

平成10年度厚生科学研究費補助金
長寿科学総合研究事業研究報告書

研究課題 (H10-長寿-099)

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 1998年4月1日～1999年3月31日

3年間の2年目

主任研究者 山本敏泰 (富山県高志リハビリ病院)

分担研究者 野崎大地 (国立身障者リハビリセンター研究所)

矢野英雄 (国立身障者リハビリセンター研究所)

研究報告書

平成11年4月9日

厚生大臣 宮下創平 殿

住 所

フリガナ

ヤマモトシヤス

研究者氏名

山本敏泰



(所属施設: 富山県高志リハビリテーション

病院研究開発部)

平成10年度厚生科学研究費補助金(長寿科学総合研究事業)に係る研究事業を終了したので次の通り報告する。

研究課題名: 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

1. 総括研究報告書 (別紙1のとおり)
2. 分担研究報告書 (別紙2のとおり)
3. 研究成果の刊行に関する一覧表

刊行書籍又は雑誌名	刊行年月日	刊行書店名	執筆者氏名
①歩行訓練の為の表面電極刺激による股関節周囲筋群の刺激電極と筋出力	1998	第7回日本FES研究会学術講演会予稿集, P12-13, 日本FES研究会	山本敏泰, 大島淳一, 矢野英雄, 山本紳一郎
②片麻痺者の歩行訓練用電気刺激と, 制御インターフェース	1998	第7回日本FES研究会学術講演会予稿集, P25, 日本FES研究会	山本敏泰, 大島淳一, 矢野英雄, 山本紳一郎
③片麻痺下肢に対する表面電極型8CH機能的電気刺激の試み	1998	第7回日本FES研究会学術講演会予稿集, P37, 日本FES研究会	濱出茂治, 立野勝彦, 山本敏泰, 大島淳一, 川北慎一郎, 出口清喜, 井船正秀
④表面電極型刺激電極システムの検討ー筋骨格モデルの実験的検証をふまえてー	1998	第15回バイオメカニズム学会学術講演会前刷り, p67-68, バイオメカニズム学会	山本敏泰, 大島淳一, 矢野英雄, 山本紳一郎, 江原義弘
⑤ Feasibility study of hybrid therapeutic electrical stimulation for walking in the hemiplegia	1998	Proceeding of 3 rd Symposium of International FES Society, CDROM, Meadows, P. etal(Ed), International FES Society	Toshiyasu Yamamoto, Junichi Ohshima, Hideo Yano, Shimichiro Yamamoto, Arimitu Betto,
⑥義肢装具に応用可能なハイテック交互歩行装具の高性能化と展望, 荷重制御式歩行補助装置 (Weight bearing control orthosis, WBC 装具)	1998	日本義肢装具学会誌, 14(1), 41-48, 日本義肢装具学会	別当有光, 矢野英雄, 金子誠喜, 鳥井英明, 藤谷秀次

高齢障害者の立位・歩行に関するリハビリ訓練の為に支援機器に関する研究開発

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）

本研究の第2年度として、ハイブリッド型電気刺激システムの実用化研究を進めた。第1に新しい表面電極による被刺激筋の活動量，及び3次元関節出力トルク等の評価を行い有用性を示した。第2に筋骨格数学モデルの筋出力推定結果と実験値を比較検討し，歩行時の電気刺激パターン生成に有用な事を示した。第3に装具を改良試作し，歩行のreciprocal機能を補助するバイオフィードバック情報として有用な事を示した。最後に電気刺激システムを試用し臨床応用が可能であることを示した。これらは新しいリハビリ訓練への応用に向けた実用化への可能性を強く示唆するものである。

キーワード：高齢障害者，片麻痺，電気刺激，歩行訓練，歩行補助装具

【研究組織】

- 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）
- 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，運動感覚研究部長）

A. 研究目的

高齢障害者において，立位・歩行能力を改善し，その維持・向上をはかることは非常に重要である。昨年度に引き続き，本研究では，脳卒中片麻痺者の為に表面電極型ハイブリッド訓練用電気刺激システムの研究を進める。電気刺激の最大の特徴は，なめらかな随意運動出力（異常動作を含む）が比較的困難な状況において，人工的に自然な動作に近い運動

を作り出せる事である。昨年度まで実際の訓練などに適した，侵襲性を伴わない表面電極を利用した電気刺激手法の有用性を示してきた。また Reciprocal gait orthosis の概念を電気刺激システムに組み入れた片麻痺者のためのハイブリッド型電気刺激システムの検討を進めてきた。

本年度においては上記システムの改良を更に進め，片麻痺者の歩行準備及び歩行訓練への応用に関する実用化研究を推進する。具体的な実施内容は以下の通りである。

- 1) 刺激電極システムと，電気刺激パターン生成方法に関する研究
- 2) 片麻痺者用ハイブリッド化歩行補助装具に関する研究開発
- 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、以下のような方法で検討を行った。

