

労災疾病臨床研究事業費補助金

腰痛予防対策指針策定に向けた重量物取り扱い、介護・看護作業における
装着型ロボットの腰部負担軽減効果および作業省力化に関する研究

平成29年度 総括研究報告書

研究代表者 安部 哲哉

平成30（2018）年 3月

研究報告書目次

目 次

I. 総括研究報告

- 腰痛予防対策指針策定に向けた重量物取り扱い，介護・看護作業における装着型ロボットの
腰部負担軽減効果および作業省力化に関する研究 ----- 1
研究代表者 安部哲哉

II. 分担研究報告

1. 患者移乗動作に対するHAL腰タイプ®支援に関する研究 ----- 9
分担研究者 清水 如代、羽田 康司
(資料1)
2. 重量物挙上動作に対するHAL腰タイプ®支援に関する研究 ----- 15
分担研究者 三浦 紘世、河本 浩明
(資料2)
3. 重量物挙上動作に対するHAL腰タイプ®支援に関する電気生理学的解析の研究 ----- 20
分担研究者 門根 秀樹、久保田茂希
(資料3)
4. バイオマーカー解析や疾患群に対するHAL腰タイプ®支援の評価に向けた新たなプロト
コルに関する研究 ----- 27
分担研究者 國府田正雄、山崎 正志
(資料4)
5. 重量物取り扱い動作に対するHAL腰タイプ®支援に関するバイオマーカー解析の研究 ----- 32
分担研究者 丸島愛樹、松村 明
(資料5)

III. 研究成果の刊行に関する一覧表 ----- 37

腰痛予防対策指針策定に向けた重量物取り扱い、介護・看護作業
における装着型ロボットの腰部負荷軽減効果および作業省力化
に関する研究

研究代表者
安部哲哉 筑波大学医学医療系 整形外科 講師

研究要旨

平成 29 年度は、患者以上動作に関するロボットスーツ HAL®腰タイプの安全性と実行可能性を、約 60kg のダミー人形を介助者 1 人で抱え上げる動作で検証した（資料 1：分担研究者 清水如代、羽田康司）。有害事象の発生はなく、HAL®腰タイプ支援による実施によって腰部疲労度 VAS は平均 6.1 から 4.2 に有意な低下を認め、単回動作の患者移乗動作課題においても腰部負荷軽減効果があることが明らかとなった。

重量物挙上動作に対する HAL®腰タイプ支援に関する単群前後比較試験では、有害事象の発生はなく、重量物反復挙上動作における HAL®腰タイプ支援で 25%の腰部負荷軽減と 1.4 倍の作業能力の向上効果が得られること明らかとなった（資料 2：分担研究者 三浦紘世、河本浩明）。また、重量物挙上動作に対する HAL®腰タイプ支援に関する電気生理学的解析では、HAL®腰タイプの装着は挙上動作と降下動作のいずれにも腰部負荷軽減の効果を示すことが電気生理学的に明らかとなった（資料 3：分担研究者 門根秀樹 久保田茂希）。

バイオマーカー解析や疾患群に対する HAL®腰タイプ支援の評価に向けた新たなプロトコルに関する研究では、約 6kg のペットボトルが梱包された持ち手付きダンボールを重量物とし、体幹・股関節・膝関節を同時に伸展して挙上する Squat 法による 1 分 15 回の一定のペースで 3 分間の重量物挙上動作は、安全に実施可能であった（資料 4：分担研究者 國府田正雄、山崎正志）。今後 20 歳から 65 歳未満の運動器不安定症と診断される疾患群に対する本プロトコルの安全性を検証し、さらに HAL®腰タイプ支援による腰部負荷の軽減効果や腰痛の治療効果を明らかにしていくことができると考えた。

重量物取り扱い動作に対する HAL®腰タイプ支援に関するバイオマーカー解析の研究では、静脈血採血を行い、血清 CK、乳酸、酸化ストレス度 d-ROMs、抗酸化力 BAP、相対的ストレス値 OSI を計測した。結果は、HAL®腰タイプ支援なし、支援あり共に運動課題直後に CK、酸化ストレスは増加しており、疲労度の評価として有用であった。HAL®腰タイプ支援による疲労度の減少はバイオマーカーでは明らかではなかった（資料 5 丸島愛樹、松村 明）。

重量物挙上動作における実験の安全性検証および探索的研究の結果からは、装着型ロボット HAL®腰タイプ支援による作業省力化や腰部負荷軽減効果を電気生理学的にも評価できた。また今後さらにバイオマーカー解析や疾患群に対する HAL®腰タイプ支援の有効性を検証するための新たなプロトコルを確立できた。

当報告書では、腰痛予防対策指針策定に向けた重量物取り扱い、介護・看護作業における装着型ロボットの腰部負荷軽減効果および作業省力化に関する平成 29 年度の研究実施内容と結果の概要を報告し、その他の詳細は研究分担者の報告書（資料 1-5）を参照とする。

A. 研究目的

本研究では、労災に伴う腰痛による社会的損失を防ぐ更なる一手として、腰痛予防対策指針に「装着型ロボットの利用」という新項目を加

えることを目標とし、まず始めに装着型ロボットの腰部負担軽減効果を客観的に評価できる手法で検証することを目的とした。

我々は昨年度から現在までに健常ボランティアにおける重量物挙上反復動作課題で、HAL®腰タイプ支援による動作効率の向上や腰部疲労度の軽減といった効果を明らかにした。また、腰部への負荷が非常に大きな雪かき反復動作課題においても、HAL®腰タイプ装着によって腰部疲労度の軽減と作業効率向上が得られることを報告した。

今年度も HAL®腰タイプ支援の有効性を明らかにすることも目標とし、研究を進めてきたので報告する。

【研究デザイン】

- A. H28 年度：フィジビリティスタディ・安全性検証試験
- B. H29 年度：有効性に関する探索的研究（単群前後比較試験）
- C. H30 年度：有効性に関する検証的研究（並行群間試験）

B. 研究方法

【「重量物取り扱い、看護・介護作業」に関する実行可能性と安全性の検証および有効性に関する探索的研究】

1. 対象

腰痛のない 25 歳から 45 歳までの健康成人男性を対象とした。また、安全性検証の観点から、治療中の循環器呼吸器疾患や脊椎関節手術歴がないこと、筋骨格系に障害のないことを条件とした。

2. 検討項目

以下の 3 つを動作課題とした。

- 1. 重量物挙上動作に対する研究
- 2. ショベリング除雪反復動作に対する研究
- 3. 患者移乗動作に対する研究

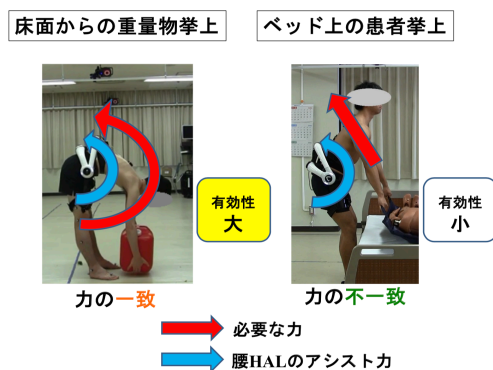
本年度は 3 について研究を実施した。

1. 患者移乗動作に関する安全性試験（プロトコル A-3）

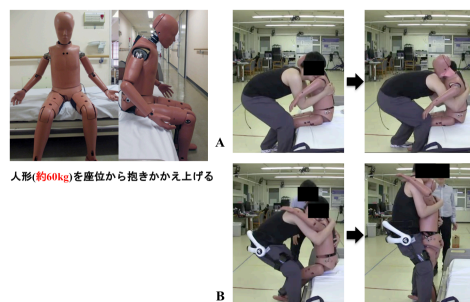
われわれは当初、ベッド上で仰臥位となった模擬患者（60kg のダミー人形）を乗せたトランスファーマットレスを介護者 2 人で挙上することを運動課題とし、HAL 腰タイプ装着による効果を検証しようと試みた（右上図）。



しかし、体幹の十分な屈曲から伸展動作のない本課題では HAL®腰タイプが有効に作用しないことが明らかとなった（下図）。



そこでわれわれは、約 60kg のダミー人形を完全頸椎損傷患者のモデルとして、介助者 1 名がベッド上で坐位の患者を抱え上げる動作を運動課題に変更した（下図）。



HAL腰タイプを用いた介助移乗動作

2. 重量物挙上反復動作に関する単群前後比較試験（プロトコル B-1）

重量物挙上動作に対する研究では、12kg のペットボトルを梱包した持ち手付き段ボールを床

我々は昨年度から現在までに健常ボランティアにおける重量物挙上反復動作課題で、HAL®腰タイプ支援による動作効率の向上や腰部疲労度の軽減といった効果を明らかにした。また、腰部への負荷が非常に大きな雪かき反復動作課題においても、HAL®腰タイプ装着によって腰部疲労度の軽減と作業効率向上が得られることを報告した。

今年度も HAL®腰タイプ支援の有効性を明らかにすることも目標とし、研究を進めてきたので報告する。

【研究デザイン】

- A. H28 年度：フィジビリティスタディ・安全性検証試験
- B. H29 年度：有効性に関する探索的研究（単群前後比較試験）
- C. H30 年度：有効性に関する検証的研究（並行群間試験）

B. 研究方法

【「重量物取り扱い、看護・介護作業」に関する実行可能性と安全性の検証および有効性に関する探索的研究】

1. 対象

腰痛のない 25 歳から 45 歳までの健康成人男性を対象とした。また、安全性検証の観点から、治療中の循環器呼吸器疾患や脊椎関節手術歴がないこと、筋骨格系に障害のないことを条件とした。

2. 検討項目

以下の 3 つを動作課題とした。

- 1. 重量物挙上動作に対する研究
- 2. ショベリング除雪反復動作に対する研究
- 3. 患者移乗動作に対する研究

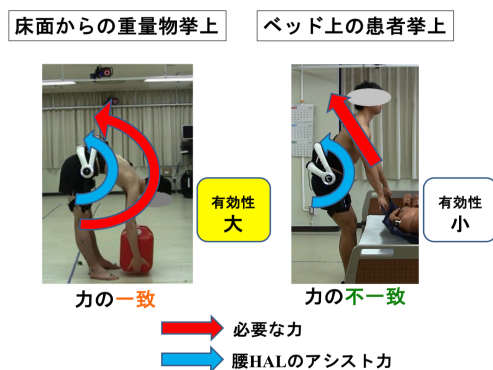
本年度は 3 について研究を実施した。

1. 患者移乗動作に関する安全性試験（プロトコル A-3）

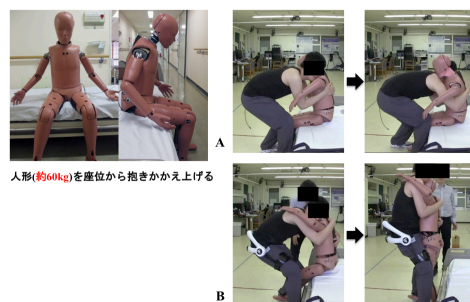
われわれは当初、ベッド上で仰臥位となった模擬患者（60kg のダミー人形）を乗せたトランスファーマットレスを介護者 2 人で挙上することを運動課題とし、HAL 腰タイプ装着による効果を検証しようと試みた（右上図）。



しかし、体幹の十分な屈曲から伸展動作のない本課題では HAL®腰タイプが有効に作用しないことが明らかとなった（下図）。



そこでわれわれは、約 60kg のダミー人形を完全頸椎損傷患者のモデルとして、介助者 1 名がベッド上で坐位の患者を抱え上げる動作を運動課題に変更した（下図）。



HAL腰タイプを用いた介助移乗動作

2. 重量物挙上反復動作に関する単群前後比較試験（プロトコル B-1）

重量物挙上動作に対する研究では、12kg のペットボトルを梱包した持ち手付き段ボールを床

から体幹伸展位となるまで挙上して、床に置くことを一定の速度で繰り返す作業の実験を行った。挙上動作にはStoop lifting法を用い、動作中肘関節は伸展位を保持した。一連の作業を昨年に引き続き新たに9症例に対してHAL®腰タイプ非装着下で行った後、5分間の休憩後に装着下で行った（下図）。



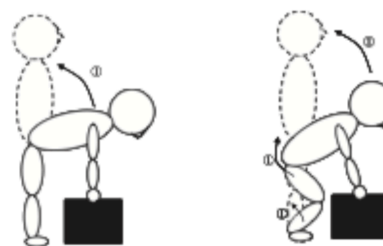
重量物反復挙上動作

副次評価項目の生理学的評価は、重量物挙上において主要な役割を果たすと考えられる両側上腕二頭筋、広背筋、腰部脊柱起立筋、大殿筋、大腿四頭筋の作業中の筋電位を無線表面筋電計（Delsys 社 Tringo Lab, USA）で検出し、評価した。また、光学式三次元動作分析装置（VICON 社 MX system, UK）を用いて、体幹・股関節の角度を算出し、筋電計 Delsys と連動するプログラムを用いて、作業動作を挙上期と非挙上期の4区間に分け、それぞれの区間の平均積分筋電図を算出した。

3. バイオマーカー解析や疾患群に対する HAL®腰タイプ支援の評価に向けた新たなプロトコルに関する研究

重量物挙上動作は、体幹・股関節・膝関節を同時に伸展して挙上する Squat 法とし、重量物は約 6kg のペットボトルが梱包された持ち手付きダンボールとした。

メトロノームを使用し、1分15回の一定のペースで、床に置かれた重量物を立位姿勢から肘関節は完全伸展で、Squat 法の挙上を開始してもらい、体幹が完全伸展となるまで挙上を行った後、床に置く動作までを一連とする挙上動作を、3分間（180秒）実施してもらうことを課題とした。



Stoop lifting法:

体幹伸展のみで重量物を挙上する方法

Squat法:

体幹・股関節・膝関節を同時に伸展させ重量物を挙上する方法

一連の動作課題を HAL®腰タイプ非支援下で行ってもらった後に、5分間の休憩で血圧ならびに脈拍が試験前の状態に回復したことを確認してから、HAL®腰タイプ支援下を実施した。

主評価項目は、腰部疲労度 VAS (Visual analogue scale) と有害事象とした。

4. 重量物取り扱い動作に対する HAL®腰タイプ支援に関するバイオマーカー解析の研究

重量物挙上動作は、準備動作で膝関節を屈曲させず、体幹のみ伸展して挙上する stoop lifting 法とし、重量物は約 12kg のペットボトルが梱包された持ち手付きダンボールとした。

メトロノームを使用し、1分15回の一定のペースで、床に置かれた重量物を立位姿勢から肘関節は完全伸展で stoop lifting 法の挙上を開始してもらい、体幹が完全伸展となるまで挙上を行った後、床に置く動作までを一連とする挙上動作を、自覚的疲労度の限界まで実施してもらうことを運動課題とした。

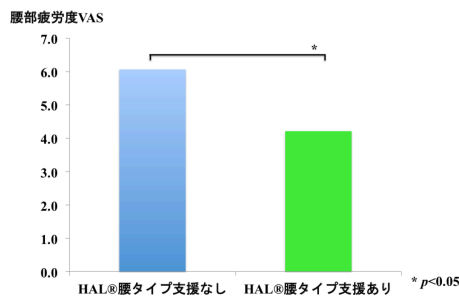
血液検査は、まず静脈血 5ml を採取し (control)、続いて HAL®腰タイプ非支援下で行った後に、再び静脈血採取 (w/o HAL®)、30分間の休憩で血圧ならびに脈拍が試験前の状態に回復したことを確認してから、HAL®腰タイプ支援下に運動課題を行った後に、再度静脈血を採取 (w/HAL®1) した。3日後に静脈血を採取 (3D) して、HAL®腰タイプ支援下に運動課題を行った後に、再度静脈血の採取 (w/HAL®2) を行った。

C. 結果

1. 患者移乗動作に関する安全性試験（プロトコル A-3）

健康成人ボランティア男女 19 例（男 16：女 3）、平均身長 172.3cm、平均体重 67.3kg のうち男性 14 例においては、HAL®腰タイプ支援の有無に関わらず課題を実施できた。4 例（男 3：女 1）においては、HAL®腰タイプ非支援下にはダミー人形を抱え上げることができなかったが、HAL®腰タイプ支援下には抱え上げることができた。女性 1 例でのみ HAL®腰タイプ支援の有無に関わらず課題が実施できなかった。

