

症例報告



数年来の痙性歩行に対して機能的電気刺激を用いて歩容改善を目指した一症例*

溝脇 亮・伊藤良太

【要 旨】

数年来の痙性歩行を呈していた患者に機能的電気刺激（Functional Electrical Stimulation：以下，FES）を用いて歩容改善を目指した治療経験を得た．症例は後縦靱帯骨化症を発症し，C5, 6 椎体亜摘出術および前方固定術を施行した 60 歳代男性で，歩容改善に対する介入に難渋していたため，それまでの運動療法に加えて FES を治療導入した．今回，当院入院時と FES 治療期間の前後，リハ中止（外泊）後に歩容の評価を行った．歩容の評価項目は歩行の左遊脚期の股関節最大外転角度と左初期接地での足関節背屈角度とした．結果，FES 治療期間後に歩容は一時的に改善したが，リハ中止後に FES 治療期間前と同程度となった．FES を含む介入によって遊脚期の足関節背屈が改善し，床クリアランスが増加したため，不要な代償であった遊脚期の股関節外転や下腿三頭筋の動作時筋緊張亢進が軽減して，歩容が改善した可能性が考えられたが，今回の介入方法ではその効果は一時的であった．

キーワード：機能的電気刺激，痙性歩行，歩容改善

はじめに

脳卒中や脊髄損傷などにみられる上位運動ニューロン障害に起因した運動麻痺では，麻痺筋とその支配神経に正常な電氣的興奮性が残存していることが多いため，電気刺激を下位運動ニューロンに直接加えて麻痺筋を収縮させることができる¹⁾．また，機能的電気刺激（Functional Electrical Stimulation：以下，FES）を用いた治療は，理学療法診療ガイドライン²⁾で推奨グレード B とされており，上位運動ニューロン由来の機能障害ならびに能力障害を改善することが可能³⁾であることから，今後，脳卒中の標準的なリハビリテーションの一翼を担う可能性が高いと考えられている⁴⁾．



図 1. WA 装着方法

（帝人ファーマ社 ホームページ¹²⁾ より）

* A case of spastic walking over several years using Functional Electrical Stimulation for gait improvement

医療法人偕行会 偕行会リハビリテーション病院
リハビリテーション部
〒490-1405 弥富市神戸 5 丁目 20 番地
Ryo Mizowaki, RPT, Ryota Ito, RPT: Department of
Rehabilitation, Kaikoukai Rehabilitation Hospital

E-mail: pt-mizo@aurora.ocn.ne.jp

FES を行う治療機器のひとつである歩行神経筋電気刺激装置ウォークエイド®（WalkAide：以下，WA）（帝人ファーマ社）は下腿に装着しながら

(図1) 歩行することにより、内蔵センサーが装着者の歩行時の下腿の傾斜角度を感知し、遊脚期に自動的に腓骨神経への電気刺激を行って足関節背屈を補助することができる。近年、下垂足・尖足患者へのWA使用により、歩行パフォーマンスや足関節機能が改善したとする報告⁵⁻¹¹⁾が多くされており、今後の臨床活用の拡大が期待されている。

今回、頸椎疾患による数年来の痙性歩行を呈していた患者にWAを治療導入した経験を得たため、その介入経過を報告する。

症例紹介

症例は60歳代男性で、6年前に後縦靱帯骨化症を発症して左下肢痙性歩行が出現したが、屋内は杖なし歩行、屋外は短距離をT字杖歩行にて自立していた。今回、痙性歩行の改善と屋外歩行距離の延長を目的に急性期病院にてC5, 6椎体亜摘出術および前方固定術を施行し、術後50日目に当院回復期リハビリテーション病棟へ入院した。