1) 刺激電極システムと、電気刺激パターン生成方法に関する研究

表面電極型刺激電極の刺激効果について、被刺激筋の筋力出力特性と、その活動量などの基礎的検討を行う。被刺激筋の定量的筋力出力評価の為に、3次元トルク計測システムの信頼性の向上を図りながら、股関節周囲筋の実験的等尺性筋出力について評価する。被刺激筋の活動量の評価はMRIを利用し刺激前後におけるT2値の変化に着目した検討を進める。歩行準備及び歩行訓練時における刺激パターンについては、筋骨格モデル等を活用した方法を更に展開する。又歩行速度による歩行動作学的データ、筋放電パターンとの比較検討を行う。

2) 片麻痺者用ハイブリッド化歩行補助装具に関する研究開発

昨年度に開発した片麻痺者用の空気圧式股関節軸付きreciprocal装具の評価を実施する。又多様な障害状況に対応するため、健足の運動を利用したレシプロカル装具（股関節継手無し）を開発試作しその基礎的評価を行う。

3) 訓練用電気刺激システムの臨床試用に関する研究

現在までのハイブリッド型電気刺激システムの臨床試用を実施することを目的に、個別の事例による実際のリハ訓練への導入の可能

性を検討する。

C. 研究結果及び考察

各検討項目について以下の結果を得た。

1) 刺激電極システムと、電気刺激パターン生成方法に関する研究

刺激電極：皮膚表面上において、下肢表在筋のMotor Pointと筋線維の分布形状に合わせて採型した、新しい電極の有用性を示した。現在の電極は、銀織布と（水の分子を閉じこめた）粘着パッドから構成されている。

3次元トルク計測システムによる被刺激筋の筋力評価：計測装置センサー部の改善を図り、主に股関節周囲筋の関節出力トルク等の評価を行った。具体的な被刺激筋の分類は皮膚表面から分離可能なものとした。即ち長内転筋（+縫工筋）、大腿直筋（+大腿筋膜張筋）、大腿二頭筋、半腱様筋（+半膜様筋）、殿筋、中殿筋、腓腹筋、前脛骨筋、長指伸筋（+短指伸筋）、長腓骨筋、長母指屈筋（+長指屈筋）等である。昨年度来実施してきた筋骨格モデルによる推定結果と上記の実験結果を比較照合しながら、モデルの各筋の幾何学的パラメータなどの検討を行い、等尺性状態におけるモデルの有用性を確認した。また昨年度来実施してきた歩行時の動作分析データを併用して、実際の歩行用刺激パターンの生成について検討を加えた。

MRIを利用した筋活動度の評価：表面電極の場合には、皮膚表面からの刺激効果が重要である。開発され刺激電極を用いた時の刺激前後のT2値の変化から活動量の変化を調

べた。結果は被刺激筋はその深部にまで活動が及んでいることを示し、当該刺激方法が実用に耐えうるものであることが判った。

以上表面電極型刺激電極の刺激効果について検討し、有用性を確認することができた。又電気刺激パターンの生成方法については、等尺性収縮時における実験データから筋骨格数学モデルのパラメータについて検討を加えた。歩行時における推定結果は実用かへの可能性を示した。今後は基本的な検討事項として、被刺激筋の筋力出力の安定性、被刺激筋の活動量とその深層周囲筋への影響等について調べる。又筋骨格数学モデルを改良して、各筋間の出力特性を行う必要がある。

2) 片麻痺者用ハイブリッド化歩行補助装具に関する研究開発

昨年度に開発された片麻痺者用の股関節軸付きの患側空気駆動式装具の評価を行った。歩行同期インターフェースはフットスイッチである。評価の実施は国立身障者リハビリテーションセンター研究所内で行った。対象者は発症から2年以上経過した男性(50才程度)で、12週間(週5回)実施した。1回の刺激訓練時間は約30分程度で、最初の4週は刺激調整期間(週4回)である。評価には3次元動作解析システム(VICON)を用い、評価項目は歩幅、立脚/遊脚期間、左右対称性(両脚の着地位置の相対関係から算出)等である。訓練前後における比較結果については、①歩幅が増大し歩行速度が速くなった、②左右対称性は変化なく分回し歩行は改善されなかった、③装具及び電気刺激により内反

尖足が改善された。④電気刺激のみでも①は同様な効果があった、等である。以上本装具では患側を動力で振り出すことにより歩行速度の改善には役立つが分回し歩行の改善には至らなかった。reciprocalな特性を十分生かすには装具、及びインターフェースの改善が必要であることが示唆された。

一方我々は、股関節軸を固定しない(股関節継手無し)健側の運動を利用したレシプロカル装具の開発試作を実施した。具体的には、健足が立脚位伸展時の股関節/大腿間の伸長(2.5cm程度)を3倍程度拡大して患足振り出しに活用する仕組みである。患足牽引時のみ力を伝達する仕組みとして、①プーリでの直接伝達、②油圧回転アクチュエータの利用、③電辞クラッチの利用等、を検討してきた。制御インターフェースは(牽引)力センサーを用いて歩行周期を算出し同期を採る方法を導入した。結果については、伝達される力は充分ではないが、正確なタイミングが得られると共に、電気刺激による運動生成を安定化させるのに役立つことが確認できた。今後は実用化を進め臨床試用を実施する。

