-長寿-99)

高齢障害者の立位・歩行に関するリハビリ訓練の為の支援機器
に関する研究開発

研究期間 1999年4月1日～2000年3月31日

3年間の3年目

主任研究者：

山本敏泰（富山県高志リハビリテーション病院、研究開発部リハビリテーション工学科長）

分担研究者：

野崎大地（国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所、運動機能系障害研究部研究員）

矢野英雄（国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所、運動機能系障害研究部部長）

研究協力者：

江原義弘（神奈川リハビリテーションセンター研究部主任研究員）

川北慎一郎（恵寿総合病院リハビリテーション科医長）

志波直人（久留米大学医学部リハビリテーションセンター副所長）

別当有光（(株)高崎義肢）

平成11年度厚生科学研究費補助金
長寿科学総合研究事業（総括）研究報告書

研究課題：（H10-長寿-99）

高齢障害者の立位・歩行に関するリハビリ訓練の為の支援機器
に関する研究開発

研究期間 1999年4月1日～2000年3月31日

3年間の3年目

主任研究者：

山本敏泰（富山県高志リハビリテーション病院、研究開発部リハビリテーション工学科長）

分担研究者：

野崎大地（国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所、運動機能系障害研究部研究員）

矢野英雄（国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所、運動機能系障害研究部部長）

研究協力者：

江原義弘（神奈川リハビリテーションセンター研究部主任研究員）

川北慎一郎（恵寿総合病院リハビリテーション科医長）

志波直人（久留米大学医学部リハビリテーションセンター副所長）

別当有光（（株）高崎義肢）

厚生科学研究補助金（長寿科学総合研究事業）

総括研究報告書

高齢障害者の立位・歩行に関するリハビリ訓練の為の支援機器に関する研究開発

主任研究者 山本敏泰（富山県高志リハビリテーション病院研究開発部
リハビリテーション工学科長）

研究要旨 本研究の第3年度として、第1に主に股関節周囲の筋の刺激時筋出力の評価を継続して進めると共に、実用化を目指した刺激電極システムの改良を行った。第2にハイブリッド化に関して改良を進め、健側股関節運動を直接的に利用した装具を開発した。第3にハイブリッド型電気刺激システムの臨床試用とその生理学的視点を含む評価を行い、有効性を確認した。

キーワード：高齢障害者、片麻痺、電気刺激、歩行補助装具、リハビリテーション

A. 研究目的

本研究の目的は、脳卒中片麻痺者の歩行能力の改善を目指したリハビリテーション訓練用具として、ハイブリッド型電気刺激システムに関する研究開発を行う事である。最終年度においては実用化を目指し次の項目について検討を加える。

- 1) 表面電極型刺激における下肢刺激電極システムに関する研究
- 2) 残存機能を活用したハイブリッド装具の研究開発
- 3) 訓練用電気刺激システムの臨床試用と評価に関する研究

B. 研究方法

上記の課題について以下の様な方法で検討を加えた。

- 1) 表面電極型刺激における下肢刺激電極システムに関する研究

第1に下肢全体の刺激電極配置の再検討を行った。特に高齢障害者にしばしば観られる廃用性萎縮などに対し筋力増強訓練に有効な刺激電極配置と、その効果の検討をMRI等を用いて評価した。また片麻痺者に特徴的な分回し

歩行等を改善する為に下肢全体の刺激電極部位の再検討を実施すると共に、刺激部位の組み合わせ等について検討を加えた。

- 2) 残存機能を活用したハイブリッド装具の研究開発

第2年度において検討を開始した健側股関節駆動力を直接的に利用するハイブリッド装具の開発を推進した。最も重要な問題は健側の股関節駆動力を患側に伝達するインタフェースである。インタフェースに関しては、次の様な点について検討を加えた。即ち股関節屈曲・伸展運動時の屈曲伸展比、牽引方法、トリガータイミングの調整機能等である。

- 3) 訓練用電気刺激システムの臨床試用に関する研究

上記で検討を加えたハイブリッド型電気刺激システムの臨床試用を実施した。対象者は発症後比較的長期間を経過した場合と、回復期にある場合に分けて行った。協力施設における十分な患者の同意の下に実施した。評価については生理学的な評価指標と共に、分析を利用した。

C. 研究結果

- 1) 表面電極型刺激における下肢刺激電極シ

システムに関する研究

下肢全体の刺激電極に配置については、従来の電気生理用刺激装置を活用して入念に各筋の刺激部位を検索した上で刺激電極を作成した。リハ訓練に必要な検討課題として、第1に回復期にある片麻痺者の立位・歩行準備訓練において大体四頭筋の筋力増強訓練を実施した。結果は回復を促進する効果が観られた。またMRIによる筋の横断面積についても明確な増加があった。第2に分回し歩行改善のための刺激方法として、膝関節に関して大体四頭筋の随意筋出力を指標にしてハムストリングの刺激強度を調整した。その際膝関節の安定性について、歩容よりも患者の安定した歩行能力の確保を優先して検討した。結果については臨床試用の項目で述べる。

2) 残存機能を活用したハイブリッド装具の研究開発

健側股関節による直接駆動を力源として、その伸展時の腰部と大腿の間の伸張を患側股関節の屈曲運動支援に活用する方法を採用した。ケーブルにより健側伸張2~3cmが約3倍に拡大して健側に伝達された。また昨年度に実施した空気圧式の装具との比較検討を実施した。直接的伝達方式の方が交互動作機能を含む歩調の調整に適している結果を得た。

3) 訓練用電気刺激システムの臨床試用に関する研究

最初に発症からの期間が比較的短い回復期の症例2名について、研究協力施設において患者の十分な同意の上実施された。結果は2症例ともに歩行訓練においては交互動作を獲得するのに有効であった。立位・歩行準備訓練においては膝関節の安定性を獲得する事を目的とした大腿四頭筋の筋力増強刺激を実施すると共に、蹴り出し訓練の極初期には膝を安定させるために当該筋を刺激したまま行い(その後変更を加えた。)回復促進に有効であった。2例とも平行棒内歩行訓練で患側の支持性が充分