HAL®腰タイプ支援の有無に関わらず課題を実施できた 14 例と HAL®腰タイプ支援下でのみ課題を実施できた 4 例を含む 18 例における腰部疲労度 VAS は、HAL®腰タイプ非支援下が平均 6.1 であったのに対して、HAL®腰タイプ支援下では平均 4.2 と、統計学的に有意な低下を認め、HAL®腰タイプ支援による腰部負荷軽減効果があることが明らかとなった（下図）。



介護者1人の患者移乗動作における腰部疲労度VAS (n=18)

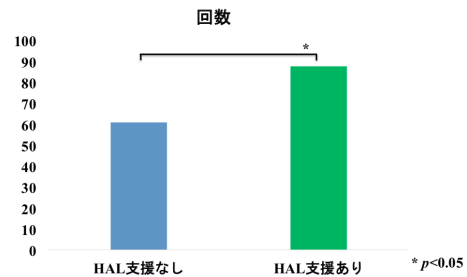
全 19 例において有害事象の発生はなく、課題を完遂できた。

2. 重量物挙上反復動作に関する単群前後比較試験（プロトコル B-1）

昨年の 9 例を加えた健常ボランティア 18 例は男：女が 11：7 で、平均年齢 30.6 歳、平均身長 170.4cm、平均体重 66.4kg であった。

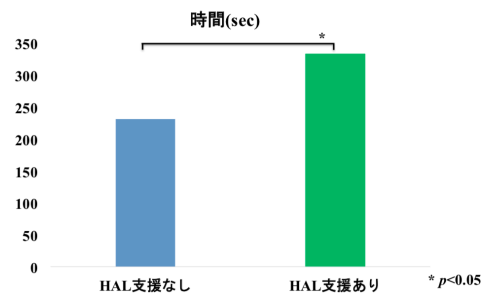
計 18 例の主要評価項目の結果を示す。

1 分間 15 回ペースでの最大作業回数が HAL 支援なしが平均 60.8 回から HAL®腰タイプ支援ありで平均 87.6 回と、約 1.4 倍の作業回数の向上効果を認めた。



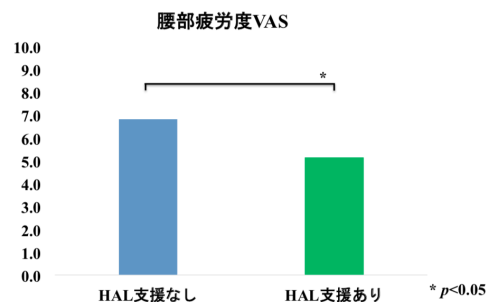
重量物挙上動作研究の結果-1 (n=18)

1 分間 15 回ペースでの最大作業時間 (sec) は、HAL®腰タイプ支援なしが平均 231 秒から HAL®腰タイプ支援ありで平均 333 秒と、約 1.4 倍の作業時間の向上効果を認めた。



重量物挙上動作研究の結果-2 (n=18)

一方、腰部疲労度 VAS は HAL®腰タイプ支援なしが平均 68mm から HAL 支援ありで平均 51mm と、腰部負荷は 75%に軽減する効果を認めた。

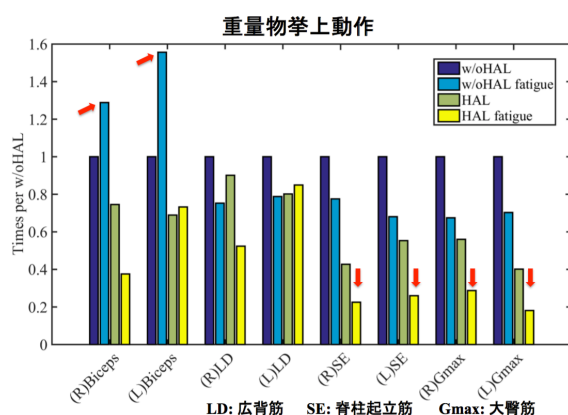


重量物挙上動作研究の結果-3 (n=18)

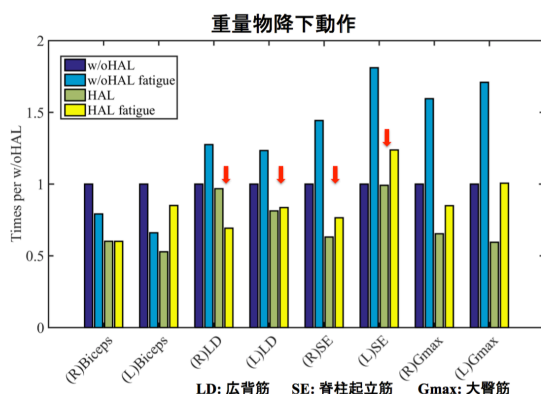
有害事象の発生はなかった。

HAL®腰タイプ支援なしとありの重量物挙上動作と降下動作における代表症例の筋電図変化を示す。挙上動作では、HAL®腰タイプ支援なしで

上肢の筋活動が疲労後に大きく上昇した。これは HAL®腰タイプが上肢運動の支援を行わないためであると考ええる。一方、HAL®腰タイプ支援において、腰部、臀部の筋活動は疲労前、疲労後ともに HAL®腰タイプ支援なしよりも低下した。これは HAL®腰タイプの装着による腰部支援の結果であると考ええる（下図）。



一方、降下動作では、HAL®腰タイプ支援ありで体幹筋（広背筋、脊柱起立筋）の筋活動量が、疲労前、疲労後とも HAL®腰タイプ支援なしよりも低下した。これは HAL®腰タイプの腰部支援の効果であると考ええる。疲労前後の比較では、HAL®腰タイプ支援の有無に関わらず体幹筋の活動量が疲労後に増加していた。この増加量は HAL®腰タイプ支援ありにおいて支援なしよりも小さいため、HAL®腰タイプ支援により装着者の腰部疲労の蓄積が抑制された結果と考える（下図）。



このことから、重量物反復挙上動作における HAL 腰タイプの支援は、装着者の体幹筋の筋活動量を軽減することで腰部疲労の蓄積を抑制

し、報告書-2 の結果のような最大作業回数や時間が増加させる効果があることが分かった。

本研究の結果から、HAL®腰タイプ支援により腰部負荷の軽減および作業省力化の効果が電気整理学的に明らかにできた。

3. バイオマーカー解析や疾患群に対する HAL®腰タイプ支援の評価に向けた新たなプロトコルに関する研究

被験者は 20 歳代の健常成人ボランティア 4 例の平均年齢は 22.8 歳、身長は 166.5cm、平均体重は 58.3kg で、柔軟性は FFD が平均 4.9cm、背筋力は平均 123.3kg であった。

全 4 例において、HAL®腰タイプ支援の有無に関わらず、3 分間に 46 回の反復挙上動作を実施でき、有害事象の発生はなかった。

HAL®腰タイプ非支援下の腰部疲労度は平均 4.5 (1.8-6.5) で、HAL®腰タイプ支援下では平均 3.1 (1.6-3.6) であった。新たなプロトコルの腰部負荷は、HAL®腰タイプ非支援下の腰部疲労度から判断すると妥当であると考えた。また、HAL®腰タイプ支援下で腰部負荷軽減が認められたことから、HAL®腰タイプ支援の効果を評価できるプロトコルであると考えた。

4. 重量物取り扱い動作に対する HAL®腰タイプ支援に関するバイオマーカー解析の研究

CK は運動課題直後に上昇したが、3 日後に再上昇し、乳酸は運動課題直後に上昇し、3 日後には baseline まで回復した。酸化ストレス度 d-ROMs は運動課題直後に増加し、抗酸化力 BAP は、No1 で運動により減少、No.2 で運動により増加した。相対的酸化ストレス度 OSI は、No.1 で運動直後に増加、No.2 で w/o HAL®では増加せず、w/HAL®で baseline より軽微な増加にとどまった。

バイオマーカー		control	w/o HAL	w/ HAL1	3D	w/ HAL2
No. 1	CK	96	120	154	21307	27274
	乳酸	21.7	30.9		12.4	29.7
	d-ROMs	254	273	305		
	BAP	1948	1765	1780		
	OSI	1.15	1.37	1.52		
No. 2	CK	95	104	108	219	221
	乳酸	14.9	11.4	18.1	6	17.7
	d-ROMs	229	240	263		
	BAP	2168	2366	2229		
	OSI	0.93	0.90	1.04		

D. 考察

我々は昨年度から本年度までに、健常者においては大きな腰部負荷において HAL®腰タイプ装着下でも腰部疲労感の増大や腰痛の誘発などなく、安全に重量物挙上の負荷を与えることが

可能であることが判明した。従って特異的・非特異的腰痛患者においても HAL[®]腰タイプを用いた運動療法による腰部損傷・腰痛増悪などの危険性は非常に低いものと想定される。特異的・非特異的腰痛患者に対して HAL[®]腰タイプを用いた運動療法を行えば、現在のところ医師・理学療法士の経験に任せている運動療法のプロトコルを均一化・可視化することが可能となる。このことは、特異的・非特異的腰痛に対する運動療法の真の効果を明らかにするためにも、大変重要で必要なものである。

本研究では、最終的に特異的・非特異的腰痛に対する HAL[®]腰タイプを用いた運動療法のプロトコルを確立し、その有効性を明らかにすることも目標とし、来年度の研究を進めて行きたいと考えている。

E. 結論

重量物挙上動作および介護、看護動作における HAL[®]腰タイプの安全性検証および探索的研究の結果からは、HAL[®]腰タイプ支援による作業省力化や腰部負荷軽減効果を電気生理学的にも評価できた。また今後さらにバイオマーカー解析や疾患群に対する HAL[®]腰タイプ支援の有効性を検証するための新たなプロトコルを確立できた。

G. 研究発表

1. 論文発表

1. Gruneberg P, Kadone H, Kuramoto N, Ueno T, Hada Y, Yamazaki M, Sankai Y, Suzuki K. Robot-assisted voluntary initiation reduces control-related difficulties of initiating joint movement: A phenomenal questionnaire study on shaping and compensation of forward gait. PLoS one 2018;13(30):e0194214.
2. Miura K, Kadone H, Koda M, Abe T, Kumagai H, Nagashima K, Fujii K, Mataka K, Noguchi H, Funayama T, Kawamoto H, Sankai Y, Yamazaki M. The hybrid assistive limb (HAL) for Care Support successfully reduced lumbar load in repetitive lifting movements. J Clin Neurosci. 2018 (*in press*)
3. Miura K, Koda M, Kadone H, Kubota S, Shimizu Y, Kumagai H, Nagashima K,

Mataka K, Fujii K, Noguchi H, Funayama T, Abe T, Sankai Y, Yamazaki M. Gait training using a hybrid assistive limb (HAL) attenuates head drop. J Clin Neurosci. 2018; 52: 141-144.

4. Kubota S, Abe T, Koda M, Kadone H, Shimizu Y, Mataka Y, Noguchi H, Fujii K, Marushima A, Funayama T, Kawamoto H, Hada Y, Sankai Y, Yamazaki M. Application of a newly developed upper limb single-joint hybrid assistive limb for postoperative C5 paralysis: an initial case report indicating its safety and feasibility. J Clin Neurosci. 2018; 50: 268-271.
5. Miura K, Kadone H, Koda M, Abe T, Endo H, Murakami H, Doita M, Kumagai H, Nagashima K, Fujii K, Noguchi H, Funayama T, Kawamoto H, Sankai Y, Yamazaki M. The hybrid assisted limb (HAL) for Care Support, a motion assisting robot providing exoskeletal lumbar support, can potentially reduce lumbar load in repetitive snow-shoveling movements. J Clin Neurosci. 2018; 49: 83-86.
6. Kubota S, Abe T, Kadone H, Fujii K, Shimizu Y, Marushima A, Ueno T, Kawamoto H, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M. Walking ability following Hybrid Assistive Limb treatment for a patient with chronic myelopathy after surgery for cervical ossification of the posterior longitudinal ligament. J Spinal Cord Med. 2017; 20: 1-9.
7. Kubota S, Hara Y, Shimizu Y, Kadone H, Kubo T, Marushima A, Ueno T, Kawamoto H, Koda M, Matsumura A, Hada Y, Sankai Y, Yamazaki M. A newly developed upper limb single-joint HAL in a patient with elbow flexion reconstruction after traumatic brachial plexus injury: A case report. Interdisciplinary Neurosurgery: Advanced Techniques and Case Management. 2017, 10:66-68.
8. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Ikumi A, Abe T, Marushima A, Ueno T, Endo A,

- Kawamoto H, Saotome K, Matsushita A, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Active elbow flexion is possible in C4 quadriplegia using hybrid assistive limb (HAL®) technology: A case study. J Spinal Cord Med. 2017
9. Shimizu Y, Nakai K, Kadone H, Yamauchi S, Kubota S, Ueno T, Marushima A, Hiruta K, Endo A, Kawamoto H, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. The Hybrid Assistive Limb(R) intervention for a postoperative patient with spinal dural arteriovenous fistula and chronic spinal cord injury: a case study. J Spinal Cord Med. 2017
 10. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Suzuki K, Abe T, Ueno T, Soma Y, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Voluntary Ambulation by Upper Limb-Triggered HAL® in Patients with Complete Quadri/Paraplegia Due to Chronic Spinal Cord Injury. Front Neurosci. 2017
 11. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Suzuki K, Saotome K, Ueno T, Abe T, Marushima A, Watanabe H, Endo A, Tsurumi K, Ishimoto R, Matsushita A, Koda M, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Voluntary ambulation using voluntary upper limb muscle activity and Hybrid Assistive Limb® (HAL®) in a patient with complete paraplegia due to chronic spinal cord injury: A case report. J Spinal Cord Med, 2017 (*in press*)
 12. Taketomi M, Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Abe T, Marushima A, Ueno T, Endo A, Kawamoto H, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Hybrid assistive limb (HAL®) intervention in a patient with late neurological deterioration post-thoracic myelopathy surgery due to ossification of the ligamentum flavum. Case rep Orthop. 2017 (*in press*)
 13. 三浦紘世, 門根秀樹, 安部哲哉, 遠藤寛興, 村上秀樹, 山崎正志. 腰部支援用HALを用いたショベリング除雪反復動作における腰部負荷軽減効果. 日本脊髄障害医学会誌. 2017, 30:84-85.
 14. 清水如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 上野友之, 羽田康司, 山崎正志. 脊椎脊髄疾患に対するロボットスーツ HALを用いた機能回復治療. 関節外科 2017, 36:541-550.
 15. 山内駿介, 清水 如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 上野友之, 羽田康司, 山崎正志. 脊髄硬膜動静脈瘻を発症した慢性期脊髄損傷患者に対する HAL による機能回復治療. 日本脊髄障害医学会雑誌 2017 30:98-99.
 16. 藤井賢吾, 安部哲哉, 久保田茂希, 船山徹, 山崎正志. 胸椎後縦靱帯骨化症に伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術+ロボット治療. 日本脊髄障害医学会誌 2017; 30:136-138.
 17. 安部哲哉, 久保田茂希, 門根秀樹, 山崎正志. 術後慢性増悪に対するロボットリハビリテーション. Loco Cure 2017; 3:46-49.
- ## 2. 学会発表
1. 三浦紘世, 門根秀樹, 安部哲哉, 熊谷洋, 長島克弥, 藤井賢吾, 野口裕史, 船山徹, 羽田康司, 遠藤寛興, 村上秀樹, 土井田稔, 山崎正志. ショベリング除雪反復動作におけるロボットスーツHALの腰部負荷軽減効果. 第46回日本脊椎脊髄病学会 (札幌), 4月, 2017.
 2. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 胸椎 OPLL に伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術+ロボット歩行訓練による新たな治療. 第 46 回日本脊椎脊髄病学会学術集会 (札幌), 4月, 2017.
 3. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 中山敬太, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットスーツHALを用いた機能回復治療の効果の解析. 第46回日本脊椎脊髄病学会学術集会 (札幌), 4月, 2017.
 4. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 中山敬太, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 胸椎OPLLに伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術+ロボット歩行訓練による新たな治療.

