

胸椎後縦靭帯骨化症に対するロボットスーツ HAL を用いたリハビリテーション

藤井賢吾¹⁾，安部哲哉¹⁾，中山敬太¹⁾，久保田茂希²⁾，上野友之²⁾，丸島愛樹³⁾，山海嘉之⁴⁾，山崎正志^{1, 5)}

- 1) 筑波大学医学医療系整形外科
- 2) 筑波大学附属病院リハビリテーション部
- 3) 筑波大学医学医療系脳神経外科
- 4) 筑波大学大学院サイバニクス研究センター
- 5) 筑波大学附属病院未来医工融合研究センター

分担研究者：山崎正志 筑波大学医学医療系整形外科教授

【研究要旨】歩行困難となった重度の胸椎後縦靭帯骨化症の2例に対して、後方除圧術後に Hybrid Assistive Limb (HAL)を用いたリハビリテーションを導入した。いずれも術直後に麻痺の増悪はなかったが、術後7日目と18日目にそれぞれ脱力発作と起立性低血圧を生じ、リハビリテーションが一時中断となった。安静臥床後に通常のプログラムに加えて、HALを用いた歩行リハビリテーションを導入した。1回60分を週2回行い、総時間は420-600分であった。歩行速度と1分あたりの歩数は改善し、Walking index for SCI はそれぞれ8から16、0から8へ著明に改善し、自宅退院となった。胸椎後縦靭帯骨化症は、術直後のみならず動的要素で麻痺が増悪する可能性を有する。さらに、痙性や運動失調を伴うため、歩行能力の獲得に長期間を要する。本研究の結果から、重度の胸椎後縦靭帯骨化症の術後早期にHALを用いたリハビリテーションを行うことが、筋力の回復のみならず協調運動障害の改善に効果があると推察された。

A. 研究目的

重度脊髄症を呈する胸椎後縦靭帯骨化症(OPLL)で歩行困難となった症例は、麻痺の改善に時間を要するため、自宅復帰するまでに長期間を要する。

本年度の研究では、脳卒中後や脊髄損傷後の

慢性期に有用性が報告[1-3]されているロボットスーツ Hybrid Assistive Limb (HAL)を、重度胸椎 OPLL で歩行困難となった2症例の術後リハビリテーションに導入し、その効果を検討することを目的とした。

B. 研究方法

1. 対象

2014年に筑波大学附属病院整形外科に入院した重度胸椎 OPLL で、後方除圧固定術後にロボットスーツ HAL を用いた歩行リハビリテーションを導入した 2 症例である。

2. 検討項目

術後に離床が可能となった段階で、初回に両下肢用 HAL のフィッティングと椅子からの立ち上がり動作を確認した。転倒予防にハーネスを装着した状態で、1周 28m の平地コースで HAL による歩行トレーニングを行った。1 回のトレーニングは HAL の脱着と休憩時間を含めて 60 分とした。頻度は週 2-3 回とし、理学療法士 2 名と医師 1 名の付き添いの元で実施した。

評価項目は、HAL 導入時と終了時に HAL を外した状態で行った 10m 歩行テスト [4] (快適歩行状態で 10m 歩行に要する時間と歩数を計測) における歩行速度、歩幅、歩行率、ASIA 分類 [5]、The walking index for SCI (WISCI) [6]、発生した有害事象とした。

C. 研究結果

症例 1：40 歳台、男性

主訴：歩行障害・両下肢筋力低下

現病歴：2014 年 3 月末より右下肢しびれを自覚。4 月には両下肢しびれを自覚し、前医受診。歩行困難感が出現し、精査にて胸椎 OPLL を指摘され、当院に紹介入院。

初診時身体所見：下肢筋力は徒手筋力テスト (MMT 右/左) で 3/4 と低下。立位・歩行が困難で臍以下の体幹と両下肢全体にしびれと温

痛覚・触覚低下を認めた。両下肢で振動覚と位置覚の低下と、肛門括約筋収縮の低下による便失禁を認めた。

入院時画像所見：脊髄造影 CT と MRI で T8-11 と L1-3 レベルに OPLL があり同部位で脊柱管狭窄を認めた。C2-3, C4-6 レベルにも OPLL を認めた。T10/11 レベルが最狭窄部であり、脊柱管占拠率は 80% であった。日展会点数 (JOA スコア) は 11 点中 1.5 点 (0-1-0.5-0)、ASIA 分類は D、WISCI は 8 点であった。

手術：後方侵入で T8-12 椎弓切除と L2/3 部分椎弓切除および T7-L3 後方固定を行った。術中超音波で T10/11 レベルで骨化巣による圧迫は残存していたが、脊髄の拍動を認めた。術中 MEP で波形振幅の低下は認めなかった。手術は 9 時間 48 分、出血量は 2155g であった。