3) 訓練用電気刺激システムの臨床試用に関する研究

現在までのハイブリッド型電気刺激訓練システムの臨床試用を実施することを目的に、個別の事例での応用の可能性を検討した。片麻痺者への応用は比較的早期からの訓練への導入も重要であると考え、発症から約3週間弱の事例に報告する。訓練では通常のリハ訓練を併用した。実施に当たり刺激パターンは

事例 1:

平成 10 年 12 月 13 日脳内出血 (左被殻), 女性 (53 歳)。翌日血腫除去術施行。3 日後から Bedside リハビリ開始。

[初期評価] 身体機能面: 右上肢・手指・下肢共に、表在・深部感覚: 右上下肢共に重度鈍麻/消失、反射: 右上下肢共に軽度低下、筋力: 左上下肢・体幹共に 4、基本動作: 寝返り・起き上がり・端坐位共に要介助、SIAS: 22/76 点、Barthel Index: 10/100 点。刺激電極形状は被刺激筋に合わせ裁断適合。FES 訓練は 6 ch の電極を大腿及び下腿筋に装着。毎日 1 回、20 分、週 5 日間施行。被刺激筋は、大腿直筋・外側広筋・内側広筋・内転筋群・ハムストリングス・前脛骨筋・腓腹筋・長腓骨筋・長指伸筋。

[訓練経過] 発症から 10 日後端坐位安定性が向上し、坐位による足関節底背屈運動を目的とした下腿筋 3ch FES 訓練を開始。平行棒内立位訓練での右下肢の膝折れ防止のため、平成 11 年 1 月 8 日より歩行中の大腿筋 3ch FES 訓練を追加。同年同月 12 日、FES 非使用時に膝折れの減少を認めた。同日 FES 使用での四点杖歩行訓練開始。13 日 FES 非使用時に右膝関節 locking・足部内反尖足を認めた。19 日 FES 使用での T 字杖歩行訓練開始。27 日から FES 使用直後には FES 使用時とほぼ同じ歩行パターンにて歩行可能。平成 11 年 3 月上旬において、表在・深部感覚: 右上下肢共に重度鈍麻、反射: 右上肢屈筋亢進・下肢伸筋亢進 (足 pseudoclonus 2、3 回認める)、筋力: 左上下肢 5、基本動作: トランスファー自立、立ち上がり、立位は近位監視、歩行: FES 非使用時 (近位監視) は立脚時に時々右骨盤後退・膝関節の locking、遊脚期には膝の snapping・足部内反尖足が認められるが、FES 使用時 (遠位監視) には膝関節の locking、膝の snapping、足部内反尖足が消失。FES 使用直後には FES 使用時の効果が継続。SIAS: 32/76 点、Barthel Index: 55/100 点。

立位など様々な歩行準備訓練を支援するものが必要であることが判り、検討を加えた。

結果については、比較的早期の導入は、歩行パターンの再学習、残存筋力等の面でも効果的であるように感じられた。いわゆるキャリー・オーバー効果は今後の検討を待たねばならないが、電気刺激の最大のメリットの 1 つである比較的複雑な運動を人工的に作りだし訓練の進行を促すという目的は生かされたように思う。

D. 結論

片麻痺者の歩行能力を改善するハイブリッド電気刺激訓練システムの研究開発において、以下の結論を得た。

①筋の分布形状の基づいた銀織布表面電極による電気刺激の効果が、被刺激筋深部にまで十分に達していることを示した。

②実験的に推定された関節トルク値を利用して筋骨格数学モデルを改良した。歩行動作分析結果を併用して歩行訓練用の電気刺激パターンを生成した。

③ハイブリッド化歩行補助装具については、臨床試用を実施し改良を進めた。健足の運動を活用したレシプロ機能を有する新しい装具を開発し、実用化の可能性を示した。

今後は電気刺激パターンの推定方法、電気制御インターフェースの改良を実施し、実用化を目指した臨床応用研究を進めると共に、運動生理、神経生理学的側面を含めた評価方法の検討を実施していく。

ハイブリッド型電気刺激システムに関する研究開発

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)

本研究の第2年度として, 第1に筋分布形状に基づく銀織布表面電極の刺激効果は深部にまで作用し, 筋力出力も十分であった。第2に筋骨格数学モデルの筋出力と筋出力実験値を比較検討し, 歩行用電気刺激パターン生成に活用した。第3に健足運動を患足振り出しに活用した装具を試作し歩行の **reciprocal** 機能のバイオフィードバック情報に役立つ事を示した。最後に電気刺激システムを試用し臨床応用の可能性を示したが, これらは新しいリハ訓練に役立つことが大いに期待される。