- 第90回日本整形外科学会学術総会（仙台），5月，2017.
5. 久保田茂希，安部哲哉，藤井賢吾，船山徹，野口裕史，中山敬太，三浦紘世，門根秀樹，清水如代，羽田康司，山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットスーツHALを用いた機能回復治療の効果の解析. 第90回日本整形外科学会学術総会（仙台），5月，2017.
 6. 三浦紘世，門根秀樹，安部哲哉，熊谷洋，長島克弥，藤井賢吾，野口裕史，船山徹，羽田康司，國府田正雄，遠藤寛興，村上秀樹，土井田稔，山崎正志. ショベリング除雪反復動作におけるロボットスーツHALの腰部負荷軽減効果. 第90回日本整形外科学会（仙台），5月，2017
 7. 久保田茂希，安部哲哉，清水如代，門根秀樹，藤井賢吾，船山徹，野口裕史，三浦紘世，羽田康司，菅谷久，吉岡友和，山海嘉之，山崎正志. 頸・胸椎後縦靱帯骨化症に伴う重度歩行障害に対するロボットスーツHALによる新たな治療. 第32回日本整形外科学会基礎学術集会（那覇），10月，2017.
 8. 久保田茂希，安部哲哉，清水如代，門根秀樹，藤井賢吾，船山徹，野口裕史，三浦紘世，羽田康司，菅谷久，吉岡友和，山海嘉之，山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットスーツHALを用いた機能回復治療. 第32回日本整形外科学会基礎学術集会（那覇），10月，2017.
 9. 久保田茂希，安部哲哉，清水如代，門根秀樹，國府田正雄，山崎正志. 術後慢性期頸椎 OPLL の歩行機能再増悪症例に対するロボットリハビリテーションの効果の検討. 第52回日本脊髄障害医学会（千葉），11月，2017.
 10. 三浦紘世，門根秀樹，熊谷洋，長島克弥，俣木健太朗，藤井賢吾，野口裕史，船山徹，安部哲哉，羽田康司，遠藤寛興，村上秀樹，土井田稔，山崎正志. ショベリング除雪反復動作におけるロボットスーツHALの腰部負荷軽減効果. 第32回日本整形外科学会基礎学術集会（沖縄），10月，2017

H. 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

患者移乗動作に対する HAL[®] 腰タイプ支援に関する研究

研究分担者

清水 如代 筑波大学附属病院 リハビリテーション部 病院講師
羽田 康司 筑波大学医学医療系整形外科 リハビリテーション部 准教授

研究要旨

本年度は、健常者を対象として装着型ロボット・HAL 腰タイプを用いた重量物挙上動作に対する安全性と装着中または装着直後の効果に関する評価を行った。

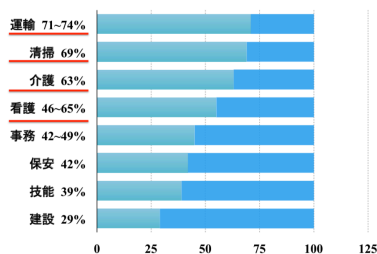
重量物挙上訓練は、健常成人男性 9 例を対象とした。挙上動作は stoop lifting 法で、重量物は約 12kg のペットボトルが梱包された段ボールや水の入った約 15kg の灯油ポリタンクとした。1 分 15 回の一定のペースで繰り返し、疲労で継続困難となるまで行った。作業前後の血圧や脈拍は HAL 使用・非使用に関連はなかった。今回の挙上訓練課題は運動中止基準に満たない内容で、有害事象の発生はなかった。

A. 研究目的

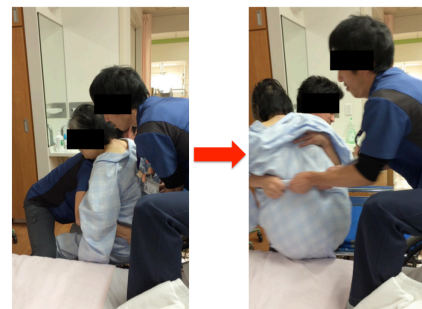
腰痛を有する患者はきわめて多く、厚生労働省による平成 25 年国民生活基礎調査では、有訴率は男性 9.2%、女性 11%となっており、男性では最も多い症状、女性では肩こりに次いで多い症状である[1]。腰痛自体の治療にかかる理学療法、投薬などの医療経費による直接的な経済損失と、腰痛による作業効率の低下ならびに休業による間接的な経済損失を合わせると社会に与える影響は非常に大きい。Itoh らは、日本国内における職業性腰痛の直接医療費を算出し、年々増加傾向にあり、2011 年度には 821 億円に至ったと報告している[2]。

職種別の腰痛有訴率を見ると、運輸、清掃、介護、看護、事務、保安、技能、建設それぞれ 71~74%、69%、63%、46~65%、42~49%、42%、39%、29%と非常に高い（下図）。

職種別の腰痛有訴率

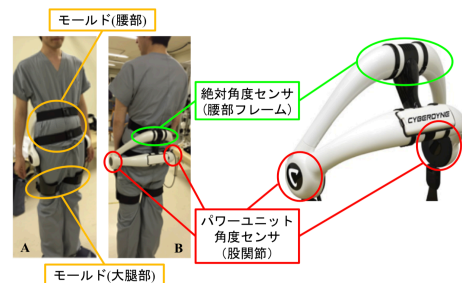


特に介護・看護の職業において、重度麻痺患者の介護や看護動作による腰痛の発生や腰痛の増悪は継続を困難とする看護・介護者における大きな社会問題であり、装着型ロボットによる作業支援は解決策の一つになるとと思われる。



頸髄損傷患者の重介護移乗動作

HAL[®]腰タイプは、CYBERDYNE 社が開発した腰部負荷を軽減する外骨格型ロボットスーツであり、2014 年 11 月に生活支援ロボットの国際安全規格 ISO12342 が取得され、重量物挙上業務、介護業務の市場に流通している。



HAL腰タイプの構造

HAL[®]腰タイプは、腰部と大腿部に取り付けられたモールドと呼ばれる固定具により装着し、股関節部に有するパワーユニットが、体幹屈曲・伸展と股関節屈曲・伸展の動作をアシスト

する動作機序である。装着者の脊柱起立筋の生体電位信号で駆動トルクが発生し(Cybernic voluntary control)、両モールドを介して体幹及び下肢に伝達される。また、絶対角度センサと角度センサから算出される装着者の上半身の体重に対する重力補償を Cybernic autonomous control で実現し、ハイブリッド制御する。3次元骨格系モデルを用いた有限要素法応力解析による基礎実験では、鉛直下向き方向に荷重をかけ、腰部負荷の大きい体幹前屈角度が大きい静止姿勢の重量物挙上動作における腰椎椎間板圧迫力が、HAL®腰タイプ支援下では減少することが明らかとなっている[3]。

これまで具体的に看護・介護動作におけるHAL®腰タイプ腰部支援による負荷軽減と作業の省力化の効果に関する研究はない。我々は患者移乗動作に対するHAL®腰タイプ支援の有効性を評価するための運動課題を探索し、安全性試験を実施したので報告する。

B. 研究方法

【実験1】介護者2人のHAL®腰タイプ支援による患者移乗動作の安全性試験

1. 対象

現在治療中の循環器・呼吸器疾患や脊椎関節手術歴がなく、筋骨格系に障害のない25歳から45歳までの健康成人男性ボランティア6例、平均身長174.7cm、平均体重68.8kgを対象に実施した。

2. 検討項目

ベッド上に敷いたトランスフォーマットレスに仰臥位とした約60kgのダミー人形を、介護者2人で挙上する移乗動作を運動課題とした(下図)。



HAL®腰タイプ非支援下で挙上訓練を行った後に、十分休憩をして、血圧ならびに脈拍が訓練前まで回復したことを確認して、HAL®腰タイプ支援下に行った。

主評価項目は、挙上作業前後での血圧、脈拍

数の計測、発生した有害事象とした。副次的項目は柔軟性評価を床から指先の距離(FFD, cm)、背筋力(kg)とした。

運動中止基準は、日本リハビリテーション医学会診療ガイドライン委員会が策定したリハビリテーション医療における安全管理・推進のためのガイドラインで示されているリハビリテーションの中止基準とした[4]。

【実験2】介護者1人のHAL®腰タイプ支援による患者移乗動作の安全性試験

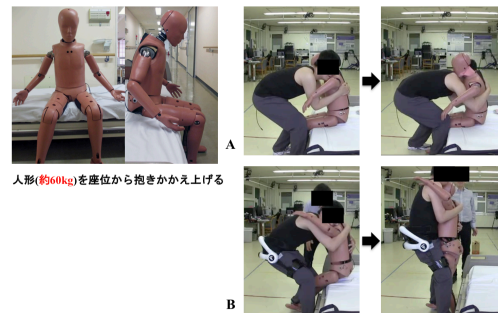
1. 対象

現在治療中の循環器呼吸器疾患や脊椎関節手術歴がなく、筋骨格系に障害のない25歳から45歳までの健康成人ボランティア男女19例(男16:女3)、平均身長172.3cm、平均体重67.3kgを対象とした。

2. 検討項目

約60kgのダミー人形を完全頸椎損傷患者のモデルとしてベッド上に座位とし、介助者1名が抱え上げる動作を運動課題とした。

HAL®腰タイプ非支援下で挙上訓練を行った後に、十分休憩をして、血圧ならびに脈拍が訓練前まで回復したことを確認して、HAL®腰タイプ支援下に行った(下図)。



HAL®腰タイプを用いた介助移乗動作

主評価項目は、挙上作業前後での血圧、脈拍数の計測、腰部疲労度VAS、発生した有害事象とした。副次的項目は柔軟性評価を床から指先の距離(FFD, cm)、背筋力(kg)とした。

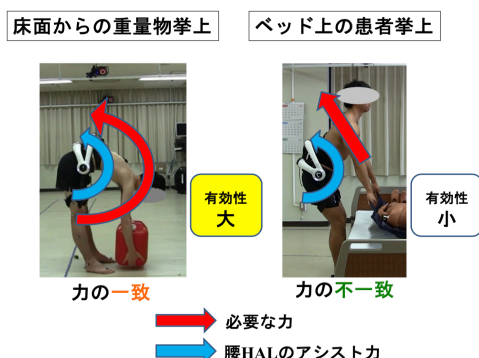
運動中止基準は、日本リハビリテーション医学会診療ガイドライン委員会が策定したリハビリテーション医療における安全管理・推進のためのガイドラインで示されているリハビリテーションの中止基準とした[4]。

C. 研究結果

【実験1】介護者2人のHAL®腰タイプ支援による患者移乗動作の安全性試験

1) 課題前後の血圧、脈拍数

HAL®腰タイプ支援の有無に関わらず、課題前後の血圧において、運動時収縮期血圧の 40mmHg 以上の上昇や拡張期血圧 20mmHg 以上の上昇を認めなかった。また脈拍も 140/分を超えることはなかった。しかし、床からの重量物挙上動作のような介護者の体幹に十分な屈曲から伸展動作のない本課題では、HAL®腰タイプ支援が有効に作動しないことが明らかとなった。



2) 有害事象

FFD は平均 4.8cm、背筋力は平均 114.2kg で、全 6 例において有害事象の発生はなく、作業を完遂できた。

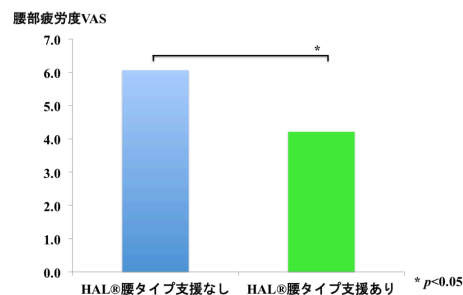
【実験 2】介護者 1 人の HAL®腰タイプ支援による患者移乗動作の安全性試験

1) 作業前後の血圧、脈拍数

HAL®腰タイプ支援の有無に関わらず、課題前後の血圧において、運動時収縮期血圧の 40mmHg 以上の上昇や拡張期血圧 20mmHg 以上の上昇を認めなかった。また脈拍も 140/分を超えることはなかった。

男性 14 例においては、HAL®腰タイプ支援の有無に関わらず課題を実施できた。4 例（男 3：女 1）においては、HAL®腰タイプ非支援下にはダミー人形を抱え上げることができなかったが、HAL®腰タイプ支援下には抱え上げることができた。女性 1 例でのみ HAL®腰タイプ支援の有無に関わらず課題が実施できなかった。

HAL®腰タイプ支援の有無に関わらず課題を実施できた 14 例と HAL®腰タイプ支援下でのみ課題を実施できた 4 例を含む 18 例における腰部疲労度 VAS は、HAL®腰タイプ非支援下が平均 6.1 であったのに対して、HAL®腰タイプ支援下では平均 4.2 と、統計学的に有意な低下を認め、HAL®腰タイプ支援による腰部負荷軽減効果があることが明らかとなった（右上図）。



介護者1人の患者移乗動作における腰部疲労度VAS (n=18)

2) 有害事象

FFD は平均 5.1cm、背筋力は平均 121.2kg で、全 19 例において有害事象の発生はなく、課題を完遂できた。

D. 考察

本研究では、腰痛のない健常成人ボランティアで患者移乗動作を行い、HAL®腰タイプ支援の有無と安全性を評価した。実験 1、2 ともに運動中止基準に達することなくプロトコルは安全に実施可能で、HAL®腰タイプ装着による有害事象も発生しなかった。HAL®腰タイプ支援を受けやすい動作としては、体幹の前屈から伸展の動作が大きいものが良いことが明らかとなった。

本研究の腰部疲労度 VAS の結果からは、単回の抱え上げ動作においても HAL®腰タイプ支援による腰部負荷軽減効果があることが明らかとなった。一方で、本課題ではダミー人形が 25～45 歳の年齢層の平均体重（65～70kg）[6]に相当し、被験者に対する過度な腰部負荷が腰痛の発生に繋がることが危惧されたが、腰痛の発生は幸いなかった。

今後はさらに、HAL®腰タイプ支援の有無に関わらず課題を実施できた 14 例を対象に、HAL®腰タイプ非支援下と支援下の動作解析（体幹や股関節、関節の屈曲角度など）を進め、HAL®腰タイプ支援の効果を定量的に評価したいと考える。

E. 結論

約 60kg のダミー人形を完全頸椎損傷患者のモデルとしてベッド上に座位とし、介助者 1 名が抱え上げる動作は、HAL®腰タイプ装着下に安全に実施可能であった。HAL®腰タイプ支援による実施によって腰部疲労度 VAS は平均 6.1 から 4.2 に有意な低下を認め、単回動作の患者移乗動作課題においても腰部負荷軽減効果があることが明らかとなった。

参考文献

1. 厚生労働省：国民生活基礎調査. 2013.
2. Itoh H, Kitamura F, Yokohama K. Estimates of annual medical costs of work-related low back pain in Japan. *Industrial Health*. 51: 524-529, 2013
3. 原大雅, 山海嘉之. 3次元骨格系モデルによる腰部支援用 HAL の動作支援評価. *生体医工学*. 50: 111-116, 2012
4. 日本リハビリテーション医学会診療ガイドライン委員会：リハビリテーションにおける安全管理・推進のためのガイドライン. 医歯薬出版. 2006.

G. 研究発表

1. 論文発表

1. Gruneberg P, Kadone H, Kuramoto N, Ueno T, Hada Y, Yamazaki M, Sankai Y, Suzuki K. Robot-assisted voluntary initiation reduces control-related difficulties of initiating joint movement: A phenomenal questionnaire study on shaping and compensation of forward gait. *PLoS one* 2018;13(30):e0194214.
2. Miura K, Kadone H, Koda M, Abe T, Kumagai H, Nagashima K, Fujii K, Mataka K, Noguchi H, Funayama T, Kawamoto H, Sankai Y, Yamazaki M. The hybrid assistive limb (HAL) for Care Support successfully reduced lumbar load in repetitive lifting movements. *J Clin Neurosci*. 2018 (*in press*)
3. Miura K, Koda M, Kadone H, Kubota S, Shimizu Y, Kumagai H, Nagashima K, Mataka K, Fujii K, Noguchi H, Funayama T, Abe T, Sankai Y, Yamazaki M. Gait training using a hybrid assistive limb (HAL) attenuates head drop. *J Clin Neurosci*. 2018; 52: 141-144.
4. Kubota S, Abe T, Koda M, Kadone H, Shimizu Y, Mataka Y, Noguchi H, Fujii K, Marushima A, Funayama T, Kawamoto H, Hada Y, Sankai Y, Yamazaki M. Application of a newly developed upper limb single-joint hybrid assistive limb for postoperative C5 paralysis: an initial case report

indicating its safety and feasibility. *J Clin Neurosci*. 2018; 50: 268-271.