に得られない状態から短下肢装具+T杖を利用して監視歩行が可能となった。

次に発症後数年を経た症例について、患者の十分な同意の下に1名について臨床試用実験が実施された。本症例では、生理学視点などからの刺激効果による顕著な変化は認められなかった。歩きやすさについての被験者の主観的評価では効果があるとされた。歩行分析の結果から明らかに当該システムを利用することにより歩幅が大きくなり歩行速度が改善されている事が判った。また交互動作や腰部の揺動も相対的に改善されている。しかし患側の分回し歩行は多少(側方トルク成分の相対的変化)改善されたが、視認できるほどの変化はなかった。一方訓練初期と終了時の筋電図分析について、前回同様に患側において大腿四頭筋・ハムストリングの同期放電パターン幾分改善されている傾向が見られた。

D. 考察

回復期の片麻痺者では、明らかに支持性の改善、訓練士の負担軽減などの効果が観られた。リハ歩行訓練過程時のキャリー・オーバー効果を含む当該システムの効果については更なる検討が必要である。一方発症後数年を経た症例では明らかに歩行速度や交互動作機能の改善が観られたが、歩容の改善には至らなかった。しかし訓練終了後に力学的解析や筋放電パターンに変化観られる。こうした点を考慮して今後症例を増やした上でより客観的な評価を実施していく必要がある。

E. 結論

片麻痺者の為のハイブリッド型電気刺激システムは、歩行における主要な機能の1つであるreciprocal動作を改善させるのに明らかに有効であった。特に健側を力源とした直接駆動型の当該装具は電気刺激システムのインターフェースとしての有用性を示した。

F. 研究発表

1. 論文発表

○Nozaki et al., Mechanism of enhancement of stochastic resonance in neuronal models driven by $1/f$ noise. *Phys. Rev. E* 60:4637-4644, 1999

○前田貴司、柳 東次郎、荻野美佐、西村久徳、岩佐聖彦、志波直人、松尾重明、田川善彦、山本敏泰；拮抗筋の電気刺激による筋力増強、九州・山口スポーツ医・科学研究会誌、12（予定）

○Kojima, N., Nakazawa, K., and Yano H. Effect of limb loading on the lower-limb electromyographic activity during orthotic locomotion in a paraplegic patient. *Neuroscience Letters* 274: 211-213, 1999

○矢野英雄、荷重制御式歩行補助装具 - 脊髄損傷者用の歩行装具と歩行能力、医学のあゆみ 191(3):236-237, 1999

2. 学会発表

○川北慎一郎、山本敏泰、濱出茂治、片麻痺上下肢に対する 8 c h 機能的電気刺激の効果、第 59 回日本脳神経外科学会発表（予定）、福岡

○M. Ogino, N. Shiba, Y. Tagawa, S. Matsuo, H. Nishimura, T. Maeda, K. Iwasa, T. Yamamoto, M. Kumagai, A. Inoue; Evaluation of Surface Electrode Functional Electrical Stimulation Muscle Activation with magnetic resonance imaging, American Congress of Rehabilitation Medicine 76th Annual meeting (Orlando), 1999

○Nozaki D., et al. (1999) Stochastic resonance in neuronal models driven by $1/f$ noise: Hypothesis of the functional significance of $1/f$ noise in neural systems, 15th International Conference on Noise in Physical Systems and $1/f$ Fluctuations (Hong Kong)

○Nozaki D., et al. (1999) Angular velocity

constraint between ankle and hip joints during human quiet standing. 29th Annual Meeting Society for Neuroscience (Miami Beach, USA)

○矢野英雄、脊髄損傷者用歩行装具 - 荷重制御式歩行補助装具 -、第 15 回日本義肢装具学会学術大会パネルディスカッション、広島、1999

○矢野英雄、荷重制御式歩行装具による脊髄損傷者の歩行、第 1 回脊髄損傷者の歩行研究会、大分、1999

○Toshiyasu Yamamoto, Daichi Nozaki, Hideo Yano, Naoto Shiba, Hybrid FES system for gait training in hemiplegia, 31st NEURAL PROSTHESIS WORKSHOP（予定）

○柳 東次郎、志波直人、荻野美佐、松尾重明、田川善彦、山本敏泰；電気刺激による疑似閉鎖性運動連鎖筋力増強法について - 拮抗筋の電気刺激による筋力増強法 -、第 37 回日本リハビリテーション医学会学術集会（予定）

○荻野美佐、柳 東次郎、志波直人、松尾重明、田川善彦、山本敏泰；MRI を用いた機能的電気刺激 (FES) による筋活動の評価 - 第 2 報 -、第 37 回日本リハビリテーション医学会学術集会（予定）

○荻野美佐、前田貴司、柳 東次郎、岩佐聖彦、志波直人、淡河善雄、松尾重明、田川善彦、山本敏泰；核磁気共鳴装置を用いた機能的電気刺激 (FES) による筋活動の評価、日本機械学会 2000 年度 年次大会 (名古屋)、(予定)

平成11年度厚生科学研究費補助金
長寿科学総合研究事業（分担）研究報告書

研究課題：（H10-長寿-99）

高齢障害者の立位・歩行に関するリハビリ訓練の為の支援機器
に関する研究開発

研究期間 1999年4月1日～2000年3月31日

3年間の3年目

主任研究者：

山本敏泰（富山県高志リハビリテーション病院、研究開発部リハビリテーション工学科長）

分担研究者：

野崎大地（国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所、運動機能系障害研究部研究員）

矢野英雄（国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所、運動機能系障害研究部部長）

研究協力者：

江原義弘（神奈川リハビリテーションセンター研究部主任研究員）

川北慎一郎（恵寿総合病院リハビリテーション科医長）

志波直人（久留米大学医学部リハビリテーションセンター副所長）

別当有光（（株）高崎義肢）

厚生科学研究補助金（長寿科学総合研究事業）
分担研究報告書

高齢障害者の立位・歩行に関するリハビリ訓練の為の支援機器に関する研究開発

主任研究者 山本敏泰（富山県高志リハビリテーション病院研究開発部
リハビリテーション工学科長）

研究要旨 本研究の第3年度として、第1に主に股関節周囲の筋の刺激時筋出力の評価を継続して進めると共に、実用化を目指した刺激電極システムの改良を行った。第2にハイブリッド化に関して改良を進め、健側股関節運動を直接的に利用した装具を開発した。第3にハイブリッド型電気刺激システムの臨床試用とその評価を行い、有効性を確認した。