術後経過：術後 2 日目にドレーン抜去し、術後 5 日目より離床リハビリテーションを開始した。術後 18 日目に起立性低血圧を生じ、離床リハビリテーションを一時中断したが、術後 25 日目より HAL を用いた歩行トレーニングを導入し、術後 46 日目までに計 9 回行った。ト歩行速度、歩幅、歩行率、歩容は著明に改善し、術後 47 日に両松葉杖歩行で自宅退院となった。終了時の JOA スコアは 5.5 点 (1-1.5-1-2) 点、WISCI は 16 点に改善した (表 1)。有害事象はなかった。

症例 2：60 歳台、女性

主訴：歩行障害・両下肢筋力低下

現病歴：2014 年 6 月中旬ごろより誘因なく歩行時の不安定感を自覚し、T 字杖を使用するようになった。7 月に突然両下肢の脱力発作で歩

行困難となり、前医に救急搬送された。精査にて胸椎 OPLL と診断され、当院に紹介転院となった。

初診時身体所見：下肢筋力は MMT で腸腰筋 3/2、大腿四頭筋以下 4/4 と低下。両鼠径部以遠にしびれを認め、位置覚が低下していた。また右優位に温痛覚・触覚低下を認めた。

入院時画像所見：脊髄造影 CT および MRI で T5 椎体骨折および T3-7 レベルの OPLL を認めた。T4/5 レベルで骨化巣は不連続性で、脊柱管占拠率は 70%であった。JOA スコアは 11 点中 5.5 点(0-1.5-1-3)，ASIA 分類 D，WISCI 0 点であった。

手術：後方侵入で T3-7 椎弓切除および T1-9 後方固定を行った。術中超音波では T4/5 レベルで骨化巣による圧迫は残存していたが、脊髄の拍動を認めた。術中 MEP で波形振幅の低下は

認めなかった。手術は 6 時間 35 分、出血量は 280g であった。

術後経過：術後 2 日目にドレーン抜去し、術後 5 日目より離床リハビリテーションを開始したが、7 日目に両下肢麻痺が出現 (MMT 0-1) した。単純 X 線および CT 評価でインプラントの設置に問題なく、MRI で硬膜外血腫は認めなかった。3 週間のベッド上安静で麻痺は徐々に回復 (MMT 3) したため、術後 44 日目より HAL を用いた歩行リハビリテーションを開始し、術後 72 日目まで計 10 回行った。歩行速度、歩幅、歩行率、歩容は著明に改善し、術後 73 日に両松葉杖歩行で自宅退院となった。

終了時の JOA スコアは 6.5 点(1-1.5-1-3)点、WISCI は 8 点に改善した。有害事象はなかった (表 1)。

表 1. 胸椎 OPLL 術後の HAL を用いたリハビリテーション

	症例 1	症例 2	Sakakima 5
骨化巣	T8-11	T3-7	T2-10
麻痺	両側	両側	片側
手術	後方除圧固定	後方除圧固定	前方固定
導入時期	術後 3 週	術後 4 週	術後 8 週
1 回の時間	60 分	60 分	70 分
週の回数	2-3 回	2-3 回	6 回
総時間	420 分	600 分	3360 分
ASIA 分類 (導入前 終了時)	D D	D D	C D
WISCI (導入前 終了時)	8 16	0 8	0 8
経過	自宅退院	自宅退院	転院

D. 考察

Sakakima ら [7] は、片麻痺となった胸椎 OPLL の 1 例に両下肢用 HAL を用い、術後早期の導入が歩行機能の改善に効果があったことを報告している。今回我々は、両下肢麻痺で歩行困難となった胸椎 OPLL の 2 症例に、術後 3-4 週の早期から HAL を用いたリハビリテーションを導入し、比較的短期間で著明な歩行能力の改善を得ることができた。

ロボットスーツ HAL は、装着者の随意的な四肢の運動に伴い皮膚表面から検出される生体電位信号と足底センサーからの信号を基に、コンピューター制御された関節外速アクチュエーターによって四肢運動をアシストすることができる装着型人支援ロボットである。脳卒中や脊髄損傷の慢性期に HAL を用いた研究では、HAL により補助された反復運動が運動機能を改善させることが示されている [1, 2]。

今回の 2 症例における歩行機能の回復機序についても、筋力低下と痙性や運動失調により歩行困難となった状態でも、HAL を用いて補助することで歩行動作の反復運動を行うことが可能となったことで、筋力の回復が促進された可能性がある。また、補助された随意動作の感覚フィードバックが中枢神経系に作用し、深部覚や位置覚・脊髄後索路の機能が改善したことで、協調運動機能の改善が得られた可能性がある。

胸椎 OPLL は術直後のみならず、術後の動的要素によっても麻痺が発生する危険性がある。症例 2 では術後に両下肢麻痺の増悪で 3 週間の安静臥床後に HAL を用いたリハビリテーションを約 1 か月行ったが、最終的に術後 73 日に