5. Miura K, Kadone H, Koda M, Abe T, Endo H, Murakami H, Doita M, Kumagai H, Nagashima K, Fujii K, Noguchi H, Funayama T, Kawamoto H, Sankai Y, Yamazaki M. The hybrid assisted limb (HAL) for Care Support, a motion assisting robot providing exoskeletal lumbar support, can potentially reduce lumbar load in repetitive snow-shoveling movements. *J Clin Neurosci*. 2018; 49: 83-86.
6. Kubota S, Abe T, Kadone H, Fujii K, Shimizu Y, Marushima A, Ueno T, Kawamoto H, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M. Walking ability following Hybrid Assistive Limb treatment for a patient with chronic myelopathy after surgery for cervical ossification of the posterior longitudinal ligament. *J Spinal Cord Med*. 2017; 20: 1-9.
7. Kubota S, Hara Y, Shimizu Y, Kadone H, Kubo T, Marushima A, Ueno T, Kawamoto H, Koda M, Matsumura A, Hada Y, Sankai Y, Yamazaki M. A newly developed upper limb single-joint HAL in a patient with elbow flexion reconstruction after traumatic brachial plexus injury: A case report. *Interdisciplinary Neurosurgery: Advanced Techniques and Case Management*. 2017, 10:66-68.
8. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Ikumi A, Abe T, Marushima A, Ueno T, Endo A, Kawamoto H, Saotome K, Matsushita A, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Active elbow flexion is possible in C4 quadriplegia using hybrid assistive limb (HAL®) technology: A case study. *J Spinal Cord Med*. 2017
9. Shimizu Y, Nakai K, Kadone H, Yamauchi S, Kubota S, Ueno T, Marushima A, Hiruta K, Endo A, Kawamoto H, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. The Hybrid Assistive Limb(R) intervention for a postoperative patient with spinal

- dural arteriovenous fistula and chronic spinal cord injury: a case study. J Spinal Cord Med. 2017
10. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Suzuki K, Abe T, Ueno T, Soma Y, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Voluntary Ambulation by Upper Limb-Triggered HAL® in Patients with Complete Quadri/Paraplegia Due to Chronic Spinal Cord Injury. Front Neurosci. 2017
 11. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Suzuki K, Saotome K, Ueno T, Abe T, Marushima A, Watanabe H, Endo A, Tsurumi K, Ishimoto R, Matsushita A, Koda M, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Voluntary ambulation using voluntary upper limb muscle activity and Hybrid Assistive Limb® (HAL®) in a patient with complete paraplegia due to chronic spinal cord injury: A case report. J Spinal Cord Med, 2017 (*in press*)
 12. Taketomi M, Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Abe T, Marushima A, Ueno T, Endo A, Kawamoto H, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Hybrid assistive limb (HAL®) intervention in a patient with late neurological deterioration post-thoracic myelopathy surgery due to ossification of the ligamentum flavum. Case rep Orthop. 2017 (*in press*)
 13. 三浦紘世, 門根秀樹, 安部哲哉, 遠藤寛興, 村上秀樹, 山崎正志. 腰部支援用HALを用いたショベリング除雪反復動作における腰部負荷軽減効果. 日本脊髄障害医学会誌. 2017, 30:84-85.
 14. 清水如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 上野友之, 羽田康司, 山崎正志. 脊椎脊髄疾患に対するロボットスーツ HALを用いた機能回復治療. 関節外科 2017, 36:541-550.
 15. 山内駿介, 清水 如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 上野友之, 羽田康司, 山崎正志. 脊髄硬膜動静脈瘻を発症した慢性期脊髄損傷患者に対する HAL による機能回復治療. 日本脊髄障害医学会雑誌 2017 30:98-99.
 16. 藤井賢吾, 安部哲哉, 久保田茂希, 船山徹, 山崎正志. 胸椎後縦靱帯骨化症に伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術+ロボット治療. 日本脊髄障害医学会誌 2017; 30:136-138.
 17. 安部哲哉, 久保田茂希, 門根秀樹, 山崎正志. 術後慢性増悪に対するロボットリハビリテーション. Loco Cure 2017; 3:46-49.
- ## 2. 学会発表
1. 三浦紘世, 門根秀樹, 安部哲哉, 熊谷洋, 長島克弥, 藤井賢吾, 野口裕史, 船山徹, 羽田康司, 遠藤寛興, 村上秀樹, 土井田稔, 山崎正志. ショベリング除雪反復動作におけるロボットスーツHALの腰部負荷軽減効果. 第46回日本脊椎脊髄病学会 (札幌), 4月, 2017.
 2. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 胸椎 OPLL に伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術+ロボット歩行訓練による新たな治療. 第 46 回日本脊椎脊髄病学会学術集会 (札幌), 4月, 2017.
 3. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 中山敬太, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットスーツHALを用いた機能回復治療の効果の解析. 第46回日本脊椎脊髄病学会学術集会 (札幌), 4月, 2017.
 4. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 中山敬太, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 胸椎OPLLに伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術+ロボット歩行訓練による新たな治療. 第90回日本整形外科学会学術総会 (仙台), 5月, 2017.
 5. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 中山敬太, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットスーツHALを用いた機能回復治療の効果の解析. 第90回日本整形外科学会学術総会 (仙台), 5月, 2017.
 6. 三浦紘世, 門根秀樹, 安部哲哉, 熊谷洋, 長島克弥, 藤井賢吾, 野口裕史, 船山徹, 羽田康司, 國府田正雄, 遠藤寛興, 村上秀樹, 土井田稔, 山崎正志. ショベリング除

- 雪反復動作におけるロボットスーツHALの腰部負荷軽減効果. 第90回日本整形外科学会（仙台），5月，2017
7. 久保田茂希，安部哲哉，清水如代，門根秀樹，藤井賢吾，船山徹，野口裕史，三浦紘世，羽田康司，菅谷久，吉岡友和，山海嘉之，山崎正志. 頸・胸椎後縦靱帯骨化症に伴う重度歩行障害に対するロボットスーツHALによる新たな治療. 第32回日本整形外科学会基礎学術集会（那覇），10月，2017.
 8. 久保田茂希，安部哲哉，清水如代，門根秀樹，藤井賢吾，船山徹，野口裕史，三浦紘世，羽田康司，菅谷久，吉岡友和，山海嘉之，山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットスーツHALを用いた機能回復治療. 第32回日本整形外科学会基礎学術集会（那覇），10月，2017.
 9. 久保田茂希，安部哲哉，清水如代，門根秀樹，國府田正雄，山崎正志. 術後慢性期頸椎 OPLL の歩行機能再増悪症例に対するロボットリハビリテーションの効果の検討. 第52回日本脊髄障害医学会（千葉），11月，2017.
 10. 三浦紘世，門根秀樹，熊谷洋，長島克弥，俣木健太郎，藤井賢吾，野口裕史，船山徹，安部哲哉，羽田康司，遠藤寛興，村上秀樹，土井田稔，山崎正志. ショベリング除雪反復動作におけるロボットスーツHALの腰部負荷軽減効果. 第32回日本整形外科学会基礎学術集会（沖縄），10月，2017

H. 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

重量物挙上動作に対する HAL[®]腰タイプ支援に関する研究

研究分担者

三浦 紘世 筑波大学医学医療系整形外科 リハビリテーション部 助教
河本 浩明 筑波大学システム情報工系 サイバニクス研究センター 准教授

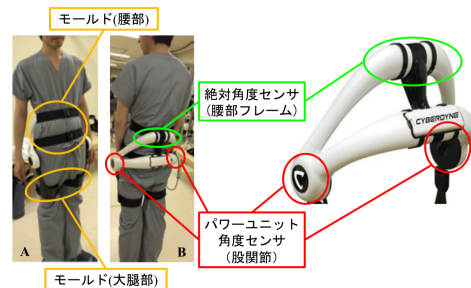
研究要旨

本年度は、昨年度に引き続き健常ボランティア男女 9 名を対象として装着型ロボット HAL[®]腰タイプを用いた重量物の反復挙上動作に対する前後比較試験を行った。合計 18 例の男：女は 11:7 で、平均年齢 30.6 歳、平均身長 170.4cm、平均体重 66.4kg で、腰部疲労度 VAS は 25%軽減し、作業回数や作業時間はそれぞれ 140%に増加し、HAL[®]腰タイプ支援下では腰部負荷を軽減しながら作業の省力化が図ることができた。また、有害事象の発生はなかった。

A. 研究目的

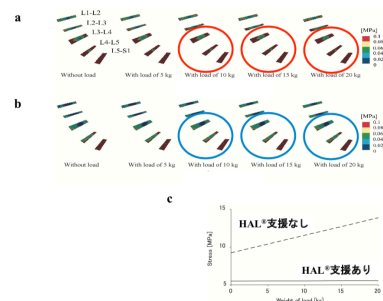
腰痛を有する患者はきわめて多く、厚生労働省による平成 25 年国民生活基礎調査では、有訴率は男性 9.2%、女性 11%となっており、男性では最も多い症状、女性では肩こりに次いで多い症状である[1]。腰痛自体の治療にかかる理学療法、投薬などの医療経費による直接的な経済損失と、腰痛による作業効率の低下ならびに休業による間接的な経済損失を合わせると社会に与える影響は非常に大きい。Itoh らは、日本国内における職業性腰痛の直接医療費を算出し、年々増加傾向にあり、2011 年度には 821 億円に至ったと報告している[2]。

現在、業務上の腰部負荷を軽減する目的に、様々な外骨格型のアシストスーツが開発研究されており、市場に流通している。我々はその中で HAL[®]腰タイプに着目した。HAL[®]腰タイプは、CYBERDYNE 社が開発した腰部負荷を軽減する外骨格型ロボットスーツである。2014 年 11 月に生活支援ロボットの国際安全規格 ISO12342 を取得し、重量物挙上業務、介護業務ですでに市場に流通している。HAL[®]腰タイプは、腰部と大腿部に取り付けられたモールドと呼ばれる固定具により装着し、股関節部に有するパワーユニットが、体幹屈曲・伸展と股関節屈曲・伸展の動作をアシストする動作機序である。装着者の脊柱起立筋の生体電位信号で駆動トルクが発生し (Cybernic voluntary control)、両モールドを介して体幹及び下肢に伝達される。また、絶対角度センサと角度センサから算出される装着者の上半身の体重に対する重力補償を Cybernic autonomous control で実現し、ハイブリッド制御する (右上図)。



HAL腰タイプの構造

3次元骨格系モデルを用いた有限要素法による応力シミュレーション解析による基礎実験では、体幹前屈角度が大きい静止姿勢の重量物挙上動作における腰椎椎間板圧迫力が、鉛直下向き方向に荷重をかけた状態では、腰部負荷が HAL[®]腰タイプ支援下では支援がないときに比べ減少することを明らかにした[3]。



有限要素法を用いたHAL[®]腰タイプの腰部負荷の応力解析

我々は重量物挙上動作に対する HAL[®]腰タイプ支援は腰部負荷を軽減すると仮説を立て、H28 年度に重量物挙上動作に対する HAL[®]腰タイプ支援の安全性試験を行った。本年は昨年に引き続

き単群前後比較試験を行い、HAL®腰タイプ支援の効果に関する評価を行ったので報告する。

B. 研究方法

【実験1】HAL®腰タイプの単群前後比較試験

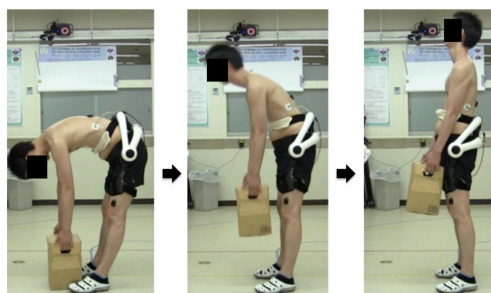
1. 対象

安全性試験と同様、現在治療中の循環器・呼吸器疾患や脊椎関節手術歴がなく、筋骨格系に障害のない25歳から45歳までの健康成人ボランティア9例を対象とし、筑波大学未来医工融合研究センター内で行った。

2. 検討項目

重量物挙上動作は、準備動作で膝関節を屈曲させず、体幹のみ伸展して挙上する Stoop lifting 法とし、重量物は約12kgのペットボトルが梱包された持ち手付きダンボールとした。尚、重量物の設定については、厚生労働省が定める重量物取り扱い[4]に準じ、体重の15-30%となるように設定した。また、日本リハビリテーション医学会診療ガイドライン委員会が策定したリハビリテーション医療における安全管理・推進のためのガイドラインで示されているリハビリテーションの中止基準を遵守した[5]。

メトロノームを使用し、1分15回の一定のペースで、床に置かれた重量物を立位姿勢から肘関節は完全伸展で Stoop lifting 法の挙上を開始してもらい、体幹が完全伸展となるまで挙上を行った後、床に置く動作までを一連とする挙上動作を、自覚的疲労度の限界まで実施してもらうことを課題とした（下図）。



重量物反復挙上動作

一連の動作課題を HAL®腰タイプ非支援下で行ってもらった後に、5分間の休憩で血圧ならびに脈拍が試験前の状態に回復したことを確認してから、HAL®腰タイプ支援下を実施した。

主評価項目は、最大作業回、最大作業時間及び腰部疲労度 VAS (Visual analogue scale) とした。

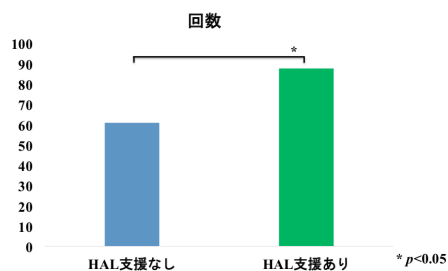
C. 研究結果

【実験1】HAL®腰タイプの単群前後比較試験

昨年の9例を加えた健常ボランティア18例は男：女が11：7で、平均年齢30.6歳、平均身長170.4cm、平均体重66.4kgであった。

1) 1分間15回ペースでの最大作業回数

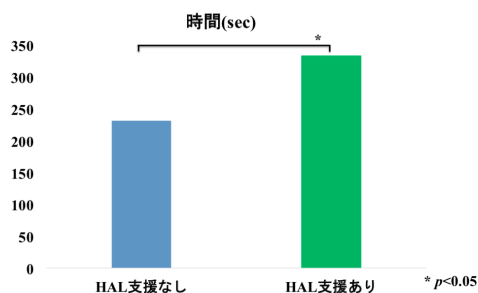
HAL®腰タイプ非支援下の平均は60.8回であったのに対して、HAL®腰タイプ支援下の最大作業回数は平均87.6回で、約1.4倍の作業回数の向上を認めた。



重量物挙上動作研究の結果-1 (n=18)

2) 1分間15回ペースでの最大作業時間 (sec)

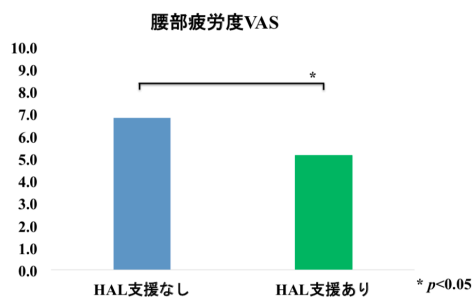
HAL®腰タイプ非支援下の平均は231秒であったのに対して、HAL®腰タイプ支援下の最大作業時間は平均333秒で、約1.4倍の作業時間の向上を認めた。



重量物挙上動作研究の結果-2 (n=18)

3) 腰部疲労度 VAS

HAL®腰タイプ非支援下の平均は68mmであったのに対して、HAL®腰タイプ支援下の腰部疲労度 VAS は平均51mmで、腰部負荷は75%に軽減していた。以上の結果から、重量物反復挙上動作における HAL®腰タイプ支援で25%の腰部負荷軽減と1.4倍の作業能力の向上効果が得られることが明らかとなった。



重量物挙上動作研究の結果-3 (n=18)

全 18 例において有害事象の発生はなく、課題を完遂できた。

D. 考察

本研究では、腰痛のない健常ボランティア男性および女性で重量物の反復挙上動作を行い、HAL®腰タイプ支援による統計学的に有意な腰部疲労度 VAS の軽減と作業回数や作業時間の増加効果があることが明らかとなった。腰部疲労度 VAS は 25%軽減し、作業回数や作業時間はそれぞれ 140%に増加し、HAL®腰タイプ支援下では腰部負荷を軽減しながら作業の省力化が図ることができた。

一方で、体重の 15%以上の重量物の挙上動作では、傍脊柱筋の筋活動量の有意な上昇が見られると言われ[6]、今回設定した重量物約 12kg も背筋力や脊椎、下肢関節の柔軟性との関連がある可能性があるため、男女による違いも含めて、さらに詳細な解析が必要であると考えられる。また、重量物の反復挙上動作で作業の省力化が図れるということは、HAL®腰タイプ支援によって装着者に過剰な労働を課すことにもなるため、その利用方法についても注意が必要と考えられた。

E. 結論

健常ボランティア男女被験者に体重の約 15%に設定した重量物の反復挙上動作における HAL®腰タイプ支援で、腰部疲労度 VAS は 25%軽減し、作業回数や作業時間はそれぞれ 140%に増加し、HAL®腰タイプ支援下では腰部負荷を軽減しながら作業の省力化が実現することを明らかにした。

参考文献

1. 厚生労働省：国民生活基礎調査. 2013.
2. Itoh H, Kitamura F, Yokohama K.