キーワード：高齢障害者、片麻痺、電気刺激、歩行補助装具、リハビリテーション

A. 研究目的

本研究の目的は、脳卒中片麻痺者の歩行能力の改善を目指したリハビリテーション訓練用具として、ハイブリッド型電気刺激システムに関する研究開発を行う事である。最終年度においては実用化を目指し次の項目について検討を加える。

- 1) 表面電極型刺激における下肢刺激電極システムに関する研究
- 2) 残存機能を活用したハイブリッド装具の研究開発
- 3) 訓練用電気刺激システムの臨床試用に関する研究

B. 研究方法

上記の課題について以下の様な方法で検討を加えた。

- 1) 表面電極型刺激における下肢刺激電極システムに関する研究

最終年度においては、第1に下肢全体の刺激電極配置の再検討を行った。特に高齢障害者にしてしばしば観られる大股四頭筋等の廃用性萎縮などに対し筋力増強訓練に有効な刺激電極配置と、その効果の検討をMRI等を用いて評価し

た。また片麻痺者に特徴的な分回し歩行等を改善する為には下肢全体の刺激電極部位の再検討を実施すると共に、刺激部位の組み合わせ等について検討を加えた。

- 2) 残存機能を活用したハイブリッド装具の研究開発

第2年度において検討を開始した健側股関節駆動力を直接的に利用するハイブリッド装具の開発を推進した。最も重要な問題は健側の股関節駆動力を患側に伝達するインタフェースである。インタフェースに関しては、次の様な点について検討を加えた。即ち股関節屈曲・伸展運動時の屈曲伸展比、牽引方法、トリガータイミングの調整機能等である。

- 3) 訓練用電気刺激システムの臨床試用に関する研究

上記で検討を加えたハイブリッド型電気刺激システムの臨床試用を実施した。対象者は発症後比較的長期間を経過した場合と、回復期にある場合に分けて行った。協力施設における十分な患者の同意の下に実施した。評価については一般的になりハ評価指標と共に、歩行時の動作分析、及び筋電図分析を利用した。

C. 研究結果

1) 表面電極型刺激における下肢刺激電極システムに関する研究

下肢全体の刺激電極に配置については、従来の電気生理用刺激装置を活用して入念に各筋の刺激部位を検索した上で刺激電極を作成した。リハビリに必要な検討課題として、第1に回復期にある片麻痺者の立位・歩行準備訓練において大腿四頭筋の筋力増強訓練を実施した。結果は回復を促進する効果が観られた。またMRIによる筋の横断面積についても明確な増加があった。第2に分回し歩行改善のための刺激方法として、膝関節に関して大腿四頭筋の随意筋出力を指標にしてハムストリングの刺激強度を調整した。その際膝関節の安定性について、歩容よりも患者の安定した歩行能力の確保を優先して検討した。結果については臨床試用の項目で述べる。

2) 残存機能を活用したハイブリッド装具の研究開発

健側股関節による直接駆動を力源として、その伸展時の腰部と大腿の間の伸張を患側股関節の屈曲運動支援に活用する方法を採用した。ケーブルにより健側伸張2～3cmが約3倍に拡大して健側に伝達された。トリガーのタイミングはケーブルの張り具合、固定位置などで調節するものとした。伝達効率を向上させるために金属ケーブルを採用すると共に、潤滑用コーティング材を吹き付けた。

3) 訓練用電気刺激システムの臨床試用に関する研究

最初に発症からの期間が比較的短い回復期の症例2名について、研究協力施設である恵寿総合病院（石川県七尾市）において患者の十分な同意の上実施された。症例は、1名が右肩麻痺、66才、男性、発症後期間24日、他は右肩麻痺、77才、男性、発症後期間29日である。結果は2症例ともに歩行訓練においては交互動作を獲得するのに有効であった。立位・歩

行準備訓練においては膝関節の安定性を獲得する事を目的とした大腿四頭筋の筋力増強刺激を実施すると共に、蹴り出し訓練の極初期には膝を安定させるために当該筋を刺激したまま行い（その後変更を加えた、）回復促進に有効であった。2例とも平行棒内歩行訓練で患側の支持性が十分に得られない状態から短下肢装具+T杖を利用して監視歩行が可能となった。

次に発症後数年を経過した症例について、国立身体障害者リハセンター研究所において患者の十分な同意の下に1名について臨床試用実験が実施された。本症例の報告は、生理学視点などからの効果について分担研究者矢野英雄及び野崎大地の報告にされているので、ここでは動作及び筋電図学的分析を行った結果について述べる。歩行訓練時のスティックピックアップから明らかに当該システムを利用することにより歩幅が大きくなり歩行速度が改善されている事が判った。また交互動作や腰部の揺動も相対的に改善されている。しかし患側の分回し歩行は多少（側方トルク成分の相対的変化）改善されたが、視認できるほどの変化はなかった。一方訓練初期と終了時の筋電図分析について、前回（1998年度）報告と同様に患側において大腿四頭筋・ハムストリングの同期放電パターン幾分改善されている傾向が見られた。

