

分担研究報告書

脊柱靱帯骨化症に伴う上肢および下肢麻痺に対する HAL を用いた機能回復治療

分担研究者：筑波大学医学医療系整形外科教授 山崎正志<sup>1) 3)</sup>

研究協力者：藤井賢吾<sup>1)</sup>、安部哲哉<sup>1)</sup>、久保田茂希<sup>1)</sup>、門根秀樹<sup>2)3)</sup>、山海嘉之<sup>2)</sup>

- 1) 筑波大学医学医療系整形外科
- 2) 筑波大学大学院サイバニクス研究センター
- 3) 筑波大学附属病院未来医工融合研究センター

【研究要旨】術前に歩行困難であった胸椎後縦靱帯骨化症(OPLL)に対する後方除圧固定術後の4例(症例1-4)、脊髄症術後のフォローアップ経過にて徐々に歩行障害が増悪し、画像上脊髄圧迫所見を認めず脊髄萎縮および脊髄変性を歩行増悪の主因と診断した4例(症例5-8)および頸椎術後にC5麻痺を発症した3例4肢(症例9-11)に対して、Hybrid Assistive Limb (HAL)を用いた機能回復治療を導入した。胸椎OPLLの症例では通常のリハビリテーションに加えて、両下肢HALを用いた歩行訓練を1回60分、週2-3回行った。症例1-4において歩行速度と1分あたりの歩数は改善し、Walking index for SCI も著明に改善した。脊髄症術後慢性増悪症例に対しては、外来通院で週1回60分を計10回、両下肢HALを用いた歩行訓練を行った。全例で経時的な歩幅の改善とそれに伴う歩行速度の改善を認めた。C5麻痺症例に関しては、肘関節に対する単関節HALによる自動運動を行った。上腕二頭筋および三頭筋の表面筋電図は全例で検出可能であり、肘関節に対する単関節HALは全例で可能であった。本研究の結果から、胸椎OPLLの術後および脊髄症慢性増悪例に対するロボットスーツHALを用いた歩行訓練は、歩行能力の改善に有効であることが示唆された。また、頸椎術後にC5麻痺を呈した症例に対する単関節HALを用いた肘関節運動は安全に実行可能であった。

A. 研究目的

当院では昨年度より、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、胸椎

後縦靱帯骨化症(OPLL)で歩行困難な症例および脊髄症術後の慢性増悪症例に対して用いてきた。また、頸椎術後に両側C5麻痺を呈した症例に対して単関節HALを導入している。

本報告の目的はそれらの症例における効果および経過を検討することである。

## B. 研究方法

### 1. 対象

2014年から2015年の間に筑波大学附属病院で胸椎 OPLL に対する後方除圧固定術後にロボットスーツ HAL を用いた歩行訓練を行った4症例(症例1-4), 当院外来症例で脊髄症術後の慢性増悪による歩行障害に対して HAL を用いた歩行訓練を行った3症例(症例5-8) および頸椎術後に C5 麻痺を呈し肘関節訓練に HAL を用いた3例(症例9-11)である。

### 2. 検討項目

胸椎 OPLL の症例に関しては, 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付き歩行訓練器 (All-in-One Walking Trainer; Healthcare Lifting Specialist, Denmark) を用いた。1周28mの平地コースで HAL による歩行訓練を行った。1回の訓練は HAL の脱着と休憩時間を含めて60分とした。訓練の頻度に関しては、胸椎 OPLL 症例に対しては週2-3回、脊髄症慢性増悪症例に対しては週1回とし、理学療法士2名と医師1名の付き添いの元で最大10回実施した。

C5 麻痺症例に対しては, 肘関節に単関節 HAL を導入し, 上腕二頭筋および上腕三頭筋に電極を添付し生体電位を検出し, 肘関節の運動を行

った。頻度は週に2-3回、10回までとした。

評価項目は、胸椎 OPLL 症例および脊髄症慢性増悪症例に関しては、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 機能障害尺度 [5]、The walking index for SCI (WISCI ) [6]、発生した有害事象とした。

C5 麻痺症例に関しては、徒手筋力検査および発生した有害事象を評価した。

## C. 研究結果

1)胸椎 OPLL 症例のまとめを表1に示す。

全ての症例において WISCI は改善し、退院時に杖歩行可能まで歩行能力が回復した。また、10m 歩行テストにおける歩行速度、歩幅、歩行率は導入前後の比較で全ての症例で改善を認めた。有害事象は認めなかった。

