

# リハビリテーションロボットを使用した理学療法の可能性を探る

島 翔悟<sup>†</sup> 猪爪陽子 中島 孝\*第73回国立病院総合医学会  
(2019年11月9日 於 名古屋)

IRYO Vol. 75 No. 4 (306-311) 2021

## 要旨

国立病院機構新潟病院（当院）ではセラピスト、対象者が疲労することなく、かつ転倒防止をすることによって安全面を確保し、Hybrid Assistive Limb (HAL) を導入し随意性の改善を図っている。

週2回と連続的に行っている急性散在性脳脊髄炎、完結的に行っている球脊髄性筋萎縮を提示する。9回を1クールとし、2分間歩行テスト、10 m歩行テストを1クール終了後ごとに評価を行いHALを継続した。

症例1は歩行器歩行が可能であったが、両立脚期の支持力低下により、体幹が前傾し立位、歩行には上肢の支えが必要な状態であり、2分間歩行テスト143 mであった。立脚期の改善を目標に立脚中期で重心が最高になるよう意識し学習を進めた。トルクリミット股関節、膝関節70%から開始し促通効果を出すため徐々にトルクリミットを上げ100%を目指し、2分間歩行テストは197 mまで向上した。

症例2は杖歩行が自立しているが鶏歩を呈している。立脚初期につま先接地、立脚中期にロッキングがあり疲労から転倒を繰り返していた。2分間歩行テストは93 mであった。歩行における適切な筋活動を促通すること、筋持久力の改善を目標に進めた。トルクリミットは左右股関節、膝関節30%に設定した。また触診を繰り返し行い電極の位置を決定した。フィルターを左右股関節、膝関節A1に設定し電極位置をマーキングした。2分間歩行テストは145 mまで向上した。

理学療法士は動作を分析し、患者に問題点を告げ、患者が問題点を理解した上でHALを使用し改善するための動作を意識し歩行を行っていくことでHALの治療効果が出る。HALのアシストにより意図的にスムーズに動作を行うことができる。意図的にスムーズに動作を行うためには、電極の位置も重要であり触診技術、改善目標を持って行うことで、理学療法士としての専門性が発揮される。

連続的に使用、完結的に使用と共に歩行能力の向上がみられているが、どちらのパターンが効果的なのかは今後検討していかなければいけない。

キーワード HAL, 理学療法, 歩行

国立病院機構新潟病院 リハビリテーション科 \*脳神経内科 †理学療法士

著者連絡先：島 翔悟 国立病院機構新潟病院 リハビリテーション科 〒945-8545 新潟県柏崎市赤坂町3-52

e-mail : shima.shogo.gq@mail.hosp.go.jp

(2020年3月30日受付, 2021年2月19日受理)

Explore the Possibility of Physical Therapy using Rehabilitation Robot

Shogo Shima, Yoko Inotsume and Takashi Nakajima\*, Department of Rehabilitation, \*Department of Neurology, NHO Niigata National Hospital

(Received Mar. 30, 2020, Accepted Feb. 19, 2021)