D. 考察

本システムの臨床試用に関連した事について述べる。回復期にある片麻痺者において、支持性の改善、訓練士の負担軽減などは電気刺激による明らかな効果であるが、通常のリハビリ訓練過程におけるキャリー・オーバー効果を含む当該ハイブリッド型電気刺激システムの効果については更に症例を増やすなどした上での検討が必要である。一方発症後数年を得た症例については歩行速度や交互動作の改善は明かであるが、歩容の改善には至らなかったと言

える。しかし訓練終了後に力学的解析や筋放電パターンに変化観られる。こうした改善点などを考慮して今後症例を増やした上で客観的な電気刺激による評価を実施していく必要がある。

E. 結論

片麻痺者の為のハイブリッド型電気刺激システムは、歩行における主要な機能の1つである **reciprocal** 動作を改善させるのに明らかに有効であった。特に健側を力源とした直接駆動型の当該装具は電気刺激システムのインタフェースとしての有用性を示した。

F. 研究発表

1. 論文発表

前田貴司、柳 東次郎、萩野美佐、西村久徳、岩佐聖彦、志波直人、松尾重明、田川善彦、山本敏泰；拮抗筋の電気刺激による筋力増強、九州・山口スポーツ医・科学研究会誌、12（予定）

2. 学会発表

川北慎一郎、山本敏泰、濱出茂治、片麻痺上下肢に対する8ch機能的電気刺激の効果、第59回日本脳神経外科学会発表（予定）、福岡

M.Ogino、 N.Shiba、 Y. Tagawa、 S.Matsuo、 H.Nishimura、 T.Maeda、 K.Iwasa、 T.Yamamoto、 M.Kumagai、 A.Inoue; Evaluation of Surface Electrode Functional Electrical Stimulation Muscle Activation with magnetic resonance imaging、 American Congress of Rehabilitation Medicine 76th Annual meeting (Orlando)、 1999.

厚生科学研究補助金（長寿科学総合研究事業）

分担研究報告書

高齢障害者の立位・歩行に関するリハビリ訓練の為の支援機器に関する研究開発

分担研究者 野崎大地（国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所、
運動機能系障害研究部研究員）

研究要旨 本研究では、脳卒中片麻痺障害者を対象とし、前年度までのものに改良を加えたハイブリッド型電気刺激歩行補助装具使用が歩行に及ぼす効果を検討した。その結果、装具と機能的電気刺激によって患側の大腿部の振り出し速度が高まるとともに、患側足部の内反尖足が改善した。またこの装置を用いて1ヶ月間の歩行訓練を行ない歩行パラメータ改善の様子を調べた。その結果、歩行装具を装着することにより歩行速度は約20%向上した。機能的電気刺激自体は歩行速度自体に影響は与えないものの、被験者は、患側の足部の着地時、脚の剛性が高まり非常に楽に歩行ができるようになったと報告した。

A. 研究目的

本研究は、主任研究者である山本敏泰氏が開発している機能的電気刺激装置と分担研究者の矢野英雄、山本両氏によって開発されたレシプロカル機構の双方を備えたハイブリッド型歩行補助装具が片麻痺患者の歩容に及ぼす影響について検討した。また、この装具を用いて1ヶ月間の歩行訓練を行ったときの歩容改善の度合いについても報告する。

B. 研究方法

1. 被験者

脳卒中による左半身麻痺となった男性一名（59歳、受傷後約5年）であった。

2. ハイブリッド型歩行補助装具

詳細については主任研究報告書および矢野英雄氏による分担研究報告書の記載内容を参照のこと。

3. 訓練

週2回、ハイブリッド型歩行補助装具を用いた歩行訓練を1時間程度行った。1回あたりの歩行距離は、およそ1kmであった。訓練の7割は右手に杖を持った状態で行った。また、

電気刺激なし、電気刺激、歩行装具なしでの歩行訓練も適宜実施した。

4. 歩行解析

歩容の検査には三次元動作解析システム（VICONシステム）を用いた。得られた各関節位置の三次元座標データを時系列解析ソフト(Mathematica)にて解析した。訓練中の歩容改善の指標として歩行速度、歩幅を毎回記録した。

5. 反射機能

下肢筋群の反射機能動態の指標としてヒラメ筋よりH反射を導出し、刺激電気強度とH波振幅の関係を求めた。この曲線の様相を訓練前後で比較した。

C. 研究結果

1 装具使用の歩行への効果

レシプロカル機構を用いた歩行装具自体の効果については分担研究者矢野英雄氏の報告書に記載されているように、患側脚の大腿部の振り出し速度が大幅に向上するという効果が認められた。今年度より採用した、装具と電気刺激の同期装置は非常にうまく働き、安定

して歩行に同期した電気刺激を患側脚に加えることが可能であった。機能的電気刺激を併用した場合、遊脚期における足関節の内反尖足が起こりにくくなり、遊脚期のつま先の地面からの高さが有意に増加した。

2. 訓練中の歩容の改善

計 8 回のトレーニングセッション中の歩行速度は、歩行装具を装着すると一貫して増加した（歩行装具あり平均 0.46m/s, 歩行装具なし平均 0.38m/s）。歩幅も同様に装具によって増加した（歩行装具あり平均 46cm, 歩行装具なし平均 48cm）。これらの値は昨年度使用した歩行装具着用時の歩幅 33cm を大きく上回っていた。一方、機能的電気刺激自体は、歩行速度、歩幅に影響は与えなかったものの、被験者によれば、患側足部着地時の脚全体の剛性が高まり歩行の安定感が増し、楽に歩行可能になった、と報告している。ただし、歩幅、歩行速度は、トレーニング当日の体調に大きく依存し、トレーニング前後で一貫した向上の様子は認められなかった。

3. H反射

患側脚では刺激強度を装置の最大値まで高めても M 波が生じないという特異なパターンが観察された。しかし、訓練前後でこのパターン自体に顕著な変化は認められなかった。