2)脊髄症慢性増悪症例のまとめを表2に示す。

10m 歩行テストにおいて、症例によっては歩行率の改善は認めなかったものの、全例で歩幅の改善とそれに伴う歩行速度の改善を認めた。有害事象は認めなかった。

3)頸椎術後 C5 麻痺症例のまとめを表3に示す。

上腕二頭筋および上腕三頭筋からの生体電位の検出は全症例において可能で、肘関節 HAL は実行可能であった。

表 1 胸椎 OPLL 術後症例

	症例 1	症例 2	症例 3	症例 4
年齢・性別	40 代男性	60 代女性	60 代女性	50 代男性
責任レベル	T10/11	T4/5	T2/3	T2/3
手術	T8-L3 後方除圧固定術	T1-9 後方除圧固定術	C3-T6 後方除圧固定術	C3-T6 後方除圧固定術
術後 HAL 導入まで	25 日	44 日	12 日	41 日
術後退院まで	47 日	73 日	42 日	73 日
頸椎 JOA スコア (上肢を除く 11 点満点) 術前 退院時	1.5 5.5	5.5 6.5	5.5 6.5	4.0 4.0
WISCI 術前 退院時	13 16	13 19	8 13	13 19
10m 歩行テスト 歩行速度(m/分) HAL 導入時 終了時	21.1 53.7	16.0 31.8	5.9 46.6	21.6 50.7
10m 歩行テスト 歩幅(m/歩) HAL 導入時 終了時	0.48 0.60	0.22 0.24	0.30 0.47	0.33 0.43
10m 歩行テスト 歩行率(歩/分) HAL 導入時 終了時	43.9 89.6	43.8 77.9	19.5 100.1	65.9 116.6
有害事象	なし	なし	なし	なし
特記事項		術後一過性 麻痺増悪あり		術後一過性 麻痺増悪あり

表 2 脊髄症慢性増悪症例

	症例 5	症例 6	症例 7	症例 8
年齢・性別	70 代男性	70 代男性	50 代男性	60 代女性
疾患	胸椎黄色靭帯骨化症	頸椎後縦靭帯骨化症	頸椎不全損傷	頸椎後縦靭帯骨化症
手術	椎弓切除術	椎弓切除術	椎弓切除術	頸椎前方除圧固定術
術後期間	18 年	6 年	5 年	14 年
10m 歩行テスト 歩行速度(m/分) HAL 導入時 終了時	37.4 53.0	42.1 47.0	63.2 66.7	22.5 43.7
10m 歩行テスト 歩幅(m/歩) HAL 導入時 終了時	0.35 0.49	0.43 0.45	0.51 0.59	0.36 0.57
10m 歩行テスト 歩行率(歩/分) HAL 導入時 終了時	106.6 108.6	105.2 103.3	123.3 113.5	61.9 83.0
有害事象	なし	なし	なし	なし

表3 頸椎術後 C5 麻痺症例

	症例 9 (左)	症例 9 (右)	症例 10	症例 11
年齢・性別	60 代男性		60 代男性	70 代男性
疾患	頸椎後縦靭帯骨化症		頸椎後縦靭帯骨化症	頸椎転移性椎体腫瘍
手術	頸椎後方除圧固定術		頸椎前方除圧固定術 頸椎後方固定術	後頭骨頸椎 後方除圧固定術
C5 麻痺発生 (術後期間)	2 日	2 日	2 週	2 日
徒手筋力検査 HAL 導入時 終了時	Deltoid 2 2 Biceps 3 3	Deltoid 2 2 Biceps 2 2	Deltoid 2 2 Biceps 2 2	Deltoid 2 2 Biceps 2 2
HAL 導入 (術後期間)	36 日	15 日	34 日	7 日
術後退院までの期間	63 日		60 日	24 日
有害事象	なし	なし	なし	なし

D. 考察

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側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]。

HAL の急性期・亜急性期への導入や、脊椎術後早期への導入の報告はまだ少ない [7-8]。我々の施設では安全性と実施可能性を検証する目的で臨床研究を行っており、脊髄症に対する術後可及的早期より積極的に HAL を導入するようにしている。

Sakakima ら [8] は、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。我々の 4 症例との違いは、Sakakima らの症例で麻痺および歩行障害の程度がより重度であった

こと、我々の経験した症例の方がより早期の導入でありかつ訓練回数が少なかったこと、我々の経験した症例のうち 2 例は術後の早期離床により麻痺の増悪を認め 3 週間の症状安静を要する経過であったことの 3 点である。我々の経験からも、HAL による歩行訓練は実施可能であり、歩行機能を改善する可能性があることが示された。

脊髄症の慢性増悪例においても、10 回の HAL 訓練前後で歩行速度の改善を認めたことは新しい知見であり、今後さらなる症例の積み重ねにより、検討を行いたい。

HAL による効果に関して、我々は以下の仮説を立てている。第一に、本人の随意動作が増幅され補助されることによって生じる感覚フィードバックが中枢神経系および末梢神経系に作用することで、中枢神経の可塑性によって機能回復が得られた可能性があると考えている。Barbeau ら [9] は Locomotor training における足底接地や体幹保持動作といった求心性の感覚入力が機能回復に重要であると述べている。