理学療法評価（当院入院時）

感覚は左下肢表在覚深部覚ともに軽度鈍麻、Modified Ashworth Scale（以下、MAS）は左股関節内転筋が1、左ハムストリングスと左下腿三頭筋が1+、関節可動域（Range of Motion：以下、ROM）は左股関節伸展5°、左足関節背屈10°、徒手筋力検査（Manual Muscle Test：以下、MMT）は、左股関節屈曲・外転4、左膝関節伸展4、足関節底屈2+、背屈2、右下肢や両上肢、体幹には著明な機能障害はみられなかった。改訂長谷川式簡易知能評価スケールは30点と認知機能は良好であった。また、本人の「手術しても左足の状態はそんなに変わってない」との発言より、機能障害の程度は主観的には術前から著明な変化がなかったことが推測された。

歩行評価（杖なし歩行）（当院入院時）

左初期接地（Initial Contact：以下、IC）での足関節背屈不足や左遊脚期の股関節外転といった痙性歩行がみられていた。本人の「（手術）前からこんな歩き方だったと思う」との発言から、歩容に関しても主観的には術前と著明な変化はなかったことが推測された。最大速度での10m歩行タイム（10m walk test time：以下、10mwt）は13.3秒（歩幅45cm、歩行率99steps/min）、6分間歩行距離（6 minutes walking distance：以下、6MD）は205mであった。

介入経過

本症例のhopeは歩容改善と屋外歩行距離延長であったため、当院入院後、まずは歩行や下肢筋力トレーニング、徒手での左前脛骨筋促通、口頭指示や視覚によるフィードバックを利用した歩容改善のための歩行の部分練習を中心としたプログラム（以下、通常プログラム）での介入を行った。しかし、長期にわたって学習された歩容に対する改善効果は乏しかった。そこで、術後94日目から118日目まで25日間は通常プログラムに加えて左前脛骨筋の促通や歩行時WAを使用（以下、WA治療）して介入を行った（以下、使用期）。また、術後109日目からの10日間は自主トレーニングとしてもWAを使用した。術後119日目からの4日間は外泊のため通常プログラムとWA治療を中止した（以下、リハ中止期）。なお、全介入期間を通じてリハビリ介入時間は1日平均約1時間半であり、WA使用期における自主トレーニングでのWAの使用時間の合計は1日平均約3時間であった。今回、当院入院時とWA使用期の前後（術後94日目と118日目）、リハ中止期後（術後123日目）に歩容および歩行パフォーマンス、左足関節機能の評価を行い、その結果を比較・検討した（図2）。

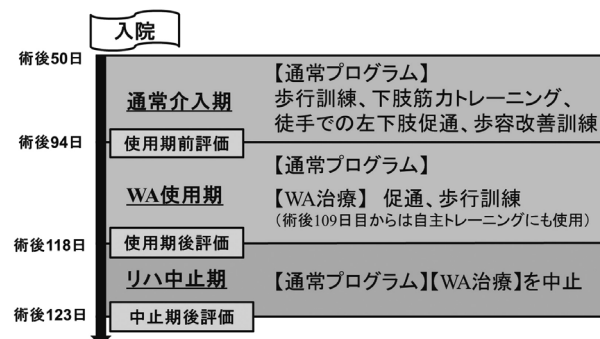


図2. 介入経過

評価指標

歩行項目はすべてWAを装着しない杖なし歩行にて測定した。歩容の評価指標は、問題点となっていた左遊脚期の股関節最大外転角度（以下、外転角度）および左ICでの足関節背屈角度（以下、背屈角度）とした。ランドマーク（両上前腸骨棘、膝蓋骨中央、腓骨頭、外果、第5中足骨底）（図3）にマーカーを装着した状態で歩行動画を撮影し、そこから静止画を抽出して画像処理ソフトimage jにて関節角度を解析して、動画中の全歩行周期の平均値を算出した。また、歩行パフォーマンスの評価指標として10mwt、歩幅、歩行率、