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

高齢化に伴う下肢機能の著しい低下はよく知られるところであるが, 本研究で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。

リハビリテーション訓練において, 電気刺激の最大の特徴は, 異常動作が観られる(或いは殆ど随意運動出力が観られない)状況下において比較的複雑な多関節運動を出来るだけ自然な動作に近い形で人工的に作り出す事である。これは従来の運動療法訓練に新しい展開をもたらす可能性を有している。昨年度まで実際の訓練などに適した, 侵襲性を伴わない表面電極型電気刺激手法の有用性を示してきた。一方歩行の **Reciprocal** な機能を電気刺激システムに付与する実用的な手段として, **Reciprocal gait orthosis** の概念を電気刺激システムに組み入れた片麻痺者のためのハイブリッド型電気刺激システムの検討を進めてき

た。本年度においては上記システムの改良を更に進め, 片麻痺者の歩行準備及び歩行訓練への応用に関する実用化研究を推進する。具体的な実施内容は以下の通りである。

- 1) 刺激電極システムと, 電気刺激パターン生成方法に関する研究
- 2) 片麻痺者用ハイブリッド化歩行補助装具に関する研究開発
- 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, 以下のような方法で検討を行った。

- 1) 刺激電極システムと, 電気刺激パターン生成方法に関する研究

表面電極型刺激電極の刺激効果について, ①被刺激筋の筋力出力と, その安定性, ②刺激部位と, その運動出力分離機能, ③被刺激筋の活動量と, その深層周囲筋への影響, ③

歩行準備及び歩行訓練などの基礎的検討が重要である。

刺激電極システムについて、本年度は、被刺激筋の筋力出力と、その活動量の評価を行う。被刺激筋の定量的な筋力出力を評価する手段として3次元トルク計測システムを利用してきた。計測部の改良を更に進め信頼性の向上を図りながら、股関節周囲筋の実験的等尺性筋出力について評価する。被刺激筋の活動量の評価に関してはMRIを利用し刺激前後におけるT2値変化に着目した検討を進める。

上記の実験的検討をふまえ、歩行準備及び歩行訓練時における刺激パターンについては、昨年度のから検討を加えてきた筋骨格モデル等を活用した方法を展開する。又歩行速度による歩行時の、動作学的データ、筋放電パターンとの比較検討を進める。

2) 片麻痺者用ハイブリッド化歩行補助装具に関する研究開発

昨年度において開発された、片麻痺者用の股関節軸付き空気圧駆動式 reciprocal 装具の評価は矢野(共同研究者)が実施する事とした。ここでは健足運動機能を患足の振り出しへと直接的に伝達するレシプロカル装具の開発試作を実施し、その基礎的評価を行う。多様な障害者がおり股関節軸を固定しない方が良い事も多く、股関節継手は用いない。

3) 訓練用電気刺激システムの臨床試用に関する研究

現在までのハイブリッド型電気刺激システムの有効性を検証することを目的に、個別の事例についての応用の可能性を検討する。

C. 研究結果及び考察

各検討項目について以下の結果を得た。

1) 刺激電極システムと、電気刺激パターン生

成方法に関する研究

刺激電極:表面電極を利用した電気刺激によって十分な筋出力を得るための手法として、皮膚表面から下肢表在筋の Motor Point の位置と筋線維の分布形状に合わせて採型した電極が有用であることを示した。現在用いている電極は、銀織布と(水の分子を閉じこめた)粘着パッドからなり、比較的取り扱いが簡便である。

3次元トルク計測システムを利用した被刺激筋の筋力評価:計測装置について、固定用装具の強度を高め、センサー部についても3軸間の干渉がより少なくなるよう改善を試みた。主に股関節周囲筋群の関節出力トルクの評価を行った。具体的な被刺激筋の分類は皮膚表面から分離可能な範囲とした。但し皮膚表面からの刺激では明確に個別の筋を選択的に刺激することはそれ程容易でなく、例えば長内転筋の場合には縫工筋の収縮を加味して区分する。即ち長内転筋(+縫工筋)、大腿直筋(+大腿筋膜張筋)、大腿二頭筋、半腱様筋(+半膜様筋)、殿筋、中殿筋、腓腹筋、前脛骨筋、長指伸筋(+短指伸筋)、長腓骨筋、長母指屈筋(+長指屈筋)等である。

MRIを利用した筋活動度の評価:表面電極刺激の場合には、皮膚表面からの刺激効果が重要である。我々の筋形状に合わせた銀織布電極配置において、一定の電気刺激(ベッド上にて歩行パターン刺激のみ)前後のT2値の変化を分析した。結果は被刺激筋はその深部にまで効果が及んでいることを示し、本方法は十分に実用的な刺激が可能であることが判った。今後は被刺激筋の筋力出力の安定性、被刺激筋の活動量とその深層周囲筋への影響等について検討を加えていく。