Key Words : HAL, physiotherapy, walking

電極貼り付け部位例を以下に図示する。

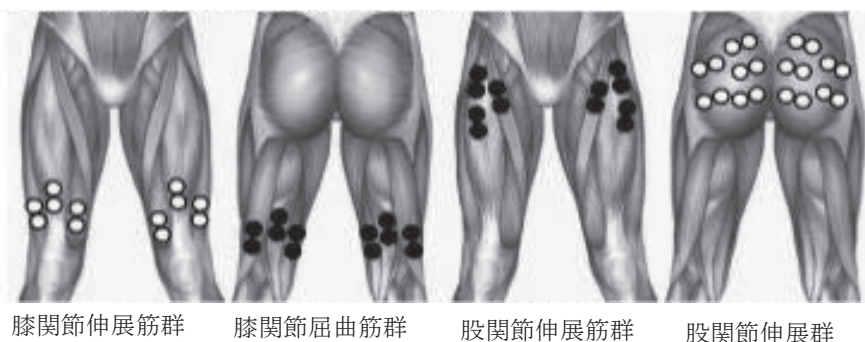


図1 電極貼り付け部位例

## 緒 言

脳血管障害に対する理学療法では平行棒での歩行練習やトレッドミル、歩行補助具を使用しての歩行練習を行ってきた。また、理学療法士が歩行介助を行うという人の手での介助が必須であり、セラピスト、対象者が疲労することにより長時間の歩行練習を行うことが難しい。歩行障害が重度であれば転倒のリスクも高い。1964年頃から現在に至るまで装具を使用してのリハビリテーション（リハ）が行われている。長下肢装具では、立脚期の安定性の確保を優先させるため遊脚相には適さないことが多い。長下肢装具では代償により異常歩行を学習しやすい、低歩行速度となるなどの懸念がある。立脚期もまた固定や制動により意図的に行えるものではなく、対象者が意図したものではなく随意性の改善が乏しい。

セラピスト、対象者が疲労することなく歩行練習を行い、かつ可動式免荷装置とトレッドミルの併用や免荷機能付歩行器オールインワンを使用し転倒防止に努めながら歩行練習に取り組み、安全面を考慮することで積極的にリハが行え、国立病院機構新潟病院（当院）では山海嘉之が開発したHybrid Assistive Limb（HAL）を導入し効率よく歩行練習を進めている。HAL<sup>®</sup>では運動意図に基づき立脚相、遊脚相と両方を働かせることが可能であり、随意性の改善を図っている。

HALはHAL<sup>®</sup>医療用下肢タイプ、HAL<sup>®</sup>自立支援用下肢タイプProのモデルがある。HALは図1<sup>1)</sup>に示すようにHAL装着者の運動単位電位を電極を通して計測し、装着者の意図どおりの誤りの少ない正しい歩行運動を、疲れなく繰り返すことで運動学習を可能とした医療機器である。電極の位置関係は重

要であり、電極の貼る位置により動きのスムーズさに変化がある。HAL装着者の随意運動意図に基づき動作するサイバニック随意制御（CVC）、HAL内部の運動データベースを参照し、運動単位電位計測が不完全でも正しい運動パターンを完成させようとするサイバニック自律制御（CAC）、装着者にHALの重量を感じさせないサイバニックインピーダンス制御（CIC）によりハイブリット構成される<sup>2)</sup>。

実際の臨床現場において、当院は希少性神経筋疾患8疾患に対しHAL<sup>®</sup>医療用下肢タイプ（HAL）、その他のさまざまな疾患をHAL<sup>®</sup>自立支援用下肢タイプPro（HAL）を使用している。HALを使用した歩行運動処置を受ける入院・外来患者はHALの使用前後に2分間歩行テストによる歩行運動持久力を主要評価項目として実施し、その他の評価項目として、10 m歩行テストによる最高歩行速度、歩幅、ケイデンス測定を行っている。1回の使用時間を20-30分とし、9回を1クールとして、それを疲労感に応じて2-3週で行っている。

今回週2回と連続的に行っている対象者、完結的に行っている代表症例を2例提示する。

なお、HAL<sup>®</sup>自立支援用下肢タイプPro、HAL<sup>®</sup>医療用下肢タイプは診療内容を症例報告としたものであり、施設での倫理委員会での審議は不要であった。

## 症 例 1

### 1. 病歴、機能障害

2016年5月当院初診時に55歳男性、2012年2月四肢麻痺を発症し急性散在性脳脊髄炎と診断され人工呼吸器装着まで悪化した。同年6月対麻痺まで改善したが、医師からは、歩行は生涯不可能で車椅子生活と宣告された。その後、回復期リハビリテーショ

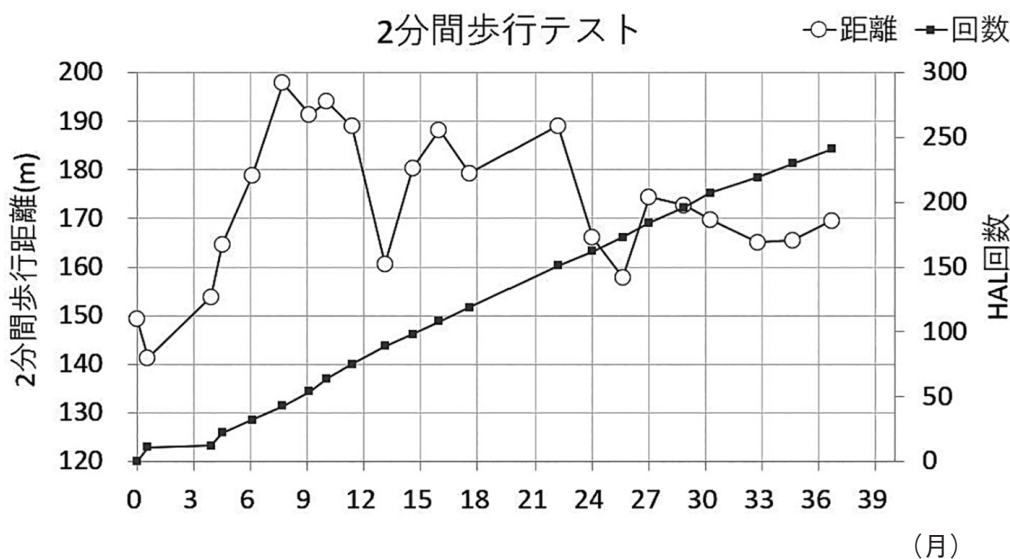


図2 2分間歩行テスト (症例1)

1度目の距離が落ちた要因として、職場復帰による疲労が挙げられ、2度目以降からも仕事の量により変化がみられている。

ン病院へ転院しHAL®福祉用を数回使用した歩行練習を行い、歩行器歩行が可能となった。歩行器歩行が可能となったが、リハを終了したことにより機能低下が生じてしまった。2016年5月よりHALを継続したいと希望し当院のHALを中心としたリハを開始した。開始時、両下肢の痺れ、Manual Muscle Test (MMT右/左) 股関節屈曲4/3伸展2/2、膝関節屈曲2/3伸展4/4であった。2分間歩行テストはオールインワンを使用し143 mであり、図2に示す。両下肢の立脚期の支持力低下により、体幹が前傾し立位、歩行には上肢の支えが必要な状態であった。またアキレス腱反射が亢進し足クローヌスがみられた。下腿三頭筋の痙性により、立脚期初期に下腿三頭筋のモーメントがピークとなりつま先での接地、立脚中期で膝のロッキング、外側動揺がみられた。HALでは足関節のアシストがないため改善は難しいと考えた。下腿三頭筋のピークを遅らせ膝のロッキングの改善のためにGAITSOLUTION Design (GSD)、外側ウエッジの作成を行った。歩行はどうか可能であったが筋持久力の低下があり車椅子生活が中心であった。

## 2. 歩行運動療法の方法

週2回外来リハでHALを使用しての歩行練習を39カ月継続している。トレッドミルを使用し9回を1クールとし、2分間歩行テスト、10 m歩行テストを実施し1クール終了ごとに評価を行いHALを

継続した。開始時はHALの調整のため3週間入院をした。その後外来でのリハを継続した。1回の歩行量はおよそ20分660 m程度確保し、モードはCVCで実施した。開始時トルクリミット股関節、膝関節70%から開始し促通効果を出すために徐々にトルクリミットを上げ100%を目指した。HAL以外のリハは実施しなかった。1クール目はオールインワンを使用し、2クール目からトレッドミルを使用した。HALを使用し立脚期の改善を目標に理学療法に取り組んだ。過剰な左右への重心移動を防ぐために外側ウエッジを使用し、左右への重心をしっかりと行い、立脚中期で上下の重心が最も高くなるよう意識し運動学習を進めた。また立脚中期～後期を意識し股関節伸展位からの振り出しを行った。足関節の関節角度は底背屈角度はフリーにし自由度を高く設定した。下腿三頭筋の痙性を抑えるためにGSDを装着し、ロッカー機構を再現しながらGSDをHALに組み入れた。外来通院以外は自宅療養であり、活動はしていなかった。

## 3. 歩行運動療法を含む結果

MMT股関節屈曲4/4、膝関節伸展5/5屈曲3/3と筋力の向上した。股関節伸展可動域、下肢の痺れの改善はみられていない。2分間歩行テストでは2017年1月、HAL43回目でオールインワン使用し最高197 mまで向上した。現在もHAL使用での理学療法を外来で週2回継続している。2分間歩行距

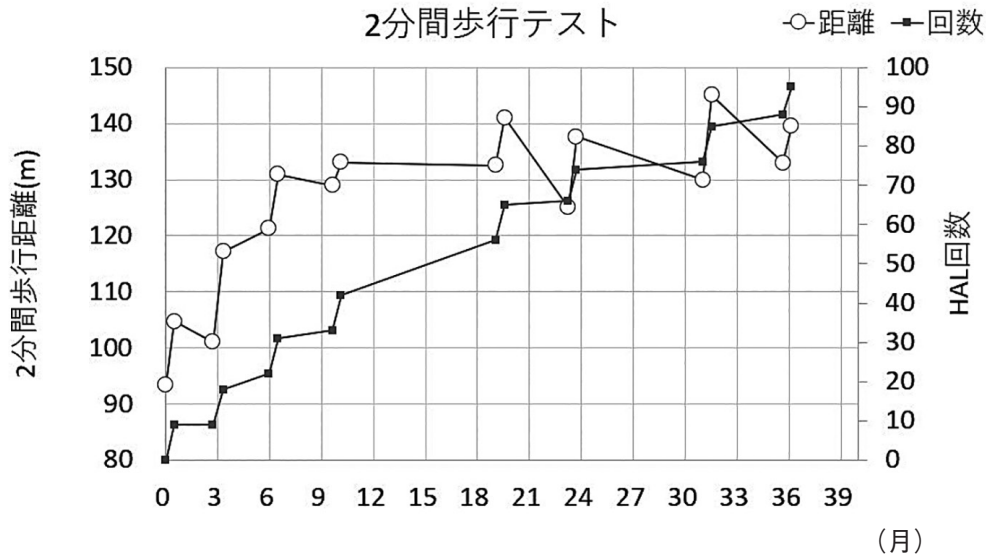


図3 2分間歩行テスト (症例2)

離の変化を図2に示す。距離が飛躍的に伸びた。両立脚期の支持力が改善され体幹も安定した。GSD装着ではあるが、踵接地がスムーズとなり重心の上昇もみられ2017年1月には独歩が可能となり職場復帰した。歩行のみならず立位での入浴またぎ動作や階段昇降の獲得、歩いての外出や買い物や、趣味の船に乗っての釣りなどADLやIADLにも変化がみられている。参加が可能となったことで筋力の向上がみられている。

## 症 例 2

### 1. 病歴, 機能障害

54歳男性, 2001年36歳で球脊髄性筋萎縮症を発症し, 当院へ来るまでは歩行運動療法を含むリハの経験は1度もなかった。2016年HAL®医療用下肢タイプを目的に当院で理学療法が開始された。MMT股関節屈曲3/3伸張4/4, 膝屈曲3/3伸張4/4, 足底屈2/2背屈3/3, ROMは問題なしであった。2分間歩行テストでは2016年8月HAL開始前で杖歩行により93 mであり図3に示す。杖歩行は自立であるが歩容の崩れあり振り出しは鶏歩であった。立脚初期に鶏歩によってつま先接地, 立脚中期に膝のロッキングが著明であり疲労がおこりやすく転倒を何度も繰り返していた。なおリユプロレリン酢酸塩は他施設で行っていたが, 対象者から「力が落ちた」, 「ホットフラッシュにより眠れなくなった」と訴えがあり中止となっている。

### 2. 歩行運動療法の方法

3週間で9回HALを使用する入院を定期的に継続し, モードはCVCで実施し, 36カ月で8クール行っている。また対象は県外在住であるため完結的に行い, 歩行状態が悪くなる前に入院を行った。歩行における適切な筋活動を促通すること, 筋持久力の改善を目標とした。HAL以外のリハとして, 疼痛コントロールや疲労回復のためストレッチのみ行った。1クール目はオールインワンを使用し, 2クール目からトレッドミルへ移行した。適切なアシストを加え, 1回の歩行量はおよそ30分900 m程度確保した。トルクリミットは左右股関節, 膝関節30%と低い数値に設定し不必要に強いアシストトルクを抑え疲労がおこらないよう調整し滑らかな動きを再現させた。トルクリミットを30%以上に上げると不必要に強いトルクが出てしまい, HALの機体ががたつき歩行が難しく疲労が著明となってしまった。トルクリミットを30%に抑えることによって瞬間的な強いトルクをカットし, トルクを安定させることによって適切なアシストを行うことができた。症例2はトルクリミットを30%に設定することが適切であった。また症例は電極の貼る位置が重要であり, 貼る位置の場所により動きが不良となってしまう。股関節屈曲は大腿直筋, 伸張は大殿筋, 膝屈曲は大腿二頭筋, 伸張は外側広筋と標準電極の位置ではあるが, 触診を繰り返し行い電極の位置を決定した。またフィルターを左右股関節, 膝関節A1で行えるようにし, 常に同じ位置に電極を貼りスムーズ

に歩行ができるよう電極位置をマーキングした。

### 3. 結果

MMTは足関節背屈2/2と低下がみられたが、他の筋の筋力低下の進行はみられず維持できている。2分間歩行テストでは2019年3月7クール、HAL回数85回で杖歩行により最高145 mと向上しており図3に示す。進行性の疾患にもかかわらず歩行距離が伸びた。鶏歩やロッキングに変化はみられないが、筋持久力が向上し楽に長く歩くことが可能となり、転倒することなく安心して外出ができるようになった。当院でリハビリ開始から現在まで1度も転倒がない。

---

## 考 察

---

症例1, 2はともにオールインワンからトレッドミルへ移行し歩行練習を行った。初めてHALを使用するため、HALに慣れるために本人のタイミング、ペースで歩行を行った。HALの動きに慣れたところで、トレッドミルに切り替えた。トレッドミルを使用して一定のリズムで長時間歩いてもらった。

症例1は歩行機能、筋力が改善されたが、可動域の改善までは至っていない。HALのみではなく、徒手的な関節可動域訓練も行っていく必要がある。身体のアライメントを改善し、さらに効率的な歩行を獲得していく必要があると考える。また筋力の改善もみられているがまだ十分ではなく、進行性の疾患ではないため筋力トレーニングの併用もしていく必要があると考える。

症例2は神経難病であり進行性の疾患であるが、HALは有効であり筋力も維持できている。積極的な筋力トレーニングは行わず、現状でのHALを使用したりハを継続していくことが望ましいと考えられる。またHALにより筋持久力が改善し活動範囲が広がり、生活の中で筋力を維持していく必要があると考えられる。

理学療法士は動作を分析し、患者に問題点を告げ、患者が問題点を理解した上でHALを使用し改善するための動作を意識し歩行を行っていくことでHALの治療効果が出る。HALのアシストにより意図的にスムーズに動作を行うことができる。意図的にスムーズに動作を行うためには、電極の貼る位置も重要であり確かな触診技術、改善目標を持って行

うことにより、理学療法士としての専門性が発揮される。

歩くごとに異常な歩行パターンが学習されていた。無理に歩行運動量を増加させても異常な歩行パターンを再学習することで、歩行パターンはさらに悪化した。しかしHALを使用し筋活動が強化され、歩行運動中枢としてのCPG (Central Pattern Generator) の活動を賦活し適切な歩行パターンの形成を作り出すことできたと考える。

Nudoら<sup>3)</sup>は、従来使われていた神経ネットワークが使用できない状態になったとき、脳がこれを再編する機能をもっていることを示している。上記2例に示したように、装着者の運動意図に基づく、つまり患者自身が目的を持った歩行を繰り返し意識し、それが行われたことにより、シナプスの伝達効率が増強されたと考える。と同時に電気モータのアシストで、疲労がおきにくく、骨格筋や運動ニューロンに対する負荷が軽減されたことにより歩行機能の改善に繋がったと考える。

中島は<sup>4)</sup>筋力を保つために上位運動ニューロンは脊髄運動ニューロンに対するシナプス刺激を単に増加させる可能性があるが、運動ニューロンは過活動により変性過程が進行する可能性がある。各運動単位に対する上位の中枢の刺激強度が運動単位の変性の過程に対応して調整されれば、筋出力や筋持久力は最高になり、症状が改善すると同時に、変性スピードも軽減できる可能性がある。神経筋疾患の多くは過度な運動療法は禁忌とされていたが、HAL使用での運動療法は骨格筋や運動ニューロンに対する負荷が少なく、安全に行うことができ、希少性神経筋疾患に対して歩行改善の長期効果が得られている。HALは慢性疾患や進行性の神経筋疾患であっても歩行能力を向上させ、一定期間維持できる効果がある。

HALは歩行機能改善を目的としているため、歩行練習が中心となり患者の生活を見失わないようにする必要がある。本来の目的は患者の生活機能や質の向上である。そのために患者の状態を把握し、動作を分析した上で目標を明確化し理学療法を展開していく必要がある。Shumway-Cookら<sup>5)</sup>は治療の際の原則として、①患者の能動的な参加、②具体的な目標の設定、③意味のある運動の繰り返しを考慮することが大切であると述べている。HALを使用する際も治療の原則を考えていく必要がある。

---

## 結 語

---

HALを使用した2症例を報告した。連続的に使用、完結的に使用とともに歩行能力の向上がみられているが、どちらのパターンが効率的なのかは今後検討していかなければいけない。どのタイミングでリハを終了するのかという問題もある。症例1は慢性疾患であり身体機能の向上により走行も可能と考えている。対象者を中心に家族、医師や理学療法士と一緒にゴールを明確に設定していく必要がある。症例2のように機能低下をおこさないように継続していくことも重要である。

**著者の利益相反：**本論文発表内容に関連して申告なし。

---

### [文献]

- 1) 中島 孝. HAL医療用下肢タイプHAL-ML05モデルHAL医療用下肢タイプ適正使用ガイド. つくば: CYBERDYNE株式会社 2016: 22p.
- 2) 中島 孝. ニューロサイエンスの最新情報 ロボットスーツによる神経機能回復メカニズム. Clin Neurosci 2016: **34**: 936-7.
- 3) Nudo RJ, Wise BM, SiFuentes F et al. Neural substrates for the effects of rehabilitative training on motor recovery after ischemic infarct. Science. 1996; **272**: 1791-4.
- 4) 中島 孝. 筋萎縮性側索硬化症に対するHALなどのサイバニックデバイスの利用. Jpn J Rehabil Med 2018; **55**: 578-82
- 5) Shumway-Cook A and Woollacott, Marjorie H. Motor control: translating research into clinical practice. 4th ed, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2012.