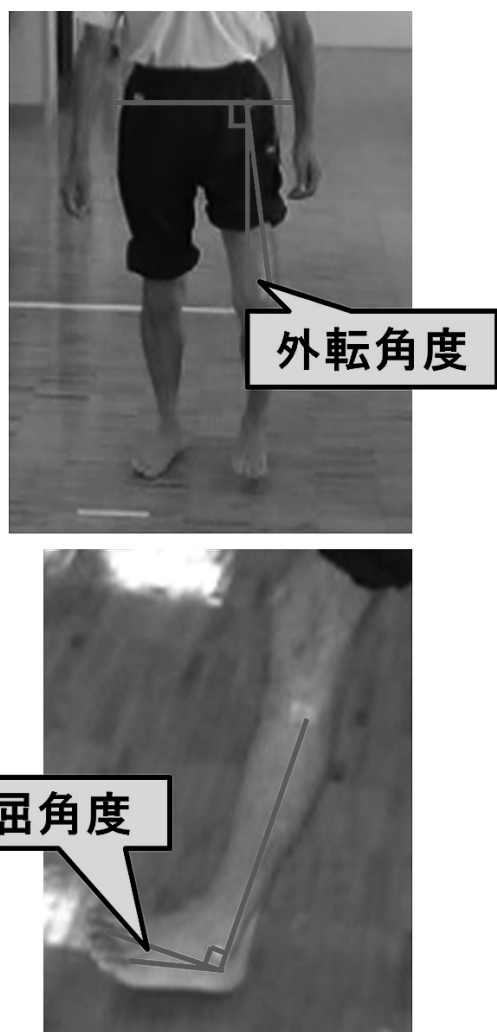


図 3. 歩容の評価指標

外転角度のランドマーク：両上前腸骨棘，膝蓋骨中央
背屈角度のランドマーク：腓骨頭，外果，第 5 中足骨底

6MD，足関節機能の指標として背屈 MMT，背屈 ROM，下腿三頭筋 MAS を測定した．なお，すべての評価は測定当日の WA 使用前に実施した．また，入院時には歩容の評価指標の測定は非実施であった．

倫理的配慮，説明と同意

本研究は，偕行会リハビリテーション病院倫理委員会の承認を得て実施した．また，本人へ事前に研究の趣旨・目的について十分に説明を行い，同意を得て行った．

結果

歩容の評価指標は，使用期前後の比較では外転角度は $10.4 \pm 1.7^\circ$ から $8.9 \pm 1.4^\circ$ に減少，背屈角度は $-15.6 \pm 0.5^\circ$ から $-13.4 \pm 0.6^\circ$ と増加したが，リハ中止期後では，外転角度が $10.9 \pm 1.0^\circ$ ，背屈

角度が $-15.2 \pm 0.6^\circ$ と使用期前と同程度に戻った (表 1)．本人の自覚としても，WA 使用前と比較して「歩きやすくなった」，「少し (歩行の) 恰好が良くなった」との発言が聞かれた．

歩行パフォーマンス評価は，当院入院時と使用期前後の比較では 10wmt が 13.3 秒から 10.0 秒，8.6 秒，歩幅が 45cm から 50cm，56cm，歩行率が 99 steps/min から 120 steps/min，126 steps/min，6MD が 205m から 260m，310m とすべての項目で改善がみられた．リハ中止期後は 10wmt が 8.7 秒，歩幅が 56cm，歩行率が 124 steps/min，6MD が 343m と 6MD 以外は使用期後と同程度であった (表 2)．

左足関節機能はいずれの時期の評価においても著明な変化はなかった (表 3)．

表 1. 歩容の評価指標の推移 (平均±標準偏差)

	外転角度 ($^\circ$)	背屈角度 ($^\circ$)
使用期前	10.4 ± 1.7	-15.6 ± 0.5
使用期後	8.9 ± 1.4	-13.4 ± 0.6
中止期後	10.9 ± 1.0	-15.2 ± 0.6

表 2. 歩行パフォーマンスの評価指標の推移

	10wmt (秒)	歩幅 (cm)	歩行率 (steps/min)	6MD (m)
入院時	13.3	45	99	205
使用期前	10.0	50	120	260
使用期後	8.6	56	126	310
中止期後	8.7	56	124	343

表 3. 足関節機能の評価指標の推移

	背屈 MMT	背屈 ROM ($^\circ$)	下腿三頭筋 MAS
入院時	2	10	1+
使用期前	2	15	1+
使用期後	2	10	1+
中止期後	2	10	1+