さて昨年度来実施してきた筋骨格モデルによる推定結果と上記関節トルクの実験的結果

を照合しながら、モデルの各筋の幾何学的パラメータなどの検討を行い、その改良を進めた。また臨床試用のための歩行準備及び歩行訓練などの刺激パターンの基礎的検討を行い、比較的なめらかな運動を作ることが可能となった。

2) 片麻痺者用ハイブリッド化歩行補助装具に関する研究開発

昨年度において開発された、片麻痺者用の空気圧式股関節軸付き reciprocal 装具の評価については矢野(共同研究者)が実施する事とした。ここでは健足の股関節運動を患足に直接的に伝達するレシプロカル装具の開発試作を実施した。多様な障害者がおり股関節軸を固定しない方が良い場合も多く股関節継手を利用しない事とした。健足が立脚位伸展になった時の股関節/大腿間の伸長(2.5cm程度)を3倍程度拡大して患側側の振り出しに活用する簡単な機構である。力を牽引時のみ伝達する仕組みとして、①プーリでの直接伝達、②油圧回転アクチュエータの利用、③電辞クラッチの利用を検討してきた。制御インターフェースについては(牽引)力センサーを用いて歩行周期を算出し同期を採る方法を導入、フットスイッチと併用した。以上の検討結果については、力の伝達については充分ではないが、正確なタイミングが得られると共に電気刺激による運動生成を安定化させるのに役立つことが確認できた。今後は実用化を進め臨床試用を実施する。

3) 訓練用電気刺激システムの臨床試用に関する研究

現在までのハイブリッド型電気刺激システムの臨床試用を実施することを目的に、個別の事例についての応用の可能性を検討した。

代表的な症例(Case1)について表に示す。

Case1:平成10年12月13日脳内出血(左被殻)、女性(53歳)。翌日血腫除去術施行。3日後から Bedside リハビリ開始。

[初期評価]精神機能面は言語:軽度感覚失語・中等度運動失語, 右側無視有り。右片麻痺, 失語症。身体機能面:右上肢・手指・下肢共に、表在・深部感覚:右上下肢共に重度鈍麻/消失、反射:右上下肢共に軽度低下、筋力:左上下肢・体幹共に4、基本動作:寝返り・起き上がり・端坐位共に要介助、SIAS:22/76点、Barthel Index:10/100点。刺激電極形状は被刺激筋に合わせ裁断して適合。FES訓練は6chの電極を大腿及び下腿筋に装着。5秒周期、毎日1回、20分、週5日間施行。被刺激筋は、大腿直筋・外側広筋・内側広筋・内転筋群・ハムストリングス・前脛骨筋・腓腹筋・長腓骨筋・長指伸筋。

[訓練経過]発症から10日後端坐位安定性が向上し、坐位による下腿筋3chFES訓練を開始した。導入に対する配慮をしながら坐位で人工的に生成した足関節底背屈運動を行った。平行棒内立位訓練での右下肢の膝折れ防止のため、平成11年1月8日より歩行中の大腿筋3chFES訓練を追加した。同年同月12日、FES非使用時に膝折れの減少を認めた。同日FES使用での四点杖歩行訓練開始。13日FES非使用時に右膝関節locking・足部内反尖足を認めた。19日FES使用でのT字杖歩行訓練開始。27日からFES使用直後にはFES使用時とほぼ同じ歩行パターンにて歩行可能。平成11年3月上旬において、表在・深部感覚:右上下肢共に重度鈍麻、反射:右上肢屈筋亢進・下肢伸筋亢進(足pseudoclonus2、3回認める)、筋力:左上下肢5、基本動作:トランスファー自立。立ち上がり・立位は近位監視、歩行:FES非使用時(近位監視)は立脚期に時々右骨盤後退・膝関節のlocking、遊脚期には膝のsnapping・足部内反尖足が認められるが、FES使用時(遠位監視)には膝関節のlocking、膝のsnapping、足部内反尖足が消失。FES使用直後にはFES使用時の効果が継続。SIAS:32/76点、Barthel Index:55/100点。

脳卒中片麻痺者への応用は、比較的早期からの訓練に役立つものと考え、ここでは通常の訓練と電気刺激とを併用した発症から約3週間弱の事例について検討を加えた。実施に際し、刺激パターンは立位など様々な歩行準備訓練を支援するものが必要であることが判り、検討を加えた。結果については、2ヶ月強の訓

練で、時々右骨盤後退・膝関節の locking、遊脚期には膝の snapping・足部内反尖足が認められる程度に回復した。これは平常の訓練が同時進行しており、電気刺激の効果とは一概に言えない。しかしながらリハビリ訓練プログラム上平行棒歩行の膝折れや内反尖足を防止した訓練可能となり、少なくとも訓練全体をスムーズに進行させるのに非常に有効であった。比較的早期に訓練を開始する事は、歩行パターンの再学習、残存筋力等の面でも効果的であるように感じられた。いわゆる刺激後の短期的効果からそのキャリー・オーバーに至る過程は今後の検討が必要であるが、電気刺激の最大のメリットの1つは訓練士などで比較的創りだしにくい多関節運動などを人工的に生成する事にある。患者により判りやすいフィードバック情報を提供し学習性を高めるといった目的はこの症例においても生かされたように思う。

