症例報告

脳卒中発症後の失調症状に対し、ロボットスーツ HAL を用いたリハビリテーションが効果的であった 3 症例

濱田 緒美¹⁾, 左村 和宏¹⁾, 安部 洋¹⁾, 福田 宏幸²⁾, 緒方 利安¹⁾³⁾, 野中 将¹⁾,
東 登志夫¹⁾, 塩田 悦仁²⁾, 井上 亨¹⁾

1) 福岡大学病院脳神経外科, 2) 同 リハビリテーション科, 3) 同 神経内科

Three Cases with Ataxic Gait Disorder improved by using a Hybrid Assistive Limb Robot Suit

Omi Hamada, M.D.¹⁾, Kazuhiro Samura, M.D., Ph.D.¹⁾, Hiroshi Abe, M.D., Ph.D.¹⁾,
Hiroyuki Fukuda, P.T.²⁾, Toshiyasu Ogata, M.D., Ph.D.¹⁾³⁾, Masani Nonaka, M.D., Ph.D.¹⁾,
Toshio Higashi, M.D., Ph.D.¹⁾, Etsuji Shiota, M.D., Ph.D.²⁾, Tooru Inoue, M.D., Ph.D.¹⁾

1) Department of Neurosurgery, Fukuoka University Hospital, 2) Department of Rehabilitation, Fukuoka University Hospital,
3) Department of Neurology, Fukuoka University Hospital

We experienced three patients with ataxia after stroke (ataxic hemiparesis in chronic stroke or Wallenberg syndrome in acute stroke) whose neurological deficits improved following rehabilitation using a hybrid assistive limb (HAL). All three patients had ataxia involving their limbs and/or trunk. During the HAL rehabilitation, knee flexion and stretch, sit-to-stand, and walking were all performed. HAL rehabilitation enabled them to stabilize their center of gravity. Furthermore, HAL rehabilitation shortened the time of their 10 meter walk. According to our results, we believe that HAL can be used to ameliorate the balancing and walking function in patients with ataxia after stroke.

(Received January 27, 2015 ; accepted February 18, 2015)

Key words : ataxic gait disorder, robot suit HAL, rehabilitation

Jpn J Neurosurg (Tokyo) 24 : 413-418, 2015

はじめに

脳卒中後リハビリテーションは、患者の機能予後に大きく関与する。失調症状の予後は比較的よいといわれているが、適切なリハビリテーションを行えば完全に改善する例がしばしばみられるといわれている¹⁾³⁾。

神経リハビリテーションとは、損傷を受けた機能を行う支配領域を運動学習により再構築することであり、その構築には末梢からの固有感覚器を通したフィードバックが重要といわれている²⁾⁵⁾¹⁵⁾。ロボットスーツ Hybrid

Assistive Limb (HAL) は、筑波大学工学部で開発された下肢に装着し動作をアシストするロボットであり、HAL が生成する運動により求心性の感覚入力が増大し、バイオフィードバックが賦活されて歩行運動の改善をもたらすとされる¹³⁾。これまで神経・筋難病患者や脊髄損傷患者、片麻痺患者のリハビリテーションに併用され、有用性が報告されているが⁴⁾¹²⁾¹⁴⁾¹⁶⁾、失調症状に対する使用の報告はない。

今回われわれは、脳卒中後の失調性片麻痺、ワレンベルグ症候群といった失調症状を有する症例に対し、HAL

連絡先: 濱田緒美, 〒814-0133 福岡市城南区七隈 7-45-1 福岡大学医学部脳神経外科学教室

Address reprint requests to: Omi Hamada, M.D., Department of Neurosurgery, Faculty of Medicine, University of Fukuoka, 7-45-1 Jonan-ku, Fukuoka-shi, Fukuoka 814-0133, Japan

Fig. 1 A : MRI findings for a pontine hemorrhage 70 days after onset in case 1.
 B : MRI findings at the acute phase of lateral medullary infarction in case 2.
 C : MRI findings after surgery in the acute phase of lateral medullary infarction in case 2.
 MRI : magnetic resonance imaging