Estimates of annual medical costs of work-related low back pain in Japan. Industrial Health. 51: 524-529, 2013

3. 原大雅, 山海嘉之. 3次元骨格系モデルによる腰部支援用 HAL の動作支援評価. 生体医工学. 50: 111-116, 2012
4. 労働省基発 547 号. 職場における腰痛予防対策指針. 1994.
5. 日本リハビリテーション医学会診療ガイドライン委員会：リハビリテーションにおける安全管理・推進のためのガイドライン. 医歯薬出版. 2006.
6. 波之平晃一郎, 藤村昌彦. Lifting 動作の筋電図学および運動学的研究-重量物の質量が動作方法におよぼす影響. 日本職業・災害医学会会誌. 58: 234-239, 2010

G. 研究発表

1. 論文発表

1. Gruneberg P, Kadone H, Kuramoto N, Ueno T, Hada Y, Yamazaki M, Sankai Y, Suzuki K. Robot-assisted voluntary initiation reduces control-related difficulties of initiating joint movement: A phenomenal questionnaire study on shaping and compensation of forward gait. PLoS one 2018;13(30):e0194214.
2. Miura K, Kadone H, Koda M, Abe T, Kumagai H, Nagashima K, Fujii K, Mataka K, Noguchi H, Funayama T, Kawamoto H, Sankai Y, Yamazaki M. The hybrid assistive limb (HAL) for Care Support successfully reduced lumbar load in repetitive lifting movements. J Clin Neurosci. 2018 (in press)
3. Miura K, Koda M, Kadone H, Kubota S, Shimizu Y, Kumagai H, Nagashima K, Mataka K, Fujii K, Noguchi H, Funayama T, Abe T, Sankai Y, Yamazaki M. Gait training using a hybrid assistive limb (HAL) attenuates head drop. J Clin Neurosci. 2018; 52: 141-144.
4. Kubota S, Abe T, Koda M, Kadone H, Shimizu Y, Mataka Y, Noguchi H, Fujii K, Marushima A, Funayama T, Kawamoto H, Hada Y, Sankai Y, Yamazaki M. Application of a newly developed upper limb single-joint hybrid

- assistive limb for postoperative C5 paralysis: an initial case report indicating its safety and feasibility. *J Clin Neurosci*. 2018; 50: 268-271.
5. Miura K, Kadone H, Koda M, Abe T, Endo H, Murakami H, Doita M, Kumagai H, Nagashima K, Fujii K, Noguchi H, Funayama T, Kawamoto H, Sankai Y, Yamazaki M. The hybrid assisted limb (HAL) for Care Support, a motion assisting robot providing exoskeletal lumbar support, can potentially reduce lumbar load in repetitive snow-shoveling movements. *J Clin Neurosci*. 2018; 49: 83-86.
 6. Kubota S, Abe T, Kadone H, Fujii K, Shimizu Y, Marushima A, Ueno T, Kawamoto H, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M. Walking ability following Hybrid Assistive Limb treatment for a patient with chronic myelopathy after surgery for cervical ossification of the posterior longitudinal ligament. *J Spinal Cord Med*. 2017; 20: 1-9.
 7. Kubota S, Hara Y, Shimizu Y, Kadone H, Kubo T, Marushima A, Ueno T, Kawamoto H, Koda M, Matsumura A, Hada Y, Sankai Y, Yamazaki M. A newly developed upper limb single-joint HAL in a patient with elbow flexion reconstruction after traumatic brachial plexus injury: A case report. *Interdisciplinary Neurosurgery: Advanced Techniques and Case Management*. 2017, 10:66-68.
 8. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Ikumi A, Abe T, Marushima A, Ueno T, Endo A, Kawamoto H, Saotome K, Matsushita A, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Active elbow flexion is possible in C4 quadriplegia using hybrid assistive limb (HAL®) technology: A case study. *J Spinal Cord Med*. 2017
 9. Shimizu Y, Nakai K, Kadone H, Yamauchi S, Kubota S, Ueno T, Marushima A, Hiruta K, Endo A, Kawamoto H, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. The Hybrid Assistive Limb(R) intervention for a postoperative patient with spinal dural arteriovenous fistula and chronic spinal cord injury: a case study. *J Spinal Cord Med*. 2017
 10. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Suzuki K, Abe T, Ueno T, Soma Y, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Voluntary Ambulation by Upper Limb-Triggered HAL® in Patients with Complete Quadri/Paraplegia Due to Chronic Spinal Cord Injury. *Front Neurosci*. 2017
 11. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Suzuki K, Saotome K, Ueno T, Abe T, Marushima A, Watanabe H, Endo A, Tsurumi K, Ishimoto R, Matsushita A, Koda M, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Voluntary ambulation using voluntary upper limb muscle activity and Hybrid Assistive Limb® (HAL®) in a patient with complete paraplegia due to chronic spinal cord injury: A case report. *J Spinal Cord Med*, 2017 (*in press*)
 12. Taketomi M, Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Abe T, Marushima A, Ueno T, Endo A, Kawamoto H, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Hybrid assistive limb (HAL®) intervention in a patient with late neurological deterioration post-thoracic myelopathy surgery due to ossification of the ligamentum flavum. *Case rep Orthop*. 2017 (*in press*)
 13. 三浦紘世, 門根秀樹, 安部哲哉, 遠藤寛興, 村上秀樹, 山崎正志. 腰部支援用 HAL を用いたショベリング除雪反復動作における腰部負荷軽減効果. *日本脊髄障害医学会誌*. 2017, 30:84-85.
 14. 清水如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 上野友之, 羽田康司, 山崎正志. 脊椎脊髄疾患に対するロボットスーツ HAL を用いた機能回復治療. *関節外科* 2017, 36:541-550.
 15. 山内駿介, 清水 如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 上野友之, 羽田康司, 山崎正志. 脊髄硬膜動静脈瘻を発症した

- 慢性期脊髄損傷患者に対する HAL による機能回復治療. 日本脊髄障害医学会雑誌 2017 30:98-99.
16. 藤井賢吾, 安部哲哉, 久保田茂希, 船山徹, 山崎正志. 胸椎後縦靱帯骨化症に伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術＋ロボット治療. 日本脊髄障害医学会誌 2017; 30:136-138.
 17. 安部哲哉, 久保田茂希, 門根秀樹, 山崎正志. 術後慢性増悪に対するロボットリハビリテーション. Loco Cure 2017; 3:46-49.
2. 学会発表
1. 三浦紘世, 門根秀樹, 安部哲哉, 熊谷洋, 長島克弥, 藤井賢吾, 野口裕史, 船山徹, 羽田康司, 遠藤寛興, 村上秀樹, 土井田稔, 山崎正志. ショベリング除雪反復動作におけるロボットスーツ HAL の腰部負荷軽減効果. 第 46 回日本脊椎脊髄病学会 (札幌), 4 月, 2017.
 2. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 胸椎 OPLL に伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術＋ロボット歩行訓練による新たな治療. 第 46 回日本脊椎脊髄病学会学術集会 (札幌), 4 月, 2017.
 3. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 中山敬太, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットスーツ HAL を用いた機能回復治療の効果の解析. 第 46 回日本脊椎脊髄病学会学術集会 (札幌), 4 月, 2017.
 4. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 中山敬太, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 胸椎 OPLL に伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術＋ロボット歩行訓練による新たな治療. 第 90 回日本整形外科学会学術総会 (仙台), 5 月, 2017.
 5. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 中山敬太, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットスーツ HAL を用いた機能回復治療の効果の解析. 第 90 回日本整形外科学会学術総会 (仙台), 5 月, 2017.
 6. 三浦紘世, 門根秀樹, 安部哲哉, 熊谷洋, 長島克弥, 藤井賢吾, 野口裕史, 船山徹, 羽田康司, 國府田正雄, 遠藤寛興, 村上秀樹, 土井田稔, 山崎正志. ショベリング除雪反復動作におけるロボットスーツ HAL の腰部負荷軽減効果. 第 90 回日本整形外科学会 (仙台), 5 月, 2017.
 7. 久保田茂希, 安部哲哉, 清水如代, 門根秀樹, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 三浦紘世, 羽田康司, 菅谷久, 吉岡友和, 山海嘉之, 山崎正志. 頸・胸椎後縦靱帯骨化症に伴う重度歩行障害に対するロボットスーツ HAL による新たな治療. 第 32 回日本整形外科学会基礎学術集会 (那覇), 10 月, 2017.
 8. 久保田茂希, 安部哲哉, 清水如代, 門根秀樹, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 三浦紘世, 羽田康司, 菅谷久, 吉岡友和, 山海嘉之, 山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットスーツ HAL を用いた機能回復治療. 第 32 回日本整形外科学会基礎学術集会 (那覇), 10 月, 2017.
 9. 久保田茂希, 安部哲哉, 清水如代, 門根秀樹, 國府田正雄, 山崎正志. 術後慢性期頸椎 OPLL の歩行機能再増悪症例に対するロボットリハビリテーションの効果の検討. 第 52 回日本脊髄障害医学会 (千葉), 11 月, 2017.
 10. 三浦紘世, 門根秀樹, 熊谷洋, 長島克弥, 俣木健太郎, 藤井賢吾, 野口裕史, 船山徹, 安部哲哉, 羽田康司, 遠藤寛興, 村上秀樹, 土井田稔, 山崎正志. ショベリング除雪反復動作におけるロボットスーツ HAL の腰部負荷軽減効果. 第 32 回日本整形外科学会基礎学術集会 (沖縄), 10 月, 2017.
- H. 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

労災疾病臨床研究事業費補助金
分担研究報告書

重量物挙上動作に対する HAL®腰タイプ支援に関する 電気生理学的解析の研究

分担研究

門根 秀樹 筑波大学未来医工融合研究センター 助教
久保田 茂希 筑波大学医学医療系 整形外科 運動器再生医療学講座 助教

研究要旨

本年度は、昨年と同様に 25 歳から 45 歳までの健康成人ボランティア 9 例を対象とし、重量物挙上動作に対する HAL®腰タイプ支援に関する電気生理学的解析を行った。昨年の 9 例を加えた健常ボランティア 18 例は男：女が 11:7 で、平均年齢 30.6 歳、平均身長 170.4cm、平均体重 66.4kg であった。主評価項目は、重量物挙上において主要な役割を果たすと考えられる両側上腕二頭筋、広背筋、腰部脊柱起立筋、大殿筋、大腿四頭筋の筋電図評価とした。体幹・股関節の角度は光学式三次元動作分析装置を用いて算出し、筋電計と連動するように開発したプログラムを用いて、運動学的解析を行った。挙上および降下の動作フェーズは、体幹・股関節の角度から挙上期と非挙上期の 1～4 区間に分け、それぞれの区間の平均積分筋電図を算出した。

挙上動作では、HAL®腰タイプが上肢運動の支援を行わないため、HAL®腰タイプ支援なしで上肢の筋活動が疲労後に大きく上昇した。一方、HAL®腰タイプ支援において、腰部、臀部の筋活動は疲労前、疲労後ともに HAL®腰タイプ支援なしよりも低下し、腰部支援の結果であると考えた。また、降下動作では、HAL®腰タイプ支援ありで体幹筋（広背筋、脊柱起立筋）の筋活動量が、疲労前、疲労後とも HAL®腰タイプ支援なしよりも低下し、HAL®腰タイプの腰部支援の効果であると考えた。疲労前後の比較では、体幹筋の活動量の増加量が HAL®腰タイプ支援ありにおいて小さく、装着者の腰部疲労の蓄積が抑制された結果と考えた。

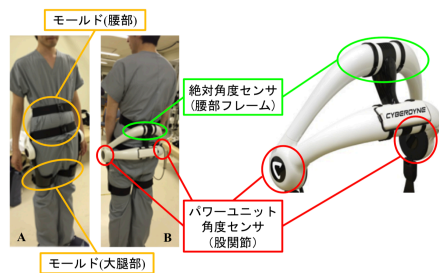
今回の研究の結果から、重量物の反復挙上動作において、HAL®腰タイプの装着は挙上動作と降下動作のいずれにも腰部負荷軽減の効果を示すことが電気生理学的に明らかとなった。

A. 研究目的

腰痛を有する患者はきわめて多く、厚生労働省による平成 25 年国民生活基礎調査では、有訴率は男性 9.2%、女性 11%となっており、男性では最も多い症状、女性では肩こりに次いで多い症状である[1]。腰痛自体の治療にかかる理学療法、投薬などの医療経費による直接的な経済損失と、腰痛による作業効率の低下ならびに休業による間接的な経済損失を合わせると社会に与える影響は非常に大きい。Itoh らは、日本国内における職業性腰痛の直接医療費を算出し、年々増加傾向にあり、2011 年度には 821 億円に至ったと報告している[2]。

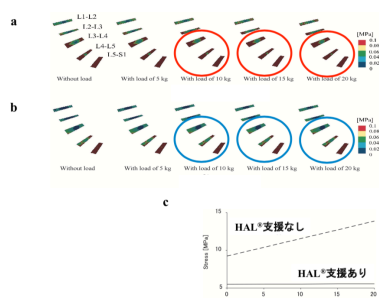
現在、業務上の腰部負荷を軽減する目的に、様々な外骨格型のアシストスーツが開発研究されており、市場に流通している。我々はその中で HAL®腰タイプに着目した。HAL®腰タイプは、

CYBERDYNE 社が開発した腰部負荷を軽減する外骨格型ロボットスーツである。2014 年 11 月に生活支援ロボットの国際安全規格 ISO12342 を取得し、重量物挙上業務、介護業務ですでに市場に流通している。HAL®腰タイプは、腰部と大腿部に取り付けられたモールドと呼ばれる固定具により装着し、股関節部に有するパワーユニットが、体幹屈曲・伸展と股関節屈曲・伸展の動作をアシストする動作機序である。装着者の脊柱起立筋の生体電位信号で駆動トルクが発生し (Cybernic voluntary control)、両モールドを介して体幹及び下肢に伝達される。また、絶対角度センサと角度センサから算出される装着者の上半身の体重に対する重力補償を Cybernic autonomous control で実現し、ハイブリッド制御する (下図)。



HAL腰タイプの構造

3次元骨格系モデルを用いた有限要素法による応力シミュレーション解析による基礎実験では、体幹前屈角度が大きい静止姿勢の重量物挙上動作における腰椎椎間板圧迫力が、鉛直下向き方向に荷重をかけた状態では、腰部負荷がHAL®腰タイプ支援下では支援がないときに比べ減少することを明らかにした[3]。