また、Belda-Lois ら [10] はロボットを用いたニューロリハビリテーションの分野における運動学習の重要性について述べており、これらは HAL におけるフィードバックによっても起きうると考えている。第二として、ロボットを訓練に用いることで安全かつ十分な訓練量を確保することが可能になることがあげられる。また、理学療法士および介助者における介助負担量も減少すると考えられる。All-in one Walking Trainer と組み合わせて用いることで、より安全に歩行訓練を行うことが可能になったと考えている。

胸椎 OPLL は術後の動的要素によっても麻痺が発生する危険性があり、症例 2, 4 においては術後に両下肢麻痺の増悪で 3 週間の安静臥床を要した。再離床後に HAL による歩行訓練を約 1 か月行ったが、2 例とも最終的に杖歩行で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 を用いた歩行訓練を導入することが、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。

C5 麻痺に関しては、その原因にも諸説あり現時点で定説はないが、我々は髄節レベルの障害と神経根障害の両方に原因があると考えている [11-12]。またその治療法についても有効な報告はない。HAL を用いることで自然経過より早い回復が得られる可能性に着目した。今回の検討では単関節 HAL を安全に行えることが確認できたので、今後症例を積み重ねてその効果について検討したいと考えている。

## E. 結論

重度胸椎 OPLL の術後および脊髄症慢性増悪例に対するロボットスーツ HAL を用いた歩行訓練は、歩行能力の改善に有効であることが示唆された。また、頸椎術後に C5 麻痺を呈した症例に対する肘関節に対する単関節 HAL は安全に実行可能であった。

## 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. Piepmeier 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. Cruciger O, Tegenthoff M, Schwenkreis P, Schildhauer T et al. Locomotion training using voluntary driven exoskeleton (HAL) in acute incomplete SCI. *Neurology*. 2014;83(5):474-4.
8. 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.
9. Barbeau H. Locomotor training in neurorehabilitation: emerging rehabilitation concepts. *Neurorehabil Neural Repair*. 2003;17(1):3-11.
10. Belda-Lois M, Horno D, Bermejo-Bosch I, Moreno C, Pons L, Farina D, et al. Rehabilitation of gait after stroke: a review towards a top-down approach. *J Neuroeng Rehabil*. BioMed Central Ltd;

2011 Dec 13;8(1):66.

11. Imagama S, Matsuyama Y, Yukawa Y et al: C5 palsy after cervical laminoplasty; a multicenter study. *J Bone Joint Surg*. 2010; 92-B:393-400
12. Hashimoto M, Mochizuki M, Yamazaki M et al: C5 palsy following anterior decompression and spinal fusion for cervical degenerative diseases. *Eur Spine J*. 2010; 19(10):1702-10

#### F. 研究発表

##### 論文発表

1. Maki S, Koda M, Ota M, Oikawa Y, Kamiya K, Inada T, Furuya T, Takahashi K, Masuda Y, Matsumoto K, Kojima M, Obata T, Yamazaki M. Reduced Field-of-View Diffusion Tensor Imaging of the Spinal Cord Shows Motor Dysfunction of the Lower Extremities in Patients with Cervical Compression Myelopathy. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015 Aug 13. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 26274528.
2. Koda M, Mannoji C, Inada T, Kamiya K, Ota M, Maki S, Takahashi K, Yamazaki M, Aramomi M, Ikeda O, Furuya T. Neurological deterioration induced by sitting in patients after cervicothoracic posterior decompression with instrumented fusion

- surgery for ossification of the longitudinal ligament: two cases reports. BMC Res Notes. 8: 133, 2015.
3. Koda M, Furuya T, Okawa A, Aramomi M, Inada T, Kamiya K, Ota M, Maki S, Ikeda O, Takahashi K, Mannoji C, Yamazaki M. Bone union and remodelling of the non-ossified segment in thoracic ossification of the posterior longitudinal ligament after posterior decompression and fusion surgery. Eur Spine J. 2015 Mar 26. [Epub ahead of print]
  4. 門田 領, 望月 真人, 相庭 温臣, 国府田 正雄, 山崎 正志. 長範囲 Hybrid 頸椎前方固定術の ACDF 椎間に使用した自家骨と PEEK ケージの差の検討. J Spine Res 6(7): 1119-1122, 2015
  5. 新朮 正明, 石川 哲大, 萬納寺 誓人, 國
  6. 府田 正雄, 古矢 丈雄, 山崎 正志. 頸椎前方椎弓根螺子固定術の実際. 整形・災害外科 58(4): 401-408
  7. 山崎正志 . 難治性脊椎疾患に対する治療 : 最近の診断・治療の進歩と脊髄再生の臨床試験 . 日整会誌 89(4): 236-246, 2015.
  8. 山崎正志 . 治療 . 頸椎症性脊髄症診療ガイドライン , 日本整形外科学会診療ガイドライン委員会 , 頸椎症性脊髄症ガイドライン策定委員会編 , 南江堂 , 東京 , pp49-76, 2015.
  9. 山崎 正志 . ロコモティブシンドロームを構成する疾患 脊椎疾患 頸椎椎間板ヘルニア . 日本医師会雑誌 144(1): S157-S159, 2015
- 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