D. 結論

片麻痺者の歩行能力を改善するハイブリッド電気刺激訓練システムの研究開発において、以下の結論を得た。

- ① 筋の分布形状の基づいた銀織布表面電極による電気刺激の効果が、被刺激筋深部にまで十分に達していることを示した。
- ② 実験的に推定された関節トルク値を利用して筋骨格数学モデルを改良した。歩行動作分析結果を併用して歩行訓練用の電気刺激パターンを生成した。
- ③ ハイブリッド化歩行補助装具については、健足の運動を活用した直接的なレスプロ機能を有する新しい装具を開発し、実用化の可能性を示した。

今後は電気刺激パターンの推定方法、ハイブリッド用装具の改良などを実施し、その刺激

システムと装具の統合化を検討していく。また運動生理、神経生理学的側面を含めた電気刺激効果の評価法の検討を加える。

E. 研究発表

- 1) 山本敏泰, 大島淳一, 矢野英雄, 山本紳一郎, 歩行訓練の為の表面電極刺激による股関節周囲筋群の刺激電極と筋出力, 第7回日本FES研究会学術講演会予稿集, P12-13, 1998
- 2) 山本敏泰, 大島淳一, 矢野英雄, 山本紳一郎, 片麻痺者の歩行訓練用電気刺激と, 制御インターフェース, 第7回日本FES研究会学術講演会予稿集, P25, 1998
- 3) 濱出茂治, 立野勝彦, 山本敏泰, 大島淳一, 川北慎一郎, 出口清喜, 井船正秀, 片麻痺下肢に対する表面電極型8CH機能的電気刺激の試み, 第7回日本FES研究会学術講演会予稿集, P37, 1998
- 4) 高橋秀行, 川北慎一郎, 濱出茂治, 山本敏泰, 脳卒中片麻痺患者に表面電極型8CH機能的電気刺激を施行した一症例, 第8回石川県理学療法士学会大会抄録
- 5) 山本敏泰, 大島淳一, 矢野英雄, 山本紳一郎, 江原義弘, 表面電極型刺激電極システムの検討ー筋骨格モデルの実験的検証をふまえてー第15回バイオメカニズム学会学術講演会前刷り, p78-79, 1998
- 6) Toshiyasu Yamamoto, Junichi Ohshima, Hideo Yano, Shinichiro Yamamoto, Arimitu Betto, Feasibility study of hybrid therapeutic electrical stimulation for walking in the hemiplegia, 3rd Symposium of International FES Society in Switzerland, 1998

ハイブリッド型電気刺激システムによる 歩容に関する研究

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, 運動系機能障害部, 部長)

本研究では、脳卒中片麻痺障害者を対象とし、今年度さらに改良を加えたハイブリッド型電気刺激歩行補助装具を使用した長期間の歩行訓練を行った。訓練前後の装具なし通常歩行の歩容を比較した。その結果、訓練後に歩幅増大による通常歩行速度の増大がみられたが、左右対称性については改善されなかった。その点を改善するため、新たな駆動方式の装具を開発中である。

キーワード：高齢障害者、脳卒中片麻痺、機能的電気刺激、歩行補助装具、歩行

A. 研究目的

本研究では、主任研究者である山本敏泰氏が開発しているハイブリッド型機能的電気刺激と主に分担研究者（筆者）がこれまで開発してきたレシプロ機構搭載型歩行補助装具¹⁾²⁾³⁾⁴⁾を組み合わせたハイブリッド型電気刺激歩行補助装具を開発している。今年度は、その試作機を用いた歩行訓練を行い、片麻痺障害者の歩容の変化について検討した。

B. 研究方法

1. 被検者

被検者は、脳卒中による左半身片麻痺となった男性一名（58歳、受傷後3年9カ月）であった。

2. 電気刺激システム

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システムを用いた。詳細については、主任研究報告書に記載されているので、ここでは割愛する。

3. レシプロ機構型動力装具

レシプロ機構型動力装具は、被検者の体型に合わせて採型し、製作した専用装具である。この装具は、患側大腿部の振り出し補助を主な目的として、初年度から継続して研究開発に協力していただいている（株）高崎義肢と協力して製作・改良を行っている。骨盤帯と大腿支持部を、軽量の継手で連結し、股継手にステー又はカムを設け、これにエアシリンダを連結し、健側脚の伸展力を、患側脚の振り出しの補助となるよう、空気圧による駆動機構を設けた。健側脚に継手を設ける場合は、同側のバランス機能を阻害しないような構造（ユニバーサル継手）となっている。