有限要素法を用いたHAL®腰タイプの腰部負荷の応力解析

我々は重量物挙上動作に対するHAL®腰タイプ支援は腰部負荷を軽減すると仮説を立て、本年は昨年に引き続き、HAL®腰タイプ支援と非支援における上肢、体幹および下肢の筋電位による生理学的評価を行ったので報告する。

B. 研究方法

【実験1】HAL®腰タイプ支援による重量物挙上動作の生理学的評価

1. 対象

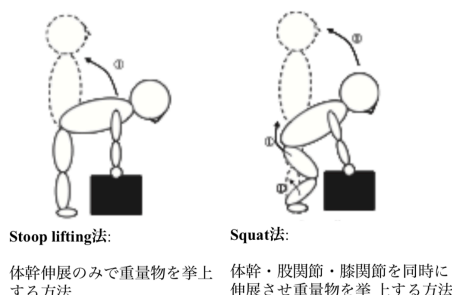
昨年と同様、現在治療中の循環器・呼吸器疾患や脊椎関節手術歴がなく、筋骨格系に障害のない25歳から45歳までの健康成人ボランティア9例を対象とし、筑波大学未来医工融合研究センター内で行った。

2. 検討項目

重量物挙上動作は、準備動作で膝関節を屈曲させず、体幹のみ伸展して挙上する stoop lifting法とし、重量物は約12kgのペットボトルが梱包された持ち手付きダンボールとした。

尚、重量物の設定については、厚生労働省が定める重量物取り扱い[5]に準じ、体重の15-30%となるように設定した。

メトロノームを使用し、1分15回の一定のペースで、床に置かれた重量物を立位姿勢から肘関節は完全伸展でStoop lifting法の挙上を開始してもらい、体幹が完全伸展となるまで挙上を行った後、床に置く動作までを一連とする挙上動作を、自覚的疲労度の限界まで実施してもらうことを課題とした(下左図)。

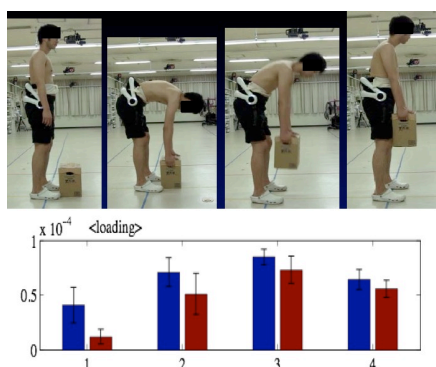


一連の動作課題をHAL®腰タイプ非支援下で行ってもらった後に、5分間の休憩で血圧ならびに脈拍が試験前の状態に回復したことを確認してから、HAL®腰タイプ支援下に実施した。

昨年の9例を加えた健常ボランティア18例は男：女が11：7で、平均年齢30.6歳、平均身長170.4cm、平均体重66.4kgであった。

尚、日本リハビリテーション医学会診療ガイドライン委員会が策定したリハビリテーション医療における安全管理・推進のためのガイドラインで示されているリハビリテーションの中止基準を遵守した[4]。

主評価項目は、重量物挙上において主要な役割を果たすと考えられる両側上腕二頭筋、広背筋、腰部脊柱起立筋、大殿筋、大腿四頭筋の筋電図評価とした(無線表面筋電計Delsys社 Tringo Lab, USA)。導出部位は、アルコール綿で清拭してから、筋の線維方向に電極を貼付した。体幹・股関節の角度は光学式三次元動作分析装置(VICON社 MX system, UK)を用いて算出し、筋電計Delsysと連動するように開発したプログラムを用いて、運動学的解析を行った。挙上および降下の動作フェーズは、VICONから得られる体幹・股関節の角度から挙上期と非挙上期の1~4区間に分け、それぞれの区間の平均積分筋電図を算出した(左下図)。

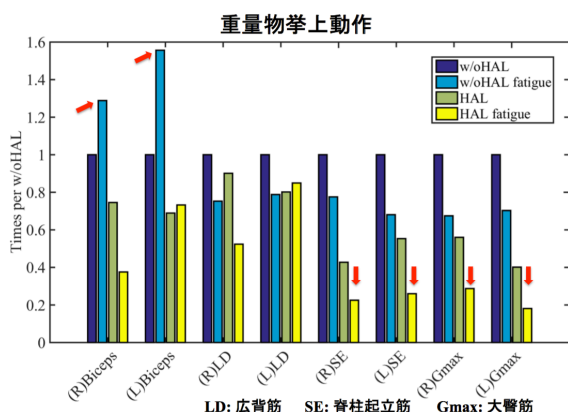


C. 研究結果

【実験 1】

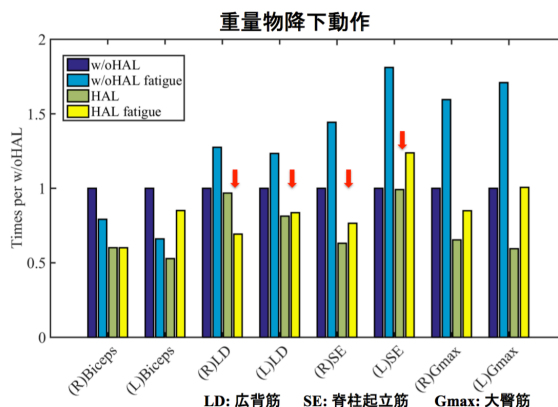
1) HAL®腰タイプ支援による重量物挙上動作の生理学的評価

HAL®腰タイプ支援なしとありの重量物挙上動作と降下動作における代表症例の筋電図変化を図に示す。挙上動作では、HAL®腰タイプ支援なしで上肢の筋活動が疲労後に大きく上昇した。これは HAL®腰タイプが上肢運動の支援を行わなためであると考ええる。一方、HAL®腰タイプ支援において、腰部、臀部の筋活動は疲労前、疲労後ともに HAL®腰タイプ支援なしよりも低下した。これは HAL®腰タイプの装着による腰部支援の結果であると考ええる（下図）。



一方、降下動作では、HAL®腰タイプ支援ありで体幹筋（広背筋、脊柱起立筋）の筋活動量が、疲労前、疲労後とも HAL®腰タイプ支援なしよりも低下した。これは HAL®腰タイプの腰部支援の効果であると考ええる。疲労前後の比較では、HAL®腰タイプ支援の有無に関わらず体幹筋の活動量が疲労後に増加していた。この増加量は HAL®腰タイプ支援ありにおいて支援なしよりも小さいため、HAL®腰タイプ支援により装着者

の腰部疲労の蓄積が抑制された結果と考える（下図）。



このことから、重量物反復挙上動作における HAL 腰タイプの支援は、装着者の体幹筋の筋活動量を軽減することで腰部疲労の蓄積を抑制し、報告書-2 の結果のような最大作業回数や時間が増加させる効果があることが分かった。

本研究の結果から、HAL®腰タイプ支援により腰部負荷の軽減および作業省力化の効果が電気生理学的に明らかにできた。

2) 有害事象

有害事象の発生はなく、全例で課題は完遂できた。

D. 考察

HAL®腰タイプは腰部負荷を軽減する外骨格型ロボットスーツであるが、装着者の脊柱起立筋の随意的生体電位信号で駆動トルクが発生することが、他の腰部負荷軽減を目的として開発された外骨格型ロボットと決定的に異なる点である。今回の研究の結果から、重量物の反復挙上動作において、HAL®腰タイプの装着は挙上動作と降下動作のいずれにも腰部負荷軽減の効果を示すことが電気生理学的に明らかとなった。

職業性腰痛の社会的問題に対応すべく、HAL®腰タイプ以外にも腰部装着型の外骨格型ロボットが開発されている。日本国内において、東京理科大学のグループが開発したマッスルスーツは、空気圧で伸縮するゴム人工筋肉が呼吸スイッチにより作動して、重量物挙上時の腰部負荷を軽減するメカニズムを有する。佐藤らは、重量物挙上時の脊柱起立筋の表面筋電図から積分筋電値を測定して、10kg の重量物挙上がマッスルスーツにより少なくとも 30%以上積分筋電値を減少させると報告している[6]。

和歌山大学のグループが開発したパワーアシストスーツは、手袋のタッチスイッチの入力信号に基づいた動作意図推定のメカニズムを有し、重量物挙上時に股関節部の電動モーターが抗重力方向のアシストを行う。八木らは、重量物挙上動作における呼気ガス分析を用いた酸素消費率とエネルギー消費量を算出し、13kgの重量物挙上では、パワーアシストスーツを装着することで、酸素消費率とエネルギー消費量はそれぞれ平均3.7%、12.6%の減少率を示した。また、23kgの重量物挙上ではそれぞれ平均20.6%、34.8%の減少率を示したと報告している[7]。

北海道大学のグループが開発したスマートスーツ・ライトは、補助対象動作の3次元動作解析による動作と身体負担の関係を定量化する手法と、スキニングモデルによる弾性材配置と特性の最適設計を行うMotion Based Assist技術が用いられた。胸部パッドから腰部の動滑車を介して脚部まで後背部に配置した弾性材による弾性力を補助力源とし、筋力補助効果と体幹安定化効果とを併せ持つパッシブ型パワーアシストスーツである。筋電図解析では、擬似的な移乗介助動作において後背部筋群の積分筋電位が24.4%軽減することを示した。また、ヒューマロイドロボットHRP-4Cにスマートスーツ・ライトを装着し、前屈運動を行い、腰の関節トルクが非装着時に比べて25.8%軽減したことを報告している。また、札幌市内の病院や介護施設で臨床試験を実施しており、病院勤務する介護職20名を対象とした臨床試験では、介護勤務において被験者が85%の自覚的な腰部負担の軽減効果を実感し、介護施設における介護職30名を対象とした臨床試験では、非装着時に比べて、疲労感の増加量が全身で12.2%、腰部で13.6%減少したと報告している[8]。

一方、カナダでは重量物挙上支援のデバイスとして、on-body personal lift augmentation device (PLAD)が開発されている。筋力訓練で用いられるセラバンドの弾性を利用し、体幹背側のセラバンドが体幹前屈時に伸張され、体幹を伸展して重量物を挙上する際に、セラバンドが元に戻ろうとする力を利用するメカニズムである。Abdoli-Eらは、重量物挙上における表面筋電図を計測して、PLAD利用により腰部傍脊柱筋と胸部傍脊柱筋で、それぞれ14%と27%の筋活動の低減が認められたと報告している[9-10]。

HAL®腰タイプは、装着者の脊柱起立筋の随意的生体電位信号で駆動トルクが発生することが極めて特徴的であり、随意筋活動でロボットと

連動して動くという感覚が、装着者の精神的なモチベーションも向上させる効果もあることが明らかになってきている[11]。今後は腰部負担を軽減する外骨格型ロボットスーツHAL®腰タイプを用いて、高齢者で運動器不安定症を有する患者群を対象とした腰部負担軽減効果についても明らかにしていく。

E. 結論

今回の研究の結果から、重量物の反復挙上動作において、HAL®腰タイプの装着は挙上動作と降下動作のいずれにも腰部負担軽減の効果を示すことが電気生理学的に明らかとなった。

参考文献

1. 厚生労働省：国民生活基礎調査. 2013.
2. Itoh H, Kitamura F, Yokohama K. Estimates of annual medical costs of work-related low back pain in Japan. *Industrial Health*. 51: 524-529, 2013
3. 原大雅, 山海嘉之. 3次元骨格系モデルによる腰部支援用HALの動作支援評価. *生体医工学*. 50: 111-116, 2012
4. 日本リハビリテーション医学会診療ガイドライン委員会：リハビリテーションにおける安全管理・推進のためのガイドライン. 医歯薬出版. 2006.
5. 労働省基発 547 号. 職場における腰痛予防対策指針. 1994.
6. 佐藤裕, 何佳欧, 小林寛征, 他. 腰補助用マッスルスーツの開発と定量的評価. *日本機械学会論文集*. 2012:268-280.
7. 八木栄一, 佐藤元伸, 佐藤和男, 他. 歩行と持ち上げ動作を支援するための電動パワーアシストスーツの検証実験. *日本機械学会論文集*. 2015;81:830.
8. 田中孝之. Assisted Products- スマートスーツ・ライト-. *J Clin Rehabilitation*. 2016;22:893-899.
9. Abdoli-E M, Agnew MJ, Stevenson JM. An on-body personal lift augmentation device (PLAD) reduces EMG amplitude of erector spinae during lifting tasks. *Clin Biomech*. 2006;21:456-465.
10. Abdoli-E M, Stevenson JM. The effect of on-body lift assistive device on the lumbar 3D dynamic moments and EMG during asymmetric freestyle lifting. *Clin Biomech*. 2008;23:372-380.
11. Gruneberg P, Kadone H, Kuramoto N, et

al. Robot-assisted voluntary initiation reduces control-related difficulties of initiating joint movement: A phenomenal questionnaire study on shaping and compensation of forward gait. PLoS one 2018;13(30):e0194214.

G. 研究発表

1. 論文発表

1. Gruneberg P, Kadone H, Kuramoto N, Ueno T, Hada Y, Yamazaki M, Sankai Y, Suzuki K. Robot-assisted voluntary initiation reduces control-related difficulties of initiating joint movement: A phenomenal questionnaire study on shaping and compensation of forward gait. PLoS one 2018;13(30):e0194214.
2. Miura K, Kadone H, Koda M, Abe T, Kumagai H, Nagashima K, Fujii K, Mataka K, Noguchi H, Funayama T, Kawamoto H, Sankai Y, Yamazaki M. The hybrid assistive limb (HAL) for Care Support successfully reduced lumbar load in repetitive lifting movements. J Clin Neurosci. 2018 (*in press*)
3. Miura K, Koda M, Kadone H, Kubota S, Shimizu Y, Kumagai H, Nagashima K, Mataka K, Fujii K, Noguchi H, Funayama T, Abe T, Sankai Y, Yamazaki M. Gait training using a hybrid assistive limb (HAL) attenuates head drop. J Clin Neurosci. 2018; 52: 141-144.
4. Kubota S, Abe T, Koda M, Kadone H, Shimizu Y, Mataka Y, Noguchi H, Fujii K, Marushima A, Funayama T, Kawamoto H, Hada Y, Sankai Y, Yamazaki M. Application of a newly developed upper limb single-joint hybrid assistive limb for postoperative C5 paralysis: an initial case report indicating its safety and feasibility. J Clin Neurosci. 2018; 50: 268-271.
5. Miura K, Kadone H, Koda M, Abe T, Endo H, Murakami H, Doita M, Kumagai H, Nagashima K, Fujii K, Noguchi H, Funayama T, Kawamoto H, Sankai Y, Yamazaki M. The hybrid assisted limb (HAL) for Care Support, a motion assisting robot providing exoskeletal lumbar support, can potentially reduce lumbar load in repetitive snow-shoveling movements. J Clin Neurosci. 2018; 49: 83-86.
6. Kubota S, Abe T, Kadone H, Fujii K, Shimizu Y, Marushima A, Ueno T, Kawamoto H, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M. Walking ability following Hybrid Assistive Limb treatment for a patient with chronic myelopathy after surgery for cervical ossification of the posterior longitudinal ligament. J Spinal Cord Med. 2017; 20: 1-9.
7. Kubota S, Hara Y, Shimizu Y, Kadone H, Kubo T, Marushima A, Ueno T, Kawamoto H, Koda M, Matsumura A, Hada Y, Sankai Y, Yamazaki M. A newly developed upper limb single-joint HAL in a patient with elbow flexion reconstruction after traumatic brachial plexus injury: A case report. Interdisciplinary Neurosurgery: Advanced Techniques and Case Management. 2017, 10:66-68.
8. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Ikumi A, Abe T, Marushima A, Ueno T, Endo A, Kawamoto H, Saotome K, Matsushita A, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Active elbow flexion is possible in C4 quadriplegia using hybrid assistive limb (HAL®) technology: A case study. J Spinal Cord Med. 2017
9. Shimizu Y, Nakai K, Kadone H, Yamauchi S, Kubota S, Ueno T, Marushima A, Hiruta K, Endo A, Kawamoto H, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. The Hybrid Assistive Limb(R) intervention for a postoperative patient with spinal dural arteriovenous fistula and chronic spinal cord injury: a case study. J Spinal Cord Med. 2017
10. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Suzuki K, Abe T, Ueno T, Soma Y, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Voluntary Ambulation by Upper Limb-Triggered HAL® in Patients with Complete