両松葉杖歩行で自宅退院できたという経過は極めて良好である。今回の検討からは、より早期に HAL を用いた歩行トレーニングを導入することが、重度 OPLL で歩行困難となった患者の歩行機能の回復に良い影響をもたらす可能性が示唆された。

E. 結論

重度胸椎 OPLL で歩行困難となった症例に対する術後早期からのロボットスーツ HAL を用いた歩行リハビリテーションは、筋力の回復のみならず協調運動障害の改善に有効であることが示唆された。

参考文献

1. Kawamoto H, Kiyotaka K, Yoshio N et al: Pilot study of locomotion improvement using hybrid assistive limb in chronic stroke patients. BMC Neurol. 2013; 13:141
2. Kubota S, Nakata Y, Eguchi K et al: Feasibility of rehabilitation training with a newly developed wearable robot for patients with limited mobility. Arch Phys Med Rehabil. 2013; 94:1080-1087
3. Arch M, Cruciger O, Sczesny-Kaiser M et al: Voluntary driven exoskeleton as a new tool for rehabilitation in chronic spinal cord injury: a pilot study. The Spine J. 2014 (in press)

4. Van Hedel HJ, Wirz M, Curt A. Improving walking assessment in subjects with an incomplete spinal cord injury: responsiveness. *Spinal Cord* 2006; 44:352-356.
5. Piepmeyer JM, Jenkins NR. Late neurological changes following traumatic spinal cord injury. *J Neurosurg* 1988; 69:399-402.
6. Ditunno JF, Ditunno PL. Walking index for spinal cord injury (WISCI II): scale revision. *Spinal Cord* 2001; 39:654-656.
7. Sakakima H, Ijiri K, Matsuda F et al: A newly developed robot suit hybrid assistive limb facilitated walking rehabilitation after spinal surgery for thoracic ossification of the posterior longitudinal ligament: A case report. *Case Reports in Orthop.* 2013; 2013:621405.
- for ossification of the posterior longitudinal ligament using CT images. *J Orthop Sci.* 19(4): 530-536, 2014.
2. Takahashi H, Aoki Y, Kanajima A, Sonobe M, Terajima F, Saito M, Taniguchi S, Yamada M, Watanabe F, Furuya T, Koda M, Yamazaki M, Takahashi K, Nakagawa K. Phosphorylated neurofilament subunit NF-H becomes elevated in the cerebrospinal fluid of patients with acutely worsening symptoms of compression myelopathy. *J Clin Neurosci.* 2014 July 22. [Epub ahead of print]
3. Kamiya K, Koda M, Furuya T, Kato K, Takahashi H, Sakuma T, Inada T, Ota M, Maki S, Okawa A, Ito Y, Takahashi K, Yamazaki M. Neuroprotective therapy with granulocyte colony-stimulating factor in acute spinal cord injury: a comparison with high-dose methylprednisolone as a historical control. *Eur Spine J.* 2014 Jun 25. [Epub ahead of print]
4. Koda M, Furuya T, Kato K, Mannoji C, Hashimoto M, Inada T, Kamiya K, Ota M, Maki S, Okawa A, Takahashi K, Ishikawa T, Yamazaki M. Delayed granulocyte colony-stimulating factor treatment in rats attenuated mechanical allodynia induced by chronic constriction injury of the sciatic nerve. *Spine (Phila Pa 1976).* 39(3): 192-197, 2014.
5. Inada T, Takahashi H, Yamazaki M, Okawa

F. 研究発表

論文発表

1. Kawaguchi Y, Matsumoto M, Iwasaki M, Izumi T, Okawa A, Matsunaga S, Chiba K, Tsuji T, Yamazaki M, Fujimori T, Yoshii T, Toyama Y. New classification system

A, Sakuma T, Kato K, Hashimoto M, Hayashi K, Furuya T, Fujiyoshi T, Kawabe J, Mannoji C, Miyashita T, Kadota R, Someya Y, Ikeda O, Hashimoto M, Suda K, Kajino T, Ueda H, Ito Y, Ueta T, Hanaoka H, Takahashi K, Koda M. Multicenter prospective non-randomized controlled clinical trial to prove neurotherapeutic effects of granulocyte colony-stimulating factor for acute spinal cord injury: analyses of follow-up cases after at least 1 year. Spine (Phila Pa 1976). 39(3): 213-219, 2014.

6. 橋本光宏, 山崎正志, 望月真人, 山縣正庸, 池田義和, 中島文毅, 高橋和久. 頸髄症に対する頸椎長範囲前方除圧固定術の10年以上の長期成績. J Spine Res 5(2): 162-165, 2014.

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

該当なし

2. 実用新案登録

該当なし

3. その他

該当なし