考察

1. 歩容

WA 使用期前後の比較において，外転角度が減少し，背屈角度が増加したことから歩容の改善が認められた．当院入院時は，左遊脚期の足関節背

屈が不足していたため、床クリアランス増加のために、遊脚期において代償的に股関節を外転させた努力性の振り出しとなっており、これにより遊脚期からICにかけての下腿三頭筋の動作時筋緊張が亢進して、ICでの足関節背屈が不足していたと考えられた。今回、WAによる遊脚期の足関節背屈補助や運動療法によって、左下肢の床クリアランスが増加した状態での歩行を繰り返したことで、代償的に行っていた不要な遊脚期の股関節外転や下腿三頭筋の動作時筋緊張亢進が軽減し、外転角度と背屈角度が改善したと考えた。しかし、リハ中止期後に外転角度および背屈角度が使用期前と同程度に戻ったことから、4日間のリハビリ介入の中止により歩容が元に戻る結果となった。本症例の歩容改善は足関節の機能改善を伴ったものではなかったため、リハビリ介入の中止により4日間にわたって再び左下肢の床クリアランスが不足したことで、WA使用前の不要な代償を含んだ歩容に戻ってしまったと推察された。改善した歩容定着のためのFES治療を含む介入方法の検討が今後の課題であると考えられた。

また、電気刺激には拮抗筋に対する痙縮抑制効果があるとされている¹³⁾。FESを用いた先行研究でも、前脛骨筋への電気刺激による即時効果によって下腿三頭筋や後脛骨筋への相反抑制が起こり、ICでの背屈角度の増加や遊脚期の内反尖足やcrow-toeの抑制などの歩容改善や歩幅の増加が認められたと報告されている^{8) 14)}。しかし、電気刺激による相反抑制効果のほとんどは15分後には消失していたとの報告¹⁵⁾がされており、評価当日のWA使用前に測定を実施していた本症例では、WAの即時効果としての足関節機能の向上によって歩容が改善した可能性は低いと考えた。今回の足関節機能評価において著明な変化がみられなかったことから同様のことが推察された。

2. 歩行パフォーマンス

当院入院時と比較してリハ中止期後の歩行パフォーマンス評価（10mwt、歩幅、歩行率、6MD）に改善がみられた。当院入院時は、遊脚期の股関節外転によって遊脚軌道が正常を逸脱し、歩幅と歩行率が減少していたことで歩行速度が低下し、ICでの足関節背屈が不足していたことでロッカーファンクションが機能せず、歩行効率が低下していたと考えられた。また、術後の廃用症候群に加え、先述のように歩行速度と歩行効率が低下した結果、歩行耐久性が低下していたと推察された。本症例では、歩容に変化のなかった当院入院時と

使用期前の比較でも改善がみられていることやリハ中止期後評価において歩容が元に戻っているにも関わらず6MD以外の項目は維持され、6MDでは改善がみられたことから、廃用症候群の改善が歩行パフォーマンス改善の要因の大部分を占めていた可能性が高いと思われた。しかし、先行研究では、FESの治療効果により、10mwtや歩行率、歩幅、歩行時のPhysical Cost Indexが改善したとする報告が数多くなされており^{5-8) 10) 11) 14) 16-19)}、今後は研究デザインの再考や対象数の増加を行い、FESの治療効果としての歩行パフォーマンス向上についてさらなる検討が必要であると考えられた。

また、本症例ではWA治療導入以降の6MDの改善率が特に通常介入期を大きく上回っていた。これは、WA治療による一時的な歩容改善や自主トレーニングでのWA使用により、リハビリ介入時間以外もクリアランスを確保した状態での歩行が可能となったことで歩行に対するモチベーションが向上し、歩行量が増加したことが要因である可能性が考えられた。WA使用後の「歩きやすくなった」、「少し（歩行の）恰好が良くなった」といった本人の発言からも同様のことが推察された。以上より、本症例のように機能的な効果が一時的であっても、WAが歩行へのモチベーション向上や歩行量増加に対して有効な介入となり得ることが示唆された。