- Quadri/Paraplegia Due to Chronic Spinal Cord Injury. Front Neurosci. 2017
11. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Suzuki K, Saotome K, Ueno T, Abe T, Marushima A, Watanabe H, Endo A, Tsurumi K, Ishimoto R, Matsushita A, Koda M, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Voluntary ambulation using voluntary upper limb muscle activity and Hybrid Assistive Limb® (HAL®) in a patient with complete paraplegia due to chronic spinal cord injury: A case report. J Spinal Cord Med, 2017 (*in press*)
 12. Taketomi M, Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Abe T, Marushima A, Ueno T, Endo A, Kawamoto H, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Hybrid assistive limb (HAL®) intervention in a patient with late neurological deterioration post-thoracic myelopathy surgery due to ossification of the ligamentum flavum. Case rep Orthop. 2017 (*in press*)
 13. 三浦紘世, 門根秀樹, 安部哲哉, 遠藤寛興, 村上秀樹, 山崎正志. 腰部支援用HALを用いたショベリング除雪反復動作における腰部負荷軽減効果. 日本脊髄障害医学会誌. 2017, 30:84-85.
 14. 清水如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 上野友之, 羽田康司, 山崎正志. 脊椎脊髄疾患に対するロボットスーツ HALを用いた機能回復治療. 関節外科 2017, 36:541-550.
 15. 山内駿介, 清水 如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 上野友之, 羽田康司, 山崎正志. 脊髄硬膜動静脈瘻を発症した慢性期脊髄損傷患者に対する HAL による機能回復治療. 日本脊髄障害医学会雑誌 2017 30:98-99.
 16. 藤井賢吾, 安部哲哉, 久保田茂希, 船山徹, 山崎正志. 胸椎後縦靱帯骨化症に伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術+ロボット治療. 日本脊髄障害医学会誌 2017; 30:136-138.
 17. 安部哲哉, 久保田茂希, 門根秀樹, 山崎正志. 術後慢性増悪に対するロボットリハビリテーション. Loco Cure 2017; 3:46-49.
- ## 2. 学会発表
1. 三浦紘世, 門根秀樹, 安部哲哉, 熊谷洋, 長島克弥, 藤井賢吾, 野口裕史, 船山徹, 羽田康司, 遠藤寛興, 村上秀樹, 土井田稔, 山崎正志. ショベリング除雪反復動作におけるロボットスーツHALの腰部負荷軽減効果. 第46回日本脊椎脊髄病学会 (札幌), 4月, 2017.
 2. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 胸椎 OPLL に伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術+ロボット歩行訓練による新たな治療. 第 46 回日本脊椎脊髄病学会学術集会 (札幌), 4月, 2017.
 3. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 中山敬太, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットスーツHALを用いた機能回復治療の効果の解析. 第46回日本脊椎脊髄病学会学術集会 (札幌), 4月, 2017.
 4. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 中山敬太, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 胸椎OPLLに伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術+ロボット歩行訓練による新たな治療. 第90回日本整形外科学会学術総会 (仙台), 5月, 2017.
 5. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 中山敬太, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットスーツHALを用いた機能回復治療の効果の解析. 第90回日本整形外科学会学術総会 (仙台), 5月, 2017.
 6. 三浦紘世, 門根秀樹, 安部哲哉, 熊谷洋, 長島克弥, 藤井賢吾, 野口裕史, 船山徹, 羽田康司, 國府田正雄, 遠藤寛興, 村上秀樹, 土井田稔, 山崎正志. ショベリング除雪反復動作におけるロボットスーツHALの腰部負荷軽減効果. 第90回日本整形外科学会 (仙台), 5月, 2017
 7. 久保田茂希, 安部哲哉, 清水如代, 門根秀樹, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 三浦紘世, 羽田康司, 菅谷久, 吉岡友和, 山海嘉之, 山崎正志. 頤・胸椎後縦靱帯骨化症に伴う重度歩行障害に対するロボットスーツ HAL による新たな治療. 第 32 回日本整形

- 外科学会基礎学術集会（那覇），10月，2017.
8. 久保田茂希，安部哲哉，清水如代，門根秀樹，藤井賢吾，船山徹，野口裕史，三浦紘世，羽田康司，菅谷久，吉岡友和，山海嘉之，山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットスーツHALを用いた機能回復治療. 第32回日本整形外科学会基礎学術集会（那覇），10月，2017.
9. 久保田茂希，安部哲哉，清水如代，門根秀樹，國府田正雄，山崎正志. 術後慢性期頸椎 OPLL の歩行機能再増悪症例に対するロボットリハビリテーションの効果の検討. 第 52 回日本脊髄障害医学会（千葉），11月，2017.
10. 三浦紘世，門根秀樹，熊谷洋，長島克弥，

俣木健太朗，藤井賢吾，野口裕史，船山徹，安部哲哉，羽田康司，遠藤寛興，村上秀樹，土井田稔，山崎正志. ショベリング除雪反復動作におけるロボットスーツHALの腰部負荷軽減効果. 第32回日本整形外科学会基礎学術集会（沖縄），10月，2017

H. 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

バイオマーカー解析や疾患群に対する HAL®腰タイプ支援の評価に 向けた新たなプロトコルに関する研究

分担研究

國府田 正雄 筑波大学医学医療系 整形外科 准教授
山崎 正志 筑波大学医学医療系 整形外科 教授

研究要旨

本年度は、特異的・非特異的腰痛に対する HAL®腰タイプを用いた運動療法のプロトコルを確立し、その有効性を明らかにすることを最終目標として、その第一歩として慢性腰痛症患者に対する HAL®腰タイプ支援の評価を行うプロトコルの安全性試験を行った。

約 6kg のペットボトルが梱包された持ち手付きダンボールを重量物とし、体幹・股関節・膝関節を同時に伸展して挙上する Squat 法による 1 分 15 回の一定のペースで 3 分間の重量物挙上動作は、安全に実施可能であった。

今後は 20 歳から 65 歳未満の運動器不安定症と診断される疾患群に対する本プロトコルの安全性を検証し、さらに HAL®腰タイプ支援による腰部負荷の軽減効果や腰痛の治療効果を明らかにしていく。

A. 研究目的

全国民のうち腰痛を有する者はきわめて多く[1]、腰痛の治療にかかる医療経費による直接的な経済損失と、腰痛のため作業効率の低下ならびに休業による間接的な経済損失を合わせると社会に与える影響は非常に大きい[2]。腰痛は原因疾患を特定しうる特異的腰痛と、現在の医療では原因を特定しきれない非特異的腰痛に大別される。腰痛全体に占める非特異的腰痛の割合は実に 70%にも上るとする報告がある。非特異的腰痛は慢性化し患者さんの社会的・心理的問題をも引き起こし難治性となることが少なくないので、治療上の大きな問題である。腰痛診療ガイドラインによれば、非特異的腰痛に対して推奨しうる治療法は、投薬及び運動療法である。このうち投薬に関しては NSAIDs やアセトアミノフェン等が第一選択として高いエビデンスレベルをもって推奨されており[3]、日常診療でも頻用されている。一方、運動療法については推奨されているものの[4]、運動強度・方法などが確立されておらず、各々の医師・理学療法士の経験に委ねられているのが現状である。

特異的・非特異的腰痛に対する運動療法の標準化を図り、特異的・非特異的腰痛の治療アウトカム向上が得られれば、その対象患者数の多さからして、受益者数は非常に多数となりうる。また特異的・非特異的腰痛に関連する直接

的、間接的な経済損失の軽減も無視できない利点となりうる。

我々は現在までに健常ボランティアにおける重量物挙上動作反復課題で、HAL®腰タイプ支援による動作効率の向上や腰部疲労度の軽減といった効果を明らかにした。また、腰部への負荷が非常に大きな雪かき動作反復課題においても HAL®腰タイプ装着によって腰部疲労度の軽減と作業効率向上が得られることを報告した。

これらの先行研究より、健常者においては大きな腰部負荷において HAL®腰タイプ装着下でも腰部疲労感の増大や腰痛の誘発などなく、安全に重量物挙上の負荷を与えることが可能であることが判明した。従って特異的・非特異的腰痛患者においても HAL®腰タイプを用いた運動療法による腰部損傷・腰痛増悪などの危険性は非常に低いものと想定される。特異的・非特異的腰痛患者に対して HAL®腰タイプを用いた運動療法を行えば、現在のところ医師・理学療法士の経験に任せている運動療法のプロトコルを均一化・可視化することが可能となる。このことは、特異的・非特異的腰痛に対する運動療法の真の効果を明らかにするためにも、大変重要で必要なものである。

本研究では、最終的に特異的・非特異的腰痛に対する HAL®腰タイプを用いた運動療法のプロトコルを確立し、その有効性を明らかにすることを目標とし、その第一歩として、特異的・非特異的腰痛患者に対する HAL®腰タイプ支援の評価を行うプロトコルの安全性試験を行ったので報告する。

B. 研究方法

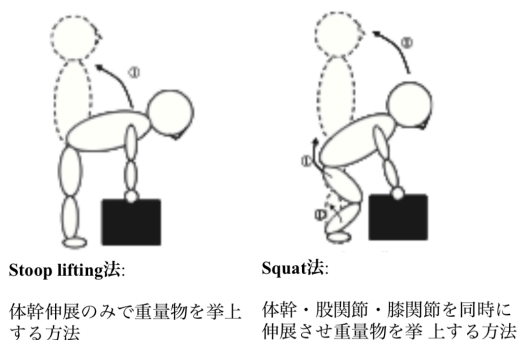
【実験1】バイオマーカー解析や疾患群に対するHAL®腰タイプ支援の評価に向けた新たなプロトコルに関する研究

1. 対象

被験者は20歳代の健常成人ボランティア4例とした。安全性検証の観点から、既往症に循環器呼吸器疾患、脊椎疾患のないことを確認した。平均年齢は22.8歳、身長は166.5cm、平均体重は58.3kgで、柔軟性はFFDが平均4.9cm、背筋力は平均123.3kgであった。本研究について、事前に十分な説明を行い、同意を得てから実施した。

2. 検討項目

重量物挙上動作は、準備動作で体幹・股関節・膝関節を屈曲し、同時に伸展して挙上するSquat法とし（下右図）、重量物は約6kgのペットボトルが梱包された持ち手付きダンボールとした。尚、重量物の設定については、厚生労働省が定める重量物取り扱い[5]に準じ、体重の約10%となるように設定した。また、日本リハビリテーション医学会診療ガイドライン委員会が策定したリハビリテーション医療における安全管理・推進のためのガイドラインで示されているリハビリテーションの中止基準を遵守した[6]。



メトロノームを使用し、1分15回の一定のペースで、床に置かれた重量物を立位姿勢から肘関節は完全伸展で、Squat法の挙上を開始してもらい、体幹が完全伸展となるまで挙上を行った後、床に置く動作までを一連とする挙上動作を、3分間（180秒）実施してもらうことを課題とした。

一連の動作課題をHAL®腰タイプ非支援下で行ってもらった後に、5分間の休憩で血圧ならびに脈拍が試験前の状態に回復したことを確認してから、HAL®腰タイプ支援下を実施した。

主評価項目は、腰部疲労度VAS(Visual

analogue scale)と有害事象とした。

C. 研究結果

【実験1】バイオマーカー解析や疾患群に対するHAL®腰タイプ支援の評価に向けた新たなプロトコルに関する研究

1) 安全性の検証

全4例において、HAL®腰タイプ支援の有無に関わらず、課題後の収縮期血圧が40mmHg以上の上昇や拡張期血圧20mmHg以上の上昇は認めず、脈拍数も140/分を超えることはなかった。また、HAL®腰タイプ装着による腰痛の出現はなかった。

2) 有害事象

全4例において、HAL®腰タイプ支援の有無に関わらず、3分間に46回の反復挙上動作を実施でき、有害事象の発生はなかった。

3) 腰部疲労度VAS

HAL®腰タイプ非支援下の腰部疲労度は平均4.5（1.8-6.5）で、HAL®腰タイプ支援下では平均3.1（1.6-3.6）であった。新たなプロトコルの腰部負荷は、HAL®腰タイプ非支援下の腰部疲労度から判断すると妥当であると考えた。また、HAL®腰タイプ支援下で腰部負荷軽減が認められたことから、HAL®腰タイプ支援の効果を評価できるプロトコルであると考えた。

D. 考察

運動療法は、急性期（発症早期）以外の特異的・非特異的腰痛に対して適応がある。特に、慢性腰痛症に対しては主体となる治療法であると考えられている[7]。具体的な推奨プログラムは(1)ストレッチング、(2)筋力増強訓練、(3)体力の向上、(4)動的訓練（神経・筋協調運動の改善）、(5)腰部安定化運動（深部筋群の選択的強化）などと言われる。白土らによる20歳以上65歳未満の患者を対象とした国内の多施設前向き無作為群間比較試験（Japan LET Study）によれば、週1回の外来通院による体幹筋訓練とストレッチングを10回1セット、1日2セット以上を行う運動療法は、8週間のNSAIDs内服より効果が優れることを明らかにした。

装着者の随意の生体電位信号で駆動するHAL®腰タイプ支援下のSquat動作は、体幹や下肢のストレッチングおよび動的訓練の要素を含み、同時に下位腰椎椎間板にかかる圧力を軽減するため、慢性腰痛症に対する新たな治療法になる可能性があると考えられる。

今後は20歳から65歳未満の運動器不安定症

と診断される疾患群に対する本プロトコルの安全性を検証し、さらに HAL®腰タイプ支援による腰部負荷の軽減効果や腰痛の治療効果を明らかにしていく。また、本プロトコルを用いたバイオマーカー解析も実施する。

E. 結論

約 6kg のペットボトルが梱包された持ち手付きダンボールを重量物とし、体幹・股関節・膝関節を同時に伸展して挙上する Squat 法による 1 分 15 回の一定のペースで 3 分間の重量物挙上動作は、安全に実施可能であった。

参考文献

1. 厚生労働省：国民生活基礎調査. 2013.
2. Itoh H, Kitamura F, Yokohama K. Estimates of annual medical costs of work-related low back pain in Japan. *Industrial Health*. 2013;51:524-529.
3. 松平 浩, 川口 哲. 腰痛の薬物治療の実際. *Clin Calcium* 2005; 15:429-436.
4. Airaksinen O, Brox JL, Cedraschi C, et al. European guidelines for the management of chronic nonspecific low back pain. *Eur Spine* 2004;15 Suppl 2:S192-300.
5. 労働省基発 547 号. 職場における腰痛予防対策指針. 1994.
6. 日本リハビリテーション医学会診療ガイドライン委員会：リハビリテーションにおける安全管理・推進のためのガイドライン. 医歯薬出版. 2006.
7. Shirado O, Ito T, Kikumoto T, et al. A novel back school using a multidisciplinary team approach featuring quantitative functional evaluation and therapeutic exercises for patients with chronic low-back pain; The Japanese experience in general setting. *Spine* 2005;30:1219-1225.

G. 研究発表

1. 論文発表

1. Gruneberg P, Kadone H, Kuramoto N, Ueno T, Hada Y, Yamazaki M, Sankai Y, Suzuki K. Robot-assisted voluntary initiation reduces control-related difficulties of initiating joint movement: A phenomenal questionnaire

study on shaping and compensation of forward gait. *PLoS one* 2018;13(30):e0194214.

2. Miura K, Kadone H, Koda M, Abe T, Kumagai H, Nagashima K, Fujii K, Mataka K, Noguchi H, Funayama T, Kawamoto H, Sankai Y, Yamazaki M. The hybrid assistive limb (HAL) for Care Support successfully reduced lumbar load in repetitive lifting movements. *J Clin Neurosci*. 2018 (*in press*)
3. Miura K, Koda M, Kadone H, Kubota S, Shimizu Y, Kumagai H, Nagashima K, Mataka K, Fujii K, Noguchi H, Funayama T, Abe T, Sankai Y, Yamazaki M. Gait training using a hybrid assistive limb (HAL) attenuates head drop. *J Clin Neurosci*. 2018; 52: 141-144.
4. Kubota S, Abe T, Koda M, Kadone H, Shimizu Y, Mataka Y, Noguchi H, Fujii K, Marushima A, Funayama T, Kawamoto H, Hada Y, Sankai Y, Yamazaki M. Application of a newly developed upper limb single-joint hybrid assistive limb for postoperative C5 paralysis: an initial case report indicating its safety and feasibility. *J Clin Neurosci*. 2018; 50: 268-271.
5. Miura K, Kadone H, Koda M, Abe T, Endo H, Murakami H, Doita M, Kumagai H, Nagashima K, Fujii K, Noguchi H, Funayama T, Kawamoto H, Sankai Y, Yamazaki M. The hybrid assisted limb (HAL) for Care Support, a motion assisting robot providing exoskeletal lumbar support, can potentially reduce lumbar load in repetitive snow-shoveling movements. *J Clin Neurosci*. 2018; 49: 83-86.
6. Kubota S, Abe T, Kadone H, Fujii K, Shimizu Y, Marushima A, Ueno T, Kawamoto H, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M. Walking ability following Hybrid Assistive Limb treatment for a patient with chronic myelopathy after surgery for cervical ossification of the posterior longitudinal ligament. *J Spinal Cord Med*. 2017; 20: 1-9.

7. Kubota S, Hara Y, Shimizu Y, Kadone H, Kubo T, Marushima A, Ueno T, Kawamoto H, Koda M, Matsumura A, Hada Y, Sankai Y, Yamazaki M. A newly developed upper limb single-joint HAL in a patient with elbow flexion reconstruction after traumatic brachial plexus injury: A case report. *Interdisciplinary Neurosurgery: Advanced Techniques and Case Management*. 2017, 10:66-68.
 8. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Ikumi A, Abe T, Marushima A, Ueno T, Endo A, Kawamoto H, Saotome K, Matsushita A, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Active elbow flexion is possible in C4 quadriplegia using hybrid assistive limb (HAL®) technology: A case study. *J Spinal Cord Med*. 2017
 9. Shimizu Y, Nakai K, Kadone H, Yamauchi S, Kubota S, Ueno T, Marushima A, Hiruta K, Endo A, Kawamoto H, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. The Hybrid Assistive Limb(R) intervention for a postoperative patient with spinal dural arteriovenous fistula and chronic spinal cord injury: a case study. *J Spinal Cord Med*. 2017
 10. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Suzuki K, Abe T, Ueno T, Soma Y, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Voluntary Ambulation by Upper Limb-Triggered HAL® in Patients with Complete Quadri/Paraplegia Due to Chronic Spinal Cord Injury. *Front Neurosci*. 2017
 11. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Suzuki K, Saotome K, Ueno T, Abe T, Marushima A, Watanabe H, Endo A, Tsurumi K, Ishimoto R, Matsushita A, Koda M, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Voluntary ambulation using voluntary upper limb muscle activity and Hybrid Assistive Limb® (HAL®) in a patient with complete paraplegia due to chronic spinal cord injury: A case report. *J Spinal Cord Med*, 2017 (*in press*)
 12. Taketomi M, Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Abe T, Marushima A, Ueno T, Endo A, Kawamoto H, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Hybrid assistive limb (HAL®) intervention in a patient with late neurological deterioration post-thoracic myelopathy surgery due to ossification of the ligamentum flavum. *Case rep Orthop*. 2017 (*in press*)
 13. 三浦紘世, 門根秀樹, 安部哲哉, 遠藤寛興, 村上秀樹, 山崎正志. 腰部支援用HALを用いたショベリング除雪反復動作における腰部負荷軽減効果. *日本脊髄障害医学会誌*. 2017, 30:84-85.
 14. 清水如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 上野友之, 羽田康司, 山崎正志. 脊椎脊髄疾患に対するロボットスーツ HALを用いた機能回復治療. *関節外科* 2017, 36:541-550.
 15. 山内駿介, 清水 如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 上野友之, 羽田康司, 山崎正志. 脊髄硬膜動静脈瘻を発症した慢性期脊髄損傷患者に対する HAL による機能回復治療. *日本脊髄障害医学会雑誌* 2017 30:98-99.
 16. 藤井賢吾, 安部哲哉, 久保田茂希, 船山徹, 山崎正志. 胸椎後縦靱帯骨化症に伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術+ロボット治療. *日本脊髄障害医学会誌* 2017; 30:136-138.
 17. 安部哲哉, 久保田茂希, 門根秀樹, 山崎正志. 術後慢性増悪に対するロボットリハビリテーション. *Loco Cure* 2017; 3:46-49.
2. 学会発表
 1. 三浦紘世, 門根秀樹, 安部哲哉, 熊谷洋, 長島克弥, 藤井賢吾, 野口裕史, 船山徹, 羽田康司, 遠藤寛興, 村上秀樹, 土井田稔, 山崎正志. ショベリング除雪反復動作におけるロボットスーツHALの腰部負荷軽減効果. 第46回日本脊椎脊髄病学会(札幌), 4月, 2017.
 2. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 胸椎 OPLL に伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術+ロボット歩行訓練による新たな治療. 第 46 回日本脊椎脊髄病学会学術集会(札幌), 4

- 月，2017.
3. 久保田茂希，安部哲哉，藤井賢吾，船山徹，野口裕史，中山敬太，三浦紘世，門根秀樹，清水如代，羽田康司，山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットスーツHALを用いた機能回復治療の効果の解析. 第46回日本脊椎脊髄病学会学術集会（札幌），4月，2017.
4. 久保田茂希，安部哲哉，藤井賢吾，船山徹，野口裕史，中山敬太，三浦紘世，門根秀樹，清水如代，羽田康司，山崎正志. 胸椎OPLLに伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術＋ロボット歩行訓練による新たな治療. 第90回日本整形外科学会学術総会（仙台），5月，2017.
5. 久保田茂希，安部哲哉，藤井賢吾，船山徹，野口裕史，中山敬太，三浦紘世，門根秀樹，清水如代，羽田康司，山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットスーツHALを用いた機能回復治療の効果の解析. 第90回日本整形外科学会学術総会（仙台），5月，2017.
6. 三浦紘世，門根秀樹，安部哲哉，熊谷洋，長島克弥，藤井賢吾，野口裕史，船山徹，羽田康司，國府田正雄，遠藤寛興，村上秀樹，土井田稔，山崎正志. ショベリング除雪反復動作におけるロボットスーツHALの腰部負荷軽減効果. 第90回日本整形外科学会（仙台），5月，2017
7. 久保田茂希，安部哲哉，清水如代，門根秀樹，藤井賢吾，船山徹，野口裕史，三浦紘世，羽田康司，菅谷久，吉岡友和，山海嘉之，山崎正志. 頸・胸椎後縦靱帯骨化症に伴う重度歩行障害に対するロボットスーツHALによる新たな治療. 第32回日本整形外科学会基礎学術集会（那覇），10月，2017.
8. 久保田茂希，安部哲哉，清水如代，門根秀樹，藤井賢吾，船山徹，野口裕史，三浦紘世，羽田康司，菅谷久，吉岡友和，山海嘉之，山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットスーツHALを用いた機能回復治療. 第32回日本整形外科学会基礎学術集会（那覇），10月，2017.
9. 久保田茂希，安部哲哉，清水如代，門根秀樹，國府田正雄，山崎正志. 術後慢性期頸椎 OPLL の歩行機能再増悪症例に対するロボットリハビリテーションの効果の検討. 第52回日本脊髄障害医学会（千葉），11月，2017.
10. 三浦紘世，門根秀樹，熊谷洋，長島克弥，俣木健太郎，藤井賢吾，野口裕史，船山徹，安部哲哉，羽田康司，遠藤寛興，村上秀樹，土井田稔，山崎正志. ショベリング除雪反復動作におけるロボットスーツHALの腰部負荷軽減効果. 第32回日本整形外科学会基礎学術集会（沖縄），10月，2017

H. 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

重量物取り扱い動作に対する HAL®腰タイプ支援に関するバイオマーカー解析の研究

研究分担者

丸島 愛樹 筑波大学医学医療系 脳神経外科、救急・集中治療科 講師
松村 明 筑波大学医学医療系 脳神経外科 教授

研究要旨

昨年度に、脳主幹動脈閉塞症に対する再開通療法における脳酸化ストレス度の評価として血清中のフリーラジカルを測定して、組織酸化ストレス度のモニタリングとして有用であることを報告した。本年度は実際に、健常成人男性ボランティア2名に対して、装着型ロボット HAL®腰タイプ支援を用いて重量物の反復挙上動作を行い、バイオマーカーを評価した前後比較試験を行った。これまでの重量物挙上反復動作の検討と同様に継続困難となるまで重量物挙上を反復する運動課題とした。評価項目として、静脈血採血を行い、血清 CK、乳酸、酸化ストレス度 d-ROMs、抗酸化力 BAP、相対的ストレス値 OSI を計測した。結果は、HAL®腰タイプ支援なし、支援あり共に運動課題直後に CK、酸化ストレスは増加しており、疲労度の評価として有用であった。HAL®腰タイプ支援による疲労度の減少はバイオマーカーでは明らかではなかった。今後の検討として、バイオマーカーの半減期も考慮した運動課題の工夫が必要である。

A. 研究目的

当分担研究では、重量物取り扱いと介護・看護作業における装着型ロボット HAL 腰タイプの有効性を評価するための手段として、バイオマーカーによる評価を行う。平成 28 年度は脳梗塞患者に対して行った脳酸化ストレス評価の研究を通して、組織酸化ストレス評価が重量物取り扱いと介護・看護作業における装着型ロボット HAL®腰タイプの有効性を評価するためのバイオマーカーとなり得るか検証した。脳主幹動脈閉塞症に対する再開通療法において、脳組織酸素飽和度を近赤外線分光法 (NIRS) により、と脳酸化ストレス度をフリーラジカル解析装置により評価した。これらが再開通療法後の予後予測に有用であるかを検証した。筑波大学付属病院に入院した急性期脳梗塞 11 例に対して、近赤外線分光法 (NIRS) により脳組織酸素飽和度 (TOI)、フリーラジカル解析装置により酸化ストレス度 (d-ROM)、抗酸化力 (BAP)、相対的酸化ストレス度 (OSI) を測定した。結果から、NIRS による組織酸化飽和度はリアルタイムに測定可能で、フリー

ラジカル解析による血清中の酸化ストレス評価は、短時間で解析可能な酸化ストレス評価法であり、重量物取り扱いと介護・看護作業における装着型ロボット HAL 腰タイプの有効性を評価するためのバイオマーカーになり得る検査手法であると考えられた。

本年度は、健常成人男性ボランティア 2 名に対して、装着型ロボット HAL®腰タイプ支援を用いて重量物の反復挙上動作を行い、フリーラジカル解析による血清中の酸化ストレス評価を目的として前後比較試験を行った。

B. 研究方法

1. 対象と方法

安全性試験と同様、現在治療中の循環器・呼吸器疾患や脊椎関節手術歴がなく、筋骨格系に障害のない 25 歳から 45 歳までの健康成人ボランティア 2 例 (No1: 35 歳、背筋力 145.5kg、FFD=5cm。 No2: 34 歳、背筋力 75.5kg、FFD7.

バイオマーカー		control	w/o HAL	w/ HAL1	3D	w/ HAL2
No. 1	CK	96	120	154	21307	27274
	乳酸	21.7	30.9	-	12.4	29.7
	d-ROMs	254	273	305		
	BAP	1948	1765	1780		
	OSI	1.15	1.37	1.52		
No. 2	CK	95	104	108	219	221
	乳酸	14.9	11.4	18.1	6	17.7
	d-ROMS	229	240	263		
	BAP	2168	2366	2229		
	OSI	0.93	0.90	1.04		

5cm)を対象とし、筑波大学未来医工融合研究センター内で行った。

重量物挙上動作は、準備動作で膝関節を屈曲させず、体幹のみ伸展して挙上する stoop lifting 法とし、重量物は約 12kg のペットボトルが梱包された持ち手付きダンボールとした。尚、重量物の設定については、厚生労働省が定める重量物取り扱い[5]に準じ、体重の 15-30% となるように設定した。

メトロノームを使用し、1 分 15 回の一定のペースで、床に置かれた重量物を立位姿勢から肘関節は完全伸展で stoop lifting 法の挙上を開始してもらい、体幹が完全伸展となるまで挙上を行った後、床に置く動作までを一連とする挙上動作を、自覚的疲労度の限界まで実施してもらうことを運動課題とした。

血液検査は、まず静脈血 5ml を採取し (control)、続いて HAL®腰タイプ非支援下で行った後に、再び静脈血採取(w/o HAL®)、30 分間の休憩で血圧ならびに脈拍が試験前の状態に回復したことを確認してから、HAL®腰タイプ支援下に運動課題を行った後に、再度静脈血を採取 (w/HAL®1) した。3 日後に静脈血を採取 (3D) して、HAL®腰タイプ支援下に運動課題を行った後に、再度静脈血の採取 (w/HAL®2) を行った。

2. 検討項目

【疲労度評価】

- ・腰部疲労度 VAS

【バイオマーカー評価】

- ・血清 CK
- ・血清乳酸
- ・d-ROMs:酸化ストレス度測定

(Diacron Reactive Oxygen Metabolites)

活性酸素・フリーラジカルによる副産物であるヒドロペルオキシド (R-OOH) を測定 (正常値: 200-300)

- ・BAP: 抗酸化力測定

(Biological Antioxidant Potential)

活性酸素・フリーラジカルによる過酸化連鎖反応を止める還元力を測定 (正常値 > 2200)

血清をもちいて 5 分で測定可能

- ・OSI: 相対的酸化ストレス度 (Oxidative stress index)

$$OSI = d-ROM/BAP \times 8.85$$

健常人は OSI=1

フリーラジカル解析装置: Free Carrio Duo

C. 研究結果

- ・CK は運動課題直後に上昇したが、3 日後に再上昇した
- ・乳酸は運動課題直後に上昇し、3 日後には baseline まで回復した
- ・酸化ストレス度 d-ROMs は運動課題直後に増加した
- ・抗酸化力 BAP は No.1 は運動により減少、No.2 は運動により増加した。
- ・相対的酸化ストレス度 OSI は、No.1 では運動直後に増加、No.2 では w/o HAL®では増加せず、w/HAL®では baseline より軽微な増加にとどまった。

D. 考察

運動課題直後の静脈血採血によるバイオマーカー測定を行うことで CK、乳酸、酸化ストレスは運動による増加が見られた。VAS は自覚的な疲労度の評価であるが、バイオマーカーの測定は客観的な疲労度の評価として有用であった。短時間で簡易に結果を得られることも利点である。

一方で、HAL®腰タイプ使用により HAL®腰タイプ支援なしに比べ明らかに疲労が少ない所見は得られなかった。この点については、自覚的疲労度の限界まで行う運動課題では、HAL®腰タイプ装着により HAL®腰タイプ支援なしの約 1.4 倍の作業量を実施できることをこれまでに報告している。本検討においても、HAL®腰タイプ支援により作業量が増加した分疲労度が上昇した可

能性があり、今後の検討として、HAL®腰タイプ支援なしとありで運動課題の作業量を同一とすることが望ましいと考えられた。

また、3 日後の baseline の測定では、CK はさらに上昇し、乳酸は baseline まで回復していた。バイオマーカーの種類により半減期は異なるため、HAL®腰タイプ支援なしと支援ありの2 回の運動課題を実施するにあたり、半減期を考慮した間隔が必要であることが示唆された。

今後は本検討を踏まえ、プロトコルを確立し、さらなる検討を行っていく。

E. 結論

重量物取り扱いと介護・看護作業における装着型ロボット HAL®腰タイプの有効性を評価するためのバイオマーカーとして CK、乳酸、d-ROMs、BAP、OSI を計測した。いずれの項目も運動課題後の客観的疲労度を評価するのに有用であった。ただし、バイオマーカーの半減期がそれぞれ異なることも考慮した運動課題の工夫が必要である。

G. 研究発表

1. 論文発表

1. Gruneberg P, Kadone H, Kuramoto N, Ueno T, Hada Y, Yamazaki M, Sankai Y, Suzuki K. Robot-assisted voluntary initiation reduces control-related difficulties of initiating joint movement: A phenomenal questionnaire study on shaping and compensation of forward gait. PLoS one 2018;13(30):e0194214.
2. Miura K, Kadone H, Koda M, Abe T, Kumagai H, Nagashima K, Fujