

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：32692

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24500659

研究課題名(和文) ロボットスーツHALを用いたリハビリテーションプロトコルの開発と有効性に関する検討

研究課題名(英文) Study on the development of rehabilitation protocol with robot suit HAL

## 研究代表者

河西 理恵 (KASAI, Rie)

東京工科大学・医療保健学部・講師

研究者番号：60458255

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：ロボットスーツHAL(HAL)が脳卒中片麻痺患者の立ち上がり動作、及び立位姿勢の改善に与える効果について、加速度計と筋電図を用いて検証した。加速度計にて立ち上がり動作中の体幹の平均前傾角度を分析した結果、HAL非装着時の35°から43°と8度の改善を示した。また、麻痺側内側広筋の積分筋電図についても、HAL非装着時の100%に対し、立ち上がり動作で88.6%、立位保持で66.3%に減少した。これらの結果は、HALが脳卒中片麻痺患者の立ち上がり動作および立位姿勢の改善に有効であることを示唆するものと言える。

研究成果の概要(英文)：The Hybrid Assistive Limb (HAL) robot suit is a powered exoskeleton that can assist a user's lower limb movement. The purpose of this study was to assess the effectiveness of HAL in stroke rehabilitation, focusing on the change of the sit-to-stand (STS) movement and standing pattern. Five stroke patients participated in this study. Single leg HAL was attached to each subject's paretic lower limb. Forward-tilt angle (FTA) was measured with and without HAL use. Surface electromyography (EMG) of STS was recorded to assess the vastus medialis muscle activities of the paretic limb. The average FTA without HAL use was 35° and it improved to 43° with HAL use. The integrated EMGs of HAL use compared to those without HAL, were 83.6% for STS and 66.3% and standing. Therefore, HAL may be effective in improving STS and standing patterns of stroke patients.

研究分野：ロボトリハビリテーション

キーワード：ロボトリハビリテーション HAL 立ち上がり動作 加速度計 筋電図 脳卒中リハビリテーション

1. 研究開始当初の背景

我が国の要介護高齢者は2025年に300万人を越えると言われている。高齢者リハビリテーションの基本理念は高齢者の自立支援だが、それを阻む要因の一つが運動器障害である。ロボットスーツ HAL (Hybrid Assistive Limb; 以下: HAL) は人の意思を反映した運動支援を行うロボットである。研究開始当初より、こうしたロボット技術のリハビリテーション分野への活用に大きな期待が寄せられ、HALへの関心の高さが伺えた。

高齢者が自立した生活を送るには、歩行や立ち上がり等の基本動作の自立が極めて重要である。特に立ち上がり動作は、寝たきりや介護施設への入居要因とも関連が深く<sup>1-2)</sup>、高齢者のADL自立にとって不可欠な動作と考えられている。

HALはわずかな筋収縮(生体電位)を感知し、随意運動をアシストする機能を持つ<sup>3)</sup>。よって、こうした機能を脳卒中患者や筋活動の弱い高齢者に応用することで、立ち上がり動作の改善に寄与する可能性が高いと考えた。

また、今後爆発的な増加が見込まれる高齢者に対し、身体機能の維持・予防を中心とするリハビリテーションサービスを提供するためには、より多くの人手が必要である。リハビリテーション分野におけるロボット技術の活用は、こうしたマンパワー不足の問題解決にも一役買い、さらに、HALは人の経験値による影響をさほど受けないため、標準的なリハビリテーションプログラムの実施に適していると考えた。以上が本研究に着手した主な背景である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、脳卒中患者の立ち上がり動作の改善に対するHALの有効性について、加速度計および筋電図を用いて検証することである。

3. 研究の方法

(1) 対象

対象はHAL装着下での立ち上がり動作や歩行が可能な、発症から3ヵ月以内の脳卒中患者5名であった(表1)。本研究は東京工科大学倫理委員会の承認(承認番号E12HS-015)を得た後、対象者に事前に研究内容を説明し、文書にて同意を得て実施した。

表1. 対象者の属性

Subject	Gender (M/F)	Age (years)	Paretic lower limb	Brs	Orthosis	Need upper limb support
A	M	52	Rt	III	-	yes
B	F	67	Rt	IV	AFO	yes
C	F	76	Lt	IV	AFO	yes
D	M	28	Rt	IV	AFO	no
E	M	84	Lt	IV	-	no

(2) 方法

対象は全て脳卒中片麻痺患者であったため、単脚用HAL(重量約10kg)を用いた。始めにHALの安全講習を受けた理学療法士が患者の動作を評価し、HALを患者の体格に合わせる調整やアシストレベルの決定を行った。アシストレベルは全対象者がminimal~lowであった。次に、対象者にHALを装着し、HAL装着下での動作に慣れることを目的に、立ち上がり動作や歩行を含む約30分の動作練習を行った。

測定には高さ45cmの椅子を用いた。まず、HAL非装着時の立ち上がり動作を3回測定し、その後HAL装着下で同様の測定を行った。なお、患者が普段通りの動作を行えるよう、必要に応じて装具や手すりの使用を許可し、動作速度もフリーとした。また、安全面を配慮し測定中は理学療法士が至近距離で見守りを行った。

(3) 分析

分析には3軸加速度計を内蔵した小型筋電計(ロジカルプロダクト社製EMG Logger LP-MS1002)を用いた。加速度計の分析方法を以下に示す。腰部や骨盤帯への加速度計の固定は、HALが当たってしまい困難であったことから、第7頸椎棘突起に加速度計を固定した。ヒトの頸椎は前弯しているため、加速度計を重力と平行に固定できない。よって、この角度を初期角( )とした(図1)。立ち上がり動作中の矢状面の動画をビデオカメラで30f/sで撮影し、同期ソフト(Pixel Gate社製、Pixel Runner G)を用いて加速度データと同期させた。動画と加速度の時系列データから、立ち上がり動作開始、最大前傾、動作完了のタイミングを特定した。最大前傾時の角度から初期角を引いたものを前傾角(以下: FTA 図2)とし、以下の式から角度を求め、HAL装着の有無で比較した。

$$a = \cos^{-1}V$$

a: C7前傾角 V: 加速度計の出力電圧

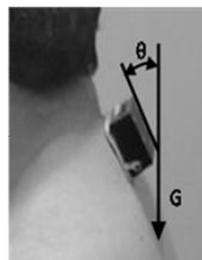


図1. 3軸加速度計の固定位置と初期角

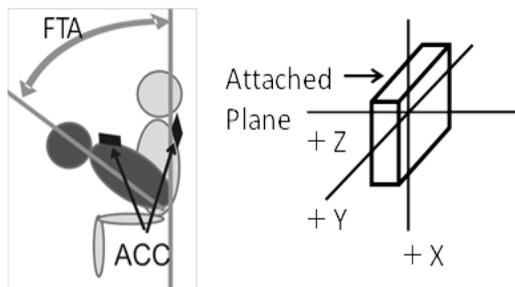


図 2. 加速度計による FTA の測定方法

また、動画と加速度データから立ち上がり動作を以下の 2 相に分け（第 1 相：頭部前傾開始～離殿、第 2 相：股・膝関節伸展開始～動作完了）HAL 装着の有無における立ち上がり動作の所用時間を比較した。

HAL の筋活動に対する影響を検討するため、表面筋電図を測定した。筋電計は 3 軸加速度計内蔵の 2 チャンネル筋電計（ロジカルプロダクト社製 EMG Logger LP-MS1002、電池重量を含み約 35 g）を用いた。HAL の作動に麻痺側大腿直筋、外側広筋、大腿二頭筋に電極を貼付する必要があったため、麻痺側の内側広筋を導出筋とし、立ち上がりおよび立位動作における HAL 装着時と非装着時の積分筋電図を比較した。なお、脳卒中患者では麻痺側の最大随意性収縮 (MVC) を測定することは困難なため、%MVC の代わりに HAL 非装着時の積分筋電図の値を 100% とし、HAL 装着時と比較した。筋電図は 0.03 s の時定数で低域遮断を行い、442Hz の高域遮断フィルタを通した後に全波整流し、立ち上がり要した時間で正規化した。

なお、3 軸加速度計の仕様は測定周波数範囲 DC～5Hz、測定範囲±4G、AD 変換 12bit、サンプリング周波数 50Hz であった。筋電図の仕様は周波数範囲 19.2Hz～442Hz のバターワースフィルタを用い、増幅率 500 倍、サンプリング周波数は 1KHz であった。

#### 4. 研究成果

HAL 装着により 5 人中 4 名の FTA が改善した（表 2）。HAL 非装着時の平均 FTA 35° に対し、HAL 装着時の平均 FTA は 43° と 8° の改善を示した。HAL 装着による動作時間の変化については、HAL 非装着時の平均立ち上がり時間が 3.42 秒であったのに対し、HAL 装着により 5.11 秒と増加し、HAL により動作時間が延長することが示された（表 3）。また、麻痺側内側広筋の平均積分筋電図は、HAL 非装着時を 100% とした場合に、立ち上がり動作で 83.6%、立位保持で 66.3% といずれも減少した（表 4）。

表 2. HAL 装着の有無による FTA の比較

Subject	Without HAL	With HAL
A	26.4	37.3
B	25.7	34.0
C	29.5	45.9
D	48.0	44.1
E	44.8	52.6

FTA：前傾角

表 3. HAL 装着の有無による立ち上がり動作時間の比較

Subject	Phase	Without HAL	With HAL
A	P1	0.59	1.24
	P2	1.47	2.57
	total time	2.05	3.81
B	P1	0.99	1.74
	P2	1.65	2.18
	total time	2.64	3.92
C	P1	1.53	2.04
	P2	2.55	3.69
	total time	4.08	5.73
D	P1	0.87	0.71
	P2	1.49	2.19
	total time	2.37	2.90
E	P1	2.58	3.54
	P2	3.41	5.64
	total time	6.00	9.18

P1: 第 1 相. P2: 第 2 相

表 4. 立ち上がりと立位時の平均積分筋電図(%)

Subject	STS	Standing
A	144.0	54.5
B	54.5	31.3
C	87.3	76.9
D	59.6	109.8
E	72.5	58.8
Average	83.6	66.3

数値は HAL 装着時の積分値を HAL 非装着時の積分値で除した値を示す。

以上の結果から、HAL は脳卒中片麻痺患者の立ち上がり動作および立位姿勢の改善に有効である可能性が示唆された。特に立ち上がり動作に不可欠な体幹前傾が困難なケースでは、HAL が適切なタイミングで股関節の屈曲をアシストすることで、重心の前方移動が可能となり効率の良い立ち上がり動作が可能になることが推察できた。一般的に脳卒中片麻痺患者は、股関節の可動制限やバランス不良等により体幹が十分に前傾できないケースが多いが、同様のことはパーキンソン患者等にも当てはまるため、今後は対象を拡げて検討していきたい。

また、麻痺側内側広筋の積分筋電図の減少は、HAL のアシストにより効率の良い動作が行われたことに加え、痙性等の余計な筋活動

が抑制された可能性もあり更なる検証が必要である。

最後に、本研究の限界として対象者数が少ないため、統計学的分析ができなかったことが挙げられる。また、今回の研究から HAL の装着に時間がかかりすぎる事がリハビリテーションの現場で HAL を使用する際の大きな障壁となっていることがわかった。今回 HAL を所有する一般の臨床施設に協力を依頼したが、HAL の装着に 40 分程の時間がかかり、さらに通常のリハビリテーション以上に多くの人手がかかってしまった。手間や人手がかかるものは忙しい臨床現場では受け入れにくい。将来、ロボットリハビリテーションを展開していくうえで、患者や現場スタッフにとって使いやすく、受け入れやすいロボットの開発が課題である。

#### 引用文献

- 1) Yoshida K, Iwakura H, Inoue F: Motion analysis in the movements of standing up from and sitting down on a chair. Scand J Rehabil Med. 1983, 15: 133-140.
- 2) Tinetti ME, Speechley M, Ginter SF: Risk factors for falls among elderly persons living in the community. N England J Med. 1988, 319: 1701-1707.
- 3) 山海 嘉之人体装着型ロボットスーツ HAL. 日本機械学会 No9-17. 第 14 回動力エネルギー技術シンポジウム講演論文集: pp3,2009.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

1. Rie Kasai, Sunao Takeda. The effect of a Hybrid Assistive Limb® on Sit-to-stand and Standing patterns of Stroke Patients. Journal of Japanese Physical Therapy Science. 査読有, vol28, 2016.T1-T5.

[学会発表](計 4 件)

1. Rie Kasai, Hitoshi Kawasaki, Hiroto Kamikura, Ryota Yamanaka, Masaru Ueno, Shunsuke Yoshida, Koichi Ohnaka, Sunao Takeda. Study on Movement Assistance with Robot Suit HAL. World Confederation of Physical Therapy Congress (WCPT). 2015/05/04. Singapore.
2. 河西 理恵, 武田 朴, 山口 凌. 脳卒中患者を対象としたロボットスーツ HAL の動作支援効果に関する研究. 第 49 回日本理学療法学会大会. 2014/05/30, パシ

フィコ横浜. 神奈川県横浜市.

3. Rie Kasai, Hitoshi Kawasaki, Hiroto Kamikura, Ryota Yamanaka, Masaru Ueno, Shunsuke Yoshida, Koichi Ohnaka, Sunao Takeda. Study on Movement Assistance with Robot Suit HAL. The 15<sup>th</sup> International Conference on Biomedical Engineering (ICBME). 2013/12/04. Singapore.
4. 河西 理恵, 川崎 仁史, 上倉 洋人, 山中 亮太, 上野 優, 吉田 峻祐, 大仲 功一, 武田 朴. ロボットスーツ HAL による動作支援効果に関する研究. 生体医工学シンポジウム 2013. 2013/09/20. 九州大学. 福岡県福岡市.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

河西 理恵 (KASAI, Rie)  
東京工科大学・医療保健学部・講師  
研究者番号: 60458255

##### (2) 研究分担者

武田 朴 (TAKEDA, Sunao)  
早稲田大学・理工学術院・招聘研究員  
研究者番号: 40583993

水島 岩徳 (MIZUSHIMA, Iwanori)  
東京工科大学・医療保健学部・助教  
研究者番号: 20590988  
H26.7.8 削除

武藤 友和 (MUTO, Tomokazu)  
東京工科大学・医療保健学部・助教  
研究者番号: 50583986  
H26.7.8 削除

木村 裕一 (KIMURA, Yuichi)  
近畿大学・生物理工学部・教授  
研究者番号: 60205002

縄井 清志 (NAWAI, Kiyoshi)  
つくば国際大学・保健医療学部・教授  
研究者番号: 50458254  
H25,3,29 追加