まとめ

数年来の痙性歩行に対し、歩容改善を目的にそれまでの運動療法に加えてFESを治療導入した。その結果、遊脚期の股関節外転やICでの足関節背屈不足が一時的に改善した。しかし、4日間のリハビリ介入中止によって歩容が使用前の状態に戻った。改善した歩容定着のためのFES治療を含む介入方法の検討が今後の課題であると考えられた。

【参考文献】

- 1) 島田洋一：機能的電気刺激（FES）の現状と将来展望. Akita J Med. 2009; 36: 1-7.
- 2) 社団法人日本理学療法士協会（編）：理学療法診療ガイドライン第1版. 2011; 412-415.
- 3) Shimada Y, Sato K, et al: Clinical experience of functional electrical stimulation in complete paraplegia. Spinal Cord. 1996; 34: 615-619.
- 4) 道免和久：ニューロリハビリテーション. 医学書院, 東京, 2015. pp229-234.

- 5) Stein RB, Chong S, et al: A multicenter trial of a footdrop stimulator controlled by a tilt sensor. *Neurorehabil Neural Repair*. 2006; 20: 371-379.
- 6) Morone G, Fusco A, et al: Walking training with foot drop stimulator controlled by a tilt sensor to improve walking outcomes: A Randomized Controlled Pilot Study in Patients with Stroke in Subacute Phase. *Stroke Res Treat*. 2012; 10: 1-5.
- 7) 中谷知生：歩行神経筋電気刺激装置ウォークエイド使用による回復期脳卒中片麻痺患者の歩行因子の変化. 第49回日本理学療法学術大会. 2014.
- 8) 堀恵輔：歩行神経筋電気刺激装置ウォークエイド®を用いた介入により即時的な歩行能力改善を認めた一症例—シングルケースより得られた結果と今後の課題—. 第49回日本理学療法学術大会. 2014.
- 9) 宮永陽亮：脳卒中片麻痺者における機能的電気刺激装置使用が麻痺側立脚期に及ぼす影響. 第50回日本理学療法学術大会. 2015.
- 10) 山本洋平：機能的電気刺激が回復期脳卒中患者の歩行速度に与える影響. 第50回日本理学療法学術大会. 2015.
- 11) 小山貴之：下垂足を呈する回復期脳梗塞患者に対し歩行神経筋電気刺激を4週間継続した症例. 第50回日本理学療法学術大会. 2015.
- 12) <http://medical.teijin-pharma.co.jp/zaitaku/product/walkaide/index.html> (参照 2015-7-12)
- 13) 村岡慶裕, 正門由久・他：治療的電気刺激による脳卒中患者の足関節筋群における2シナプス性 Ia 相反抑制の変化. *リハビリテーション医学*. 2000; 37: 453-458.
- 14) 渡部友宏, 谷本正智・他：痙縮を呈する脳卒中患者に対し治療的電気刺激を施行した症例—相反抑制効果による歩容改善への即時効果について—. *愛知県理学療法学会誌*. 2014; 26: 89-94.
- 15) 三和真人：痙性片麻痺者に対する短期的電気刺激の効果—脊髄反射回路への影響を中心とした解析—. 東北大学大学院医学系研究科博士論文集. 2001; 621-624.
- 16) Sabut SK, Sikdar C, et al: Functional electrical stimulation of dorsiflexor muscle: effects on dorsiflexor strength, plantarflexor spasticity, and motor recovery in stroke patients. *Neuro Rehabilitation*. 2011; 29: 393-400.
- 17) Robbins SM, Houghton PE, et al: The therapeutic effect of functional and transcutaneous electric stimulation on improving gait speed in stroke patients: A Meta-Analysis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2006; 87: 853-859.
- 18) Kluding PM, Dunning K, et al: Foot drop stimulation versus ankle foot orthosis after stroke: 30-Week Outcomes. *Stroke*. 2013; 44: 1660-1669.
- 19) Everaert DG, Stein RB, et al: Effect of a foot-drop stimulator and ankle-foot orthosis on walking performance after stroke: a multicenter randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair*. 2013; 27: 579-591.