D. 考察

1. ハイブリッド型歩行装具の効果

歩行中の動作解析、訓練中の歩行速度、歩幅の改善からみてハイブリッド型歩行装具は、片麻痺者の左右非対称な歩行を補助するのに十分な効果があると考えられる。特に患側の大腿部の振り出し速度の増加と遊脚期のつま先の地面からの高さの増加は安定した歩行運動に大きく寄与する改善点だといえる。こうした客観的なデータに加え、特筆すべきなのは被験者の歩行運動の主観的な負担を大きく軽減させることであった。

2. 歩行訓練の効果

1 ヶ月にわたる歩行訓練では歩行速度、歩幅に顕著な効果は認められなかった。また、反射機能の指標としての H 反射の動態にも変化は認められなかった。これらは、被験者がすでに受傷後 5 年と比較的長い年月がたっており、固有の歩行パターンを身につけてしまっているからであると推察される。しかし、定量化はできないもののハイブリッド型歩行補助装具の効果は非常に大きく、装具を装着しない場合の歩行と主観的な疲労度を比べてもらうと差は歴然としていた。

E. 結論

レシプロカル機構を備えるとともに、歩行運動に則した電気刺激を患側脚に加えることのできるハイブリッド型電気刺激歩行補助装具を開発し、片麻痺者の歩行能力の改善に効果的であることが検証された。

F. 研究発表

6. 論文発表

Nozaki et al., Mechanism of enhancement of stochastic resonance in neuronal models driven by $1/f$ noise. Phys. Rev. E 60:4637-4644, 1999.

7. 学会発表

Nozaki D, et al. (1999) Stochastic resonance in neuronal models driven by $1/f$ noise: Hypothesis of the functional significance of $1/f$ noise in neural systems. 15th International Conference on Noise in Physical Systems and $1/f$ Fluctuations (Hong Kong).

Nozaki D, et al. (1999) Angular velocity constraint between ankle and hip joints during human quiet standing. 29th Annual Meeting Society for Neuroscience (Miami Beach, USA).

厚生科学研究補助金（長寿科学総合研究事業）

分担研究報告書

高齢障害者の立位・歩行に関するリハビリ訓練の為の支援機器に関する研究開発

分担研究者 矢野英雄（国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所、
運動機能系障害研究部部長）

研究要旨 片麻痺障害者の歩行機能改善を目的とした機能的電気刺激と歩行装具を併用するハイブリッド型の電気刺激歩行補助装具を開発した。この装置の使用により、脳卒中片麻痺障害者を対象とした歩容測定の結果、患側の脚の振り出し速度が増し、障害者の歩行の負担を軽減するという効果が認められた。

A. 研究目的

本研究の目的は、主任研究者である山本敏泰氏が開発している機能電気刺激装置と、分担研究者と山本氏が共同開発しているレシプロカル機構を有した歩行装具の双方のハイブリッド化をすすめ、片麻痺者の歩行能力の改善を目指した歩行支援機器の開発にある。

B. 研究方法

1. レシプロカル機構型動力装具

レシプロカル機構型動力装具は、患側大腿部の振り出し補助を目的として、(株)高崎義肢と協力し、開発、製作、改良を行った。

2. 被験者

脳卒中による左半身麻痺となった男性一名（59歳、受傷後約5年）であった。

3. 歩行解析

歩行装具の効果の検証には三次元動作解析システム（VICON システム）を用いた。得られた関節位置の三次元座標データを数値解析ソフト（Mathematica）を用いて解析した。

C. 研究結果

1. レシプロカル機構型動力装具の詳細

健側下肢の動きを動力源として患側下肢に伝達し、患側下肢駆動を補助するのが基本的なコンセプトである。また、歩行に同期して患側筋群に電気刺激を加えるためのスイッチを装備する必要がある。これらを実現するための装具の仕様は以下のとおりであった。

骨盤帯と左右大腿支持部を、軟性の股継手にて連結し、大腿支持部と体幹部をケブラー繊維性のワイヤーハーネスでつないだ。健側および患側からのワイヤーハーネスは背中部分につけたプーリーに巻かれるが、プーリーの直径は健側1に対し、患側3となっている。すなわち、健側の股関節が伸展すると、その3倍の大きさの屈曲が患側の股関節に生じる。プーリーはシリンダの中のピストン状の部品に固定され、一步毎に往復を繰り返す。このピストンがシリンダ内に設けたスイッチを駆動し、機能的電気刺激のタイミングトリガとして働くようになっている。

2. 歩行装具による歩容の変化

歩行装具を装着することにより、被験者の患側大腿部の前方への振り出しが 10-20%増加した。歩行装具自体による歩行速度、歩幅の増加は顕著で、歩行速度はおよそ 20%も増加した（詳しくは分担研究者野崎大地氏の報告書を参照のこと）。

D. 考察

前年度までの装具はガスポンペを使用しているという点で(1)ポンペが空になるとレシプロカル機構が働かなくなること、また画一的に患側を前方へ押し出すため、(2)被験者にとっては細かな一歩毎の歩幅の調節ができないという欠点があった。また機能的電気刺激のトリガスイッチは足底部のフットスイッチを使用していたため、装具自体の制御とは独立しており、(3)厳密な意味でハイブリット型の歩行装具とは言えない状況といえた。また、(4)フットスイッチは転回時や小刻みな足踏み状態でも on-off 状態になるため、電気刺激のトリガーが非常に高頻度で入ってしまうという欠点があった。今回の改良は、これらの問題点を一挙に解決するものであった。まず(1)に関しては、装具自体のレシプロカルな動きには動力を用いず、健側の大腿部の動きを患側に伝達するという方法をとっている。これにより、健側の動きの調節によって関節の動きが調整され一歩毎に細かな歩幅を調節でき、(2)の問題点を解決できた。(4)の対策として、股関節の動きをトリガーとして電気刺激を加える方法をとったが、電気刺激トリガーが高頻度で入ることもなく、安定した電気刺激供給を可能とした（野崎氏報告書参照）。

E. 結論

電力等の動力を有しないレシプロカル機構型の歩行装具を開発し、片麻痺障害者の歩容改善に効果があることが検証された。また、機能的電気刺激とのハイブリッド化を完全に行うことが可能となった。

F. 研究発表

1. 論文発表

Kojima, N., Nakazawa, K., and Yano H. Effect of limb loading on the lower-limb electromyographic activity during orthotic locomotion in a paraplegic patient. *Neuroscience Letters* 274: 211-213, 1999.