を併用したりハビリテーションを行い、歩行が改善した3症例を経験したので報告する。

方 法

福岡大学病院脳神経外科に入院した、失調性片麻痺ないしワレンベルグ症候群を呈した3症例にHALを用いた歩行訓練を行った。HALを用いた急性期リハビリテーションについては、福岡大学病院倫理委員会の承諾と、患者・家族からの文書による同意を得て実施した。HALを通常のリハビリテーションに併用して使用し、1回の使用時間は20～60分とした。静止立位でのバランス訓練と歩行訓練を重視し、HALのモニター画面に映し出される床反力中心をみながら、静止立位、立ち座り動作、歩行時の重心移動を患者とともに確認した。患者の体調や持久力に合わせて時間は設定し、立位訓練は3～5分、歩行訓練は20～200mで行った。HAL訓練は通常週3回、隔日で行い、症例1では合計12回、症例2では5回、症例3では6回行った。HAL以外の訓練の日、通常のリハビリテーションとして協調性運動訓練、起き上がりや立ち上がりなどの基本動作の反復練習、立位で鏡をみて行うバランス練習、歩行練習を1日合計40分程度行った。HAL訓練開始時、装着前に10m歩行の秒数を記録し、訓練後HALを外して同様に10m歩行の秒数を記録した。また、HALを装着しない状態での開眼立位の重心動揺を、重心動揺計を用いて定期的に測定し、総軌跡長と外周面積を記録した。症例3では、HALのモニター画面に写し出される床反力中心の動きを録画し、ダートフィッシュ・ソフトウェア（ダートフィッシュ・ジャパン）を用いて床反力中心の軌線を描いた。

症例 1

46歳、男性。某年12月、突然四肢のしびれを発症し、橋出血の診断で入院した。保存的加療を行われ、リハビリテーションを継続するも失調が強く、歩行障害により自宅退院が困難な状態であった。発症70日目の時点で当院へ転院となった。軽度の右上下肢麻痺と失調、体幹失調を認めた。来院時頭部MRI（発症70日後）では橋背側の出血後変化と左延髄にWaller変性を認めた（Fig. 1A）。入院当日より従来のリハビリテーションを開始し、翌日よりHALの併用を開始し、合計12回行った。歩容は開脚歩行で歩幅は小さく前方へ上半身が偏位しており、手すり支持が必要で腕の振りもほとんどなかった。HALを装着し、立位バランス訓練、100mの歩行を行った。10m歩行が1回目の訓練で15秒から13秒へ、2回目には13秒から12秒へと改善し、即時的な効果が得られた。5回目以降は、秒数は9秒から短縮されることはなく、またそれを上回ることもなかった。入院期間中に行った立位時の重心動揺計による計測では、総軌跡長が2,352cmから1,675cmへと短縮し、外周面積も1,940cm²から1,075cm²へと縮小した（Fig. 2）。12回のHAL併用訓練を終え、Barthel Indexは50点から90点へ、FIM（Functional Independence Measure）は86点から116点へ改善し、退院した。

症例 2

40歳、男性。某年6月、右側頭部痛、ふらつき、嘔吐で発症し、延髄外側脳梗塞に伴うワレンベルグ症候群の診断で近医へ入院した。頭部MRIで右延髄外側に新鮮梗

Fig. 2 Posturography before and after HAL rehabilitation

The posturography of case 1 before starting HAL rehabilitation and 20 days after. The total length of COP (center of pressure) was shortened. The posturography of case 2 before starting HAL rehabilitation and 4 days after. The total length of COP was also shortened.