患側大腿部振り出しは、液化炭酸ガスを用い、シリンダにて患側股関節継ぎ手の大腿部を、屈曲方向に駆動する。今回の主な改良点は、駆動トリガである。電気刺激システムは、靴底部に貼付したフットスイッチをトリガとしている。そこで、電気刺激システムによる脚振り出し局面（遊脚期開始時）と同期してガス駆動トリガが作動するよう改良を試

みた。

4. 訓練

ハイブリット型電気刺激歩行補助装具は、基本的には昨年度試作したものと同様である。通常、電気刺激の場所や適当な閾値、刺激強度を判定するため、少なくとも1カ月程度の調整期間を必要とする。したがって、今回の実験では平成10年11月の1カ月間は、電気刺激の調整期間として、週4日の頻度で電気刺激のみの訓練を行い、設定値を調整した。その後、平成10年12月から平成11年1月の8週間、週5日の頻度でハイブリット型電気刺激歩行補助装具を用いた歩行訓練を行った。訓練内容は、ハイブリッド型電気刺激歩行補助装具を装着して、国立身体障害者リハビリセンター研究所、運動機能測定室および同研究所廊下における歩行であった。歩行時間は、原則として電気刺激システムの充電式電池がなくなるまでの約30分間であったが、訓練当日の体調および気候を配慮し、適宜変更して実施した。

5. 歩行解析

訓練前後にハイブリット型電気刺激歩行補助装具を装着しないときの歩行、電気刺激のみの歩行およびハイブリット型電気刺激歩行補助装具による歩行時の歩行解析をそれぞれ行った。国立身体障害者リハビリテーションセンター研究所、運動機能測定室にて、三次元動作解析システム（VICONシステム）を使用し、高齢片麻痺者の装具なしの通常歩行とについて解析し、被検者の歩幅、立脚時間、遊脚時間および両脚の反対脚に対する着地位置の相対的關係から算出した両脚の対称性（右/左）について訓練前後を比較した。この値が、1.0に近いほど左右対称性高い。

C. 研究結果

1. レシプロ機構型動力装具の改良

昨年度に作成した電気刺激システムおよび歩行補助装具を足底部からのフットスイッチによって電気刺激と装具のガス駆動動作を同期できるようにし、文字どおりハイブリッド型電気刺激歩行補助装具となった。

2. 片麻痺障害者の歩容の変化

本研究の被検者は、左半身麻痺である。通常、右手に杖を持ち、歩行しているが、今回の訓練では、杖を使わずにハイブリット型電気刺激歩行補助装具を用いた歩行訓練を行った。訓練前後の装具なしの通常歩行の三次元動作解析を比較した結果、訓練前に比べて有意に歩幅が増大した（訓練前： 22.4 ± 4.97 cm, 訓練後： 33.1 ± 6.65 cm）。また、一步に要する時間は、変わらなかった（訓練前： 1.8 ± 0.17 s, 訓練後： 1.9 ± 0.14 s）。すなわち、歩幅増大によって歩行速度が増大した。しかしながら、両脚の着地位置の左右対称性は、訓練によって改善されなかった（訓練前： 1.32 , 訓練後： 2.29 ）。すなわち、被検者は、健側をより前に踏み出して歩くようになり、患側を引きずる歩容は改善されなかった。また、患側のぶん回し歩行についても遊脚期の左右脚の位置関係から評価したが、訓練による改善はみられなかった。

一方、訓練前には歩行中、内反尖足が生じることが多かったが、ハイブリット型電気刺激歩行補助装具によって訓練することによって、内反尖足が起こりにくくなった。

装具なしの通常歩行で、最大歩行速度を訓練前後に計測した結果、 16.96 ± 1.18 m/min から 21.59 ± 1.28 m/min に増大した。すなわち、ハイブリット型電気刺激歩行補助装具の歩行訓練を行ったことによって、最大歩行速度が約 4.6 m/min 増大した。

D. 論議

1. ハイブリット型電気刺激歩行補助装具

昨年度までの電気刺激は、足底部フットスイッチをトリガとして筋放電タイミングを決定しており、杖に装着した手動式スイッチをトリガとしていた。すなわち、2つのシステムが別々に機能しており、運動していない。厳密に言えばハイブリッド型ではなかったことになるが、今回の改良によって、完全にハイブリッド化された。

しかしながら、この装具は、一定圧のガス駆動によって患側脚を大きく前方に振り出すことが主体で、左右のレシプロ機構はさほど効果的に作用していない。すなわち、一步毎に歩幅がばらつく歩行に対応できず、左右対称性が考慮されていない。そこで、一步毎の歩幅に応じた反対側へ力を伝えるレシプロ機構主体の駆動方式を持つ装具が要求される。主任研究者山本敏泰の今年度の報告にあるように、現在レシプロ機構主体の駆動方式の装具開発が進められている。

2. 訓練後の片麻痺障害者の歩容

ハイブリット型電気刺激歩行補助装具の試作機を用いて長期間訓練した結果、通常の装具なし歩行でも歩行速度が増大することが明らかになった。これは、ハイブリット型電気刺激歩行補助装具において患側脚步幅が大幅に増大した歩行訓練を行ったこと、電気刺激によって歩行局面に合わせた下肢筋活動を機能的に動員させた歩行訓練を行ったこと（特に、足関節内反尖足防止のため前脛骨筋や長肢伸筋の筋活動を増大させたこと）によって、通常歩行の歩行速度が改善されたと考えられる。しかしながら、健側と患側の着地位置の対称性は、改善されなかった。これは、ガス駆動で患側を大きく振り出して

訓練することは、歩行速度の増大には有効であるが、左右の対称性およびぶん回し歩行の改善に寄与しないことを示唆している。しかしながら、機能的電気刺激の効果によって、内反尖足が生じにくくなったことは、実際の日常生活の歩行に有効であることを示唆している。また、今年度新たに試作した装具の場合、ガス駆動ではなく、レシプロ機構を主体とした駆動方式の異なる装具であることから、十分に歩容の改善を期待できる。この点は、来年度の検討課題である。

E. 結論

今年度は、昨年度に試作されたハイブリット型電気刺激歩行補助装具を電気刺激と同期できるように改良した。装具改良の結果、ガス駆動と電気刺激が同期され、完全にハイブリッド化できた。

改良したハイブリット型電気刺激歩行補助装具を装着して長期間の訓練を行い、歩容に対する効果について検討した。また、その装具の長期訓練によって、歩行速度の改善がみられた。来年度は、今年度試作・改良されている新たな装具を用いた臨床試験を計画している。

F. 参考文献

- 1) 矢野英雄ら：脊椎損傷者用荷重制御式歩行補助装具、日本機械学会第2回JSMEロボメカ・シンポジウム講演論文集、P.133-138、1997
- 2) H. YANO et al.: The rhythm and amplitude of the EMG activities of paralyzed muscle groups using a new style of walking orthosis for paraplegia. The 8th World Congress of the International Rehabilitation Medicine Association (IRMA VIII)論文集、P.1457-1463、1997.

- 3) H. YANO et al.: A new concept of dynamic orthosis for paraplegia : the weight bearing control (WBC) orthosis. *Prothetics and Orthotics International.*, 21, p222-228, 1997.
- 4) 別当有光, 矢野英雄ら: 義肢装具に応用可能なハイテック交互歩行装具の高性能化と展望, 荷重制御式歩行補助装置 (Weight Bearing Control Orthosis WBC 装具), *日本義肢装具学会誌*, VOL.14, NO.1, P.41-48, 1998.

G. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 矢野英雄, 金子誠喜, 中澤公孝, 小島成実, 山本紳一郎, 別当有光, 脊椎損傷者用荷重制御式歩行補助装具, *日本機械学会第2回 JSME ロボメカ・シンポジア講演論文集* P.133-138, 1997
- 2) H. Yano, S. Kaneko, K. Nakazawa, S. Yamamoto, N. Kojima, The rhythm and amplitude of the EMG activities of paralyzed muscle groups using a new style of walking orthosis for paraplegia. The 8th World Congress of the International Rehabilitation Medicine Association (IRMA VIII)論文集, P.1457- 1463, 1997.
- 3) H. Yano, S. Kaneko, K. Nakazawa, S. Yamamoto, A. Bettou, A new concept of dynamic orthosis for paraplegia: the weight bearing control (WBC) orthosis. *Prothetics and Orthotics International.* no21, p222-228, 1997.
- 4) 別当有光, 矢野英雄, 金子誠喜, 鳥居英明, 藤谷秀次, 義肢装具に応用可能なハイテック交互歩行装具の高性能化と展望, 荷重制御式歩行補助装置 (Weight

Bearing Control Orthosis WBC 装具), *日本義肢装具学会誌*, VOL.14, NO.1, P.41-48, 1998.

2. 学会発表

- 1) 矢野英雄, 金子誠喜, 中澤公孝, 小島成実, 山本紳一郎, 別当有光, 脊椎損傷者用荷重制御式歩行補助装具, *日本機械学会創立 100 周年記念講演会*, 1997
- 2) H. Yano, S. Kaneko, K. Nakazawa, S. Yamamoto, N. Kojima, The rhythm and amplitude of the EMG activities of paralyzed muscle groups using a new style of walking orthosis for paraplegia. The 8th World Congress of the International Rehabilitation Medicine Association (IRMA VIII), 1997
- 3) H. YANO, A new concept of walking exercise for paraplegia using walking orthosis., The 8th World Congress of the International Rehabilitation Medicine Association (IRMA VIII), 1997
- 4) 矢野英雄, 小島成実, 中澤公孝, 山本紳一郎, 脊髄損傷者の歩行 - 荷重制御式歩行補助装具 -, 第32回日本パラプレジア医学会, 1998