矢野英雄, 荷重制御式歩行補助装具 - 脊髄損傷者用の歩行装具と歩行能力, *医学のあゆみ* 191(3):236-237, 1999.

2. 学会発表

矢野英雄, 脊髄損傷者用歩行装具 - 荷重制御式歩行補助装具-, 第15回日本義肢装具学会学術大会パネルディスカッション, 広島, 1999.

矢野英雄, 荷重制御式歩行装具による脊髄損傷者の歩行, 第1回脊髄損傷者の歩行研究会, 大分, 1999.

平成11年度厚生科学研究費補助金
長寿科学総合研究事業（分担）研究報告書

研究課題：（H10-長寿-99）

高齢障害者の立位・歩行に関するリハビリ訓練の為の支援機器
に関する研究開発

研究期間 1999年4月1日～2000年3月31日

3年間の3年目

主任研究者：

山本敏泰（富山県高志リハビリテーション病院、研究開発部リハビリテーション工学科長）

分担研究者：

野崎大地（国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所、運動機能系障害研究部研究員）

矢野英雄（国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所、運動機能系障害研究部部長）

研究協力者：

江原義弘（神奈川県リハビリテーションセンター研究部主任研究員）

川北慎一郎（恵寿総合病院リハビリテーション科医長）

志波直人（久留米大学医学部リハビリテーションセンター副所長）

別当有光（（株）高崎義肢）

高齢障害者の立位・歩行に関するリハビリ訓練の為の支援機器に関する研究開発

主任研究者 山本敏泰（富山県高志リハビリテーション病院研究開発部
リハビリテーション工学科長）

研究要旨 本研究の第3年度として、第1に主に股関節周囲の筋の刺激時筋出力の評価を継続して進めると共に、実用化を目指した刺激電極システムの改良を行った。第2にハイブリッド化に関して改良を進め、健側股関節運動を直接的に利用した装置を開発した。第3にハイブリッド型電気刺激システムの臨床試用とその評価を行い、有効性を確認した。

キーワード：高齢障害者、片麻痺、電気刺激、歩行補助装置、リハビリテーション

A. 研究目的

本研究の目的は、脳卒中片麻痺者の歩行能力の改善を目指したリハビリテーション訓練用具として、ハイブリッド型電気刺激システムに関する研究開発を行う事である。最終年度においては実用化を目指し次の項目について検討を加える。

- 1) 表面電極型刺激における下肢刺激電極システムに関する研究
- 2) 残存機能を活用したハイブリッド装置の研究開発
- 3) 訓練用電気刺激システムの臨床試用に関する研究

B. 研究方法

上記の課題について以下の様な方法で検討を加えた。

- 1) 表面電極型刺激における下肢刺激電極システムに関する研究

最終年度においては、第1に下肢全体の刺激電極配置の再検討を行った。特に高齢障害者にしばしば観られる大股四頭筋等の廃用性萎縮などに対し筋力増強訓練に有効な刺激電極配置と、その効果の検討をMRI等を用いて評価し

た。また片麻痺者に特徴的な分回し歩行等を改善する為に下肢全体の刺激電極部位の再検討を実施すると共に、刺激部位の組み合わせ等について検討を加えた。

- 2) 残存機能を活用したハイブリッド装置の研究開発

第2年度において検討を開始した健側股関節駆動力を直接的に利用するハイブリッド装置の開発を推進した。最も重要な問題は健側の股関節駆動力を患側に伝達するインタフェースである。インタフェースに関しては、次の様な点について検討を加えた。即ち股関節屈曲・伸展運動時の屈曲伸展比、牽引方法、トリガータイミングの調整機能等である。

- 3) 訓練用電気刺激システムの臨床試用に関する研究

上記で検討を加えたハイブリッド型電気刺激システムの臨床試用を実施した。対象者は発症後比較的長期間を経過した場合と、回復期にある場合に分けて行った。協力施設における十分な患者の同意の下に実施した。評価については一般的になりハ評価指標と共に、歩行時の動作分析、及び筋電図分析を利用した。

C. 研究結果

1) 表面電極型刺激における下肢刺激電極システムに関する研究

下肢全体の刺激電極に配置については、従来の電気生理用刺激装置を活用して入念に各筋の刺激部位を検索した上で刺激電極を作成した。リハビリ訓練に必要な検討課題として、第1に回復期にある片麻痺者の立位・歩行準備訓練において大腿四頭筋の筋力増強訓練を実施した。結果は回復を促進する効果が観られた。またMRIによる筋の横断面積についても明確な増加があった。第2に分回し歩行改善のための刺激方法として、膝関節に関して大腿四頭筋の随意筋出力を指標にしてハムストリングの刺激強度を調整した。その際膝関節の安定性について、歩容よりも患者の安定した歩行能力の確保を優先して検討した。結果については臨床試用の項目で述べる。

2) 残存機能を活用したハイブリッド装具の研究開発

健側股関節による直接駆動を力源として、その伸展時の腰部と大腿の間の伸張を患側股関節の屈曲運動支援に活用する方法を採用した。ケーブルにより健側伸張2～3cmが約3倍に拡大して健側に伝達された。トリガーのタイミングはケーブルの張り具合、固定位置などで調節するものとした。伝達効率を向上させるために金属ケーブルを採用すると共に、潤滑用コーティング材を吹き付けた。

3) 訓練用電気刺激システムの臨床試用に関する研究

最初に発症からの期間が比較的短い回復期の症例2名について、研究協力施設である恵寿総合病院（石川県七尾市）において患者の十分な同意の上実施された。症例は、1名が右肩麻痺、66才、男性、発症後期間24日、他は右肩麻痺、77才、男性、発症後期間29日である。結果は2症例ともに歩行訓練においては交互動作を獲得するのに有効であった。立位・歩

行準備訓練においては膝関節の安定性を獲得する事を目的とした大腿四頭筋の筋力増強刺激を実施すると共に、蹴り出し訓練の極初期には膝を安定させるために当該筋を刺激したまま行い（その後変更を加えた）、回復促進に有効であった。2例とも平行棒内歩行訓練で患側の支持性が十分に得られない状態から短下肢装具+T杖を利用して監視歩行が可能となった。

次に発症後数年を経過した症例について、国立身体障害者リハビリセンター研究所において患者の十分な同意の下に1名について臨床試用実験が実施された。本症例の報告は、生理学視点などからの効果について分担研究者矢野英雄及び野崎大地の報告にされているので、ここでは動作及び筋電図学的分析を行った結果について述べる。歩行訓練時のスティックピクチャから明らかに当該システムを利用することにより歩幅が大きくなり歩行速度が改善されている事が判った。また交互動作や腰部の揺動も相対的に改善されている。しかし患側の分回し歩行は多少（側方トルク成分の相対的変化）改善されたが、視認できるほどの変化はなかった。一方訓練初期と終了時の筋電図分析について、前回（1998年度）報告と同様に患側において大腿四頭筋・ハムストリングの同期放電パターン幾分改善されている傾向が見られた。

D. 考察

本システムの臨床試用に関連した事について述べる。回復期にある片麻痺者において、支持性の改善、訓練士の負担軽減などは電気刺激による明らかな効果であるが、通常のリハビリ訓練過程におけるキャリア・オーバー効果を含む当該ハイブリッド型電気刺激システムの効果については更に症例を増やすなどした上での検討が必要である。一方発症後数年を得た症例については歩行速度や交互動作の改善は明かであるが、歩容の改善には至らなかったと言

える。しかし訓練終了後に力学的解析や筋放電パターンに変化観られる。こうした改善点などを考慮して今後症例を増やした上で客観的な電気刺激による評価を実施していく必要があるろう。

E. 結論

片麻痺者の為のハイブリッド型電気刺激システムは、歩行における主要な機能の1つである reciprocal 動作を改善させるのに明らかに有効であった。特に健側を力源とした直接駆動型の当該装具は電気刺激システムのインタフェースとしての有用性を示した。

F. 研究発表

1. 論文発表

前田貴司、柳 東次郎、萩野美佐、西村久徳、岩佐聖彦、志波直人、松尾重明、田川善彦、山本敏泰；拮抗筋の電気刺激による筋力増強、九州・山口スポーツ医・科学研究会誌、12（予定）

2. 学会発表

川北慎一郎、山本敏泰、濱出茂治、片麻痺上下肢に対する8ch機能的電気刺激の効果、第59回日本脳神経外科学会発表（予定）、福岡

M.Ogino、 N.Shiba、 Y. Tagawa、
S.Matsuo、 H.Nishimura、 T.Maeda、
K.Iwasa、 T.Yamamoto、 M.Kumagai、
A.Inoue; Evaluation of Surface Electrode
Functional Electrical Stimulation Muscle
Activition with magnetic resonance imaging、
American Congress of Rehabilitation
Medicine 76th Annual meeting (Orlando)、
1999.

厚生科学研究補助金（長寿科学総合研究事業）
分担研究報告書

高齢障害者の立位・歩行に関するリハビリ訓練の為の支援機器に関する研究開発

分担研究者 野崎大地（国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所、
運動機能系障害研究部研究員）

研究要旨 本研究では、脳卒中片麻痺障害者を対象とし、前年度までのものに改良を加えたハイブリッド型電気刺激歩行補助装具使用が歩行に及ぼす効果を検討した。その結果、装具と機能的電気刺激によって患側の大腿部の振り出し速度が高まるとともに、患側足部の内反尖足が改善した。またこの装置を用いて1ヶ月間の歩行訓練を行ない歩行パラメータ改善の様子を調べた。その結果、歩行装具を装着することにより歩行速度は約20%向上した。機能的電気刺激自体は歩行速度自体に影響は与えないものの、被験者は、患側の足部の着地時、脚の剛性が高まり非常に楽に歩行ができるようになったと報告した。

A. 研究目的

本研究は、主任研究者である山本敏泰氏が開発している機能的電気刺激装置と分担研究者の矢野英雄、山本両氏によって開発されたレシプロカル機構の双方を備えたハイブリッド型歩行補助装具が片麻痺患者の歩容に及ぼす影響について検討した。また、この装具を用いて1ヶ月間の歩行訓練を行ったときの歩容改善の度合いについても報告する。

B. 研究方法

1. 被験者

脳卒中による左半身麻痺となった男性一名（59歳、受傷後約5年）であった。

2. ハイブリッド型歩行補助装具

詳細については主任研究報告書および矢野英雄氏による分担研究報告書の記載内容を参照のこと。

3. 訓練

週2回、ハイブリッド型歩行補助装具を用いた歩行訓練を1時間程度行った。1回あたりの歩行距離は、およそ1kmであった。訓練の7割は右手に杖を持った状態で行った。また、

電気刺激なし、電気刺激、歩行装具なしでの歩行訓練も適宜実施した。

4. 歩行解析

歩容の検査には三次元動作解析システム（VICONシステム）を用いた。得られた各関節位置の三次元座標データを時系列解析ソフト(Mathematica)にて解析した。訓練中の歩容改善の指標として歩行速度、歩幅を毎回記録した。

5. 反射機能

下肢筋群の反射機能動態の指標としてヒラメ筋よりH反射を導出し、刺激電気強度とH波振幅の関係を求めた。この曲線の様相を訓練前後で比較した。

C. 研究結果

1 装具使用の歩行への効果

レシプロカル機構を用いた歩行装具自体の効果については分担研究者矢野英雄氏の報告書に記載されているように、患側脚の大腿部の振り出し速度が大幅に向上するという効果が認められた。今年度より採用した、装具と電気刺激の同期装置は非常にうまく働き、安定

して歩行に同期した電気刺激を患側脚に加えることが可能であった。機能的電気刺激を併用した場合、遊脚期における足関節の内反尖足が起こりにくくなり、遊脚期のつま先の地面からの高さが有意に増加した。

2. 訓練中の歩容の改善

計 8 回のトレーニングセッション中の歩行速度は、歩行装具を装着すると一貫して増加した（歩行装具あり平均 0.46m/s, 歩行装具なし平均 0.38m/s）。歩幅も同様に装具によって増加した（歩行装具あり平均 46cm, 歩行装具なし平均 48cm）。これらの値は昨年度使用した歩行装具着用時の歩幅 33cm を大きく上回っていた。一方、機能的電気刺激自体は、歩行速度、歩幅に影響は与えなかったものの、被験者によれば、患側足部着地時の脚全体の剛性が高まり歩行の安定感が増し、楽に歩行可能になった、と報告している。ただし、歩幅、歩行速度は、トレーニング当日の体調に大きく依存し、トレーニング前後で一貫した向上の様子は認められなかった。

3. H反射

患側脚では刺激強度を装置の最大値まで高めても M 波が生じないという特異なパターンが観察された。しかし、訓練前後でこのパターン自体に顕著な変化は認められなかった。

D. 考察

1. ハイブリッド型歩行装具の効果

歩行中の動作解析、訓練中の歩行速度、歩幅の改善からみてハイブリッド型歩行装具は、片麻痺者の左右非対称な歩行を補助するのに十分な効果があると考えられる。特に患側の大腿部の振り出し速度の増加と遊脚期のつま先の地面からの高さの増加は安定した歩行運動に大きく寄与する改善点だといえる。こうした客観的なデータに加え、特筆すべきなのは被験者の歩行運動の主観的な負担を大きく軽減させることであった。

2. 歩行訓練の効果

1 ヶ月にわたる歩行訓練では歩行速度、歩幅に顕著な効果は認められなかった。また、反射機能の指標としての H 反射の動態にも変化は認められなかった。これらは、被験者がすでに受傷後 5 年と比較的長い年月がたっており、固有の歩行パターンを身につけてしまっているからであると推察される。しかし、定量化はできないもののハイブリッド型歩行補助装具の効果は非常に大きく、装具を装着しない場合の歩行と主観的な疲労度を比べてもらうと差は歴然としていた。

E. 結論

レシプロカル機構を備えるとともに、歩行運動に則した電気刺激を患側脚に加えることのできるハイブリッド型電気刺激歩行補助装具を開発し、片麻痺者の歩行能力の改善に効果的であることが検証された。

F. 研究発表

6. 論文発表

Nozaki et al., Mechanism of enhancement of stochastic resonance in neuronal models driven by $1/f$ noise. Phys. Rev. E 60:4637-4644, 1999.

7. 学会発表

Nozaki D, et al. (1999) Stochastic resonance in neuronal models driven by $1/f$ noise: Hypothesis of the functional significance of $1/f$ noise in neural systems. 15th International Conference on Noise in Physical Systems and $1/f$ Fluctuations (Hong Kong).

Nozaki D, et al. (1999) Angular velocity constraint between ankle and hip joints during human quiet standing. 29th Annual Meeting Society for Neuroscience (Miami Beach, USA).

厚生科学研究補助金（長寿科学総合研究事業）

分担研究報告書

高齢障害者の立位・歩行に関するリハビリ訓練の為の支援機器に関する研究開発

分担研究者 矢野英雄（国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所、
運動機能系障害研究部部長）

研究要旨 片麻痺障害者の歩行機能改善を目的とした機能的電気刺激と歩行装具を併用するハイブリッド型の電気刺激歩行補助装具を開発した。この装置の使用により、脳卒中片麻痺障害者を対象とした歩容測定の結果、患側の脚の振り出し速度が増し、障害者の歩行の負担を軽減するという効果が認められた。

A. 研究目的

本研究の目的は、主任研究者である山本敏泰氏が開発している機能電気刺激装置と、分担研究者と山本氏が共同開発しているレシプロカル機構を有した歩行装具の双方のハイブリッド化をすすめ、片麻痺者の歩行能力の改善を目指した歩行支援機器の開発にある。

B. 研究方法

1. レシプロカル機構型動力装具

レシプロカル機構型動力装具は、患側大腿部の振り出し補助を目的として、(株)高崎義肢と協力し、開発、製作、改良を行った。

2. 被験者

脳卒中による左半身麻痺となった男性一名（59歳、受傷後約5年）であった。

3. 歩行解析

歩行装具の効果の検証には三次元動作解析システム（VICON システム）を用いた。得られた関節位置の三次元座標データを数値解析ソフト（Mathematica）を用いて解析した。

C. 研究結果

1. レシプロカル機構型動力装具の詳細

健側下肢の動きを動力源として患側下肢に伝達し、患側下肢駆動を補助するのが基本的なコンセプトである。また、歩行に同期して患側筋群に電気刺激を加えるためのスイッチを装備する必要がある。これらを実現するための装具の仕様は以下のとおりであった。

骨盤帯と左右大腿支持部を、軟性の股継手にて連結し、大腿支持部と体幹部をケブラー繊維性のワイヤーハーネスでつないだ。健側および患側からのワイヤーハーネスは背中部分につけたプーリーに巻かれるが、プーリーの直径は健側1に対し、患側3となっている。すなわち、健側の股関節が伸展すると、その3倍の大きさの屈曲が患側の股関節に生じる。プーリーはシリンダの中のピストン状の部品に固定され、一步毎に往復を繰り返す。このピストンがシリンダ内に設けたスイッチを駆動し、機能的電気刺激のタイミングトリガとして働くようになっている。