LNG: the total length of COP displacements, EA: envelope area

塞を認めた (Fig. 1B). 加療目的で発症 9 日目に当院へ転院し、右椎骨動脈解離に伴う右椎骨動脈の高度狭窄を認めた。Japan Coma Scale (JCS) II-10 の意識障害があり、左椎骨動脈は低形成で、脳底動脈の血流が不足している影響と考えられ、発症から 2 週間後、右浅側頭動脈-上小脳動脈バイパス術を施行された。術翌日よりリハビリテーションを開始し、術後 10 日目、歩行訓練開始と同時に HAL を用いたリハビリテーションを開始した。失調と強い感覚障害により静止立位での重心が大きく動揺し、後方に偏倚していた。また、開脚歩行で歩幅が狭く、典型的な失調歩行を呈していた。初回訓練では HAL を装着し、立位訓練を 3 分間行い、そのまま装着下で 20 m 歩行した。訓練直後、HAL を外した後の歩行は歩幅や振り出しがスムーズになり、訓練直前は 10 m 歩行に 35 秒かかったが、直後には 19 秒に短縮した。2 回目の訓練では 19 秒から 14 秒へ、3 回目には 12 秒から 11 秒へ短縮し、最終的には 5 回の訓練で 10 m 歩行は 9 秒となった。重心動揺計の結果は、開始 4 日後の測定で、総軌跡長が 1,290 cm から 983 cm へ短縮し、外周面積も 688 cm²から 466 cm²へと縮小を認めた (Fig. 2)。退院時、Bar-

thel Index は 30 点から 80 点へ、FIM は 70 点から 103 点へ改善した。

症例 3

44 歳、男性。突然後頭部痛があり、画像上異常所見なく経過観察されていた。後頭部痛の頻度が増加し、2 年後に再度頭部 MRI を施行されたところ、右椎骨動脈の解離性脳動脈瘤を指摘された。血栓化瘤による脳幹への圧迫を認め手術適応と判断され、右後頭動脈-後下小脳動脈バイパス術、右椎骨動脈起始部トラッピング術を施行された。術後、体幹が右へ強く傾き、めまい、ふらつきが出現し、body lateropulsion を認めた。術後頭部 MRI では右延髄外側に小梗塞があり、ワレンベルグ症候群と判断された (Fig. 1C)。術後 3 日目より通常のリハビリテーションを再開した。術後 7 日目より HAL 併用訓練を開始した。1 回目は HAL 装着下での十分な歩行訓練が不可能であったが、2 回目はめまいが軽減し、モニター画面をみながら 3 分間の立位保持訓練を 3 回、免荷機能付き歩行器を併用して 80 m の歩行訓練が可能であった。10

Fig. 3 Timed 10 m walking trial in the three cases

The time of half-tone dot meshing indicates the improvement in the time trial just after HAL rehabilitation compared to before.

m 歩行では訓練前の 22 秒から訓練直後に 13 秒へと即時効果が認められた。その後 6 回の訓練を施行し、歩行時の重心移動や体幹の傾きが改善し、開始から 18 日で 10 m 歩行は 11 秒へと改善した。軽介助にて歩行可能となり、近医へ転院した。退院時の Barthel Index は 40 点から 85 点へ、FIM は 69 点から 110 点へと改善した。

考 察

小脳は、運動の誤差学習の場といわれ、自らが行おうとして指令した運動と、実際に行われた運動のフィードバックから、誤差を認識しそれに基づいた学習が起るとされる⁷⁾。過去の報告でも、このようなフィードバックを用いた訓練がリハビリテーションに有用であることは報告されている³⁾⁶⁾¹⁵⁾。今回の検討から、筋力や筋の随意性は保たれている装着者に、HAL が多彩なフィードバックをもたらしながら、運動をアシストすることによって機能を回復させていく可能性があることを示唆したといえる。

3 症例のうち、症例 1 は急性期リハビリテーションによる改善の停止が認められた慢性期に HAL による介入を行ったもので、症例 2、3 は発症 24 日後、7 日後の急性期に HAL を使用したものである。3 症例の歩行秒数をみた場合、いずれも HAL の訓練を併用したことで改善傾向を認めた。慢性期への使用で著明な改善が認められ

たことから、HAL を用いることにより通常リハビリテーションにはない有益な情報を HAL が患者に与えたといえる。

Fig. 3 に示すように、慢性期に使用した症例 1 では、10 m 歩行の秒数はたった 4 回の HAL 訓練で著明に改善している。通常のリハビリテーションと比較し、HAL を用いることで得られるフィードバックは、主に視覚的なフィードバックと、固有感覚を通したフィードバックである。モニター画面をみることで、立位時・歩行時の実際の重心位置を装着者は知ることができ、また、アシスト下の歩行を行うことで、皮膚や筋紡錘を通した固有感覚から内的なフィードバックを得ることができる。HAL によって提供されるフィードバックから、装着者は予測した運動と実際に行うべき運動の誤差を繰り返し認識し、運動学習が促進されたと考えられた。一方、そのフィードバックを急性期から用いることの利点もあった。症例 2、3 では、慢性期への使用と同様に HAL 訓練前後において即時的な改善がみられた。また、前回の終了時の記録を維持した状態で次の訓練を始めることができている点も興味深い。これは一度の訓練で学習された歩行が定着していることが示唆される。症例 3 は最も早期に使用を開始した症例であり、初回は改善しなかったものの、2 回目以降には即時効果を認めるようになった。また、歩行中の床反力中心の軌跡をみると (Fig. 4)、初回は歩行として同じ動きを繰り返しているのにもかかわらず

Fig. 4 Center of pressure trajectory in a HAL monitor of case 2 during walking

The green line is the center of pressure trajectory.

A : Trajectory during walking in the first training using HAL. It moved without uniformity.

B : Trajectory during walking in the fifth time training using HAL. It now moved with uniformity and described a ∞ shape.

らず軌跡は一定ではないのに対し、訓練最終日には軌跡が ∞ 型を描き、その一定の重心移動が繰り返されていることから運動の定着がうかがわれる。HAL を用いることで、より早期に歩行能力を改善させる可能性がある。

歩行能力の改善には下肢の筋力や協調性よりも、立位でのバランスが重要であるともいわれており⁸⁾、立位での重心動揺と歩行能力は相関するとされる¹¹⁾。われわれは歩行訓練前に HAL 装着下で立位での重心確認を行い、そのイメージを保ったまま歩行するような訓練方法を用いたことが即時的な効果へつながったと考えた。訓練全体を通して、立位時の重心動揺と歩行に改善がみられたことから、バランス能力の改善が歩行能力の改善、ひいては ADL の改善に寄与したと思われる。

小脳梗塞患者では視覚情報に基づく運動学習に障害がみられたという報告もあり¹⁰⁾、失調症状すべてに HAL が同様な結果をもたらすかは不明である。また、ワレンベルグ症候群の失調予後はよく、平均 10 週間で改善するといわれているため⁹⁾、急性期に用いた 2 症例は HAL の使用により改善したと結論付けるには早計と思われる。慢性期・急性期の失調症状への使用に関して、今後有効性を証明するためにはランダム化比較試験を行う必要がある。

また、症例 3 においては、発症後 7 日という超急性期から開始し、1 回目は HAL 訓練による即時的効果が認められなかったことから開始時期に関しての検討を重ねるべきであると考えられる。しかし、今回の 3 症例を通して、これまでに報告されている運動麻痺だけでなく、失調症状の歩行訓練に HAL を用いることの有用性が示唆

された。

結 語

脳卒中の失調症状に対するリハビリテーションに HAL の併用が有用であった 3 症例を経験した。視覚や固有感覚を通したフィードバックにより、運動の誤差学習を促進したと考えられた。失調症状の歩行訓練に HAL は有用であることが示唆された。

謝 辞

本研究の一部は臨床研究基金の支援に依った。

COI の開示

本論文に関連し、開示すべき COI 状態にある企業、組織、団体はいずれもありません。

文 献

- 1) Bernhardt J, Dewey H, Thrift A, Collier J, Donnan G : A very early rehabilitation trial for stroke (AVERT) : phase II safety and feasibility. *Stroke* **39** : 390-396, 2008.
- 2) 道免和久 : 運動学習とリハビリテーション. *バイオメカニズム学会誌* **25** : 177-182, 2001.
- 3) Fatar M, Baezner H, Griebel M, Stroick M, Hennerici M : Cerebellar stroke with speed-dependent gait ataxia. *Stroke* **34** : e178, 2003.
- 4) 濱田緒美, 上羽哲也, 緒方利安, 野中 将, 福田宏幸, 塩田悦仁, 井上 亨 : 脳卒中超急性期リハビリテーションにおいて、ロボットスーツ HAL の使用が麻痺側生体電位検出に有効であった 1 例. *脳外誌* **22** : 792-797, 2013.
- 5) 長谷公隆 : 運動学習の神経機構とその障害. *理学療法* **22** : 966-974, 2005.

- 6) Januário F, Campos I, Amaral C: Rehabilitation of postural stability in ataxic/hemiplegic patients after stroke. *Disabil Rehabil* **32**: 1775-1779, 2010.
- 7) Kawato M, Furukawa K, Suzuki R: A hierarchical neural-network model for control and learning of voluntary movement. *Biol Cybern* **57**: 169-185, 1987.
- 8) Kollen B, van de Port I, Lindeman E, Twisk J, Kwakkel G: Predicting improvement in gait after stroke: a longitudinal prospective study. *Stroke* **36**: 2676-2680, 2005.
- 9) 桑原 聡, 平山恵造, 小島重幸: 小脳・小脳脚梗塞における運動失調—運動失調の予後および小脳内体性局在について—. *脳卒中* **15**: 104-112, 1993.
- 10) Martin TA, Keating JG, Goodkin HP, Bastian AJ, Thach WT: Throwing while looking through prisms. I. Focal olivocerebellar lesions impair adaptation. *Brain* **119**: 1183-1198, 1996.
- 11) Morita H: Rehabilitation of post-stroke hemiplegic patients. I. Gravity-center-swaying and walking ability. *J UOEH* **11**: 261-273, 1989.
- 12) 中島 孝: 神経・筋難病患者が装着するロボットスーツ HAL の医学応用に向けた進歩, 期待される臨床効果. *保険医療科学* **60**: 130-137, 2011.
- 13) Sankai Y: HAL: Hybrid Assistive Limb based on cybernics. *Robotics Research* **66**: 25-34, 2011.
- 14) 山海嘉之, 鍋島厚太, 河本浩明: ロボットスーツ HAL の安全技術. *日本ロボット学会誌* **29**: 780-782, 2011.
- 15) Takeuchi N, Izumi S: Rehabilitation with poststroke motor recovery: a review with a focus on neural plasticity. *Stroke Res Treat* **2013**: 128641, 2013.
- 16) Ueba T, Hamada O, Ogata T, Inoue T, Shiota E, Sankai Y: Feasibility and safety of acute phase rehabilitation after stroke using the hybrid assistive limb robot suit. *Neurol Med Chir (Tokyo)* **53**: 287-290, 2013.

要 旨

脳卒中発症後の失調症状に対し、ロボットスーツ HAL を用いたリハビリテーションが効果的であった 3 症例

濱田 緒美 左村 和宏 安部 洋 福田 宏幸 緒方 利安
野中 将 東 登志夫 塩田 悦仁 井上 亨

われわれは、脳卒中による失調症状を呈した 3 人の患者（失調性片麻痺およびワレンベルグ症候群）に対しロボットスーツ HAL を用いたリハビリテーションを行い、良好な結果を得たので報告する。症例 1 は慢性期の失調性片麻痺、症例 2, 3 は急性期のワレンベルグ症候群の患者であった。HAL 装着下での訓練を症例 1 は 12 回、症例 2 は 5 回、症例 3 は 6 回行った。当院での訓練方法としては、HAL 装着下でまず立位訓練を行い、直後に歩行訓練を行った。10 m 歩行においては歩行時間が短縮するなどの改善が得られた。また、数回の訓練後に行った重心動揺計による測定では、立位での重心動揺が減少した。ロボットスーツ HAL は、脳卒中の失調症状に対する歩行訓練に有用であることが示唆された。

脳外誌 24 : 413-418, 2015

HAL と小脳失調

岩手医科大学脳神経外科 小笠原邦昭

小脳失調，特に limb ataxia は急性期には重症であっても，適切なリハビリテーションによりほぼ消失することは臨床で多々経験する．本研究はロボットスーツ HAL を用いたリハビリテーションにより，失調症を改善させた症例を報告している．このような研究では，改善という結果が自然経過によるものなのか，介入によるものなのかは厳密には randomized controlled trial を行わなければ確定的なこ

とはいえないが，ロボットスーツ HAL の有用性を示唆するデータを提供している．

今回報告された症例は，軽症～中等症例であるが，より重症例でも本法が有用であるか，また，同じ小脳失調でも様相が異なり，回復が困難なことが多い truncal ataxia に対しても本法が有用であるかどうかを是非ご検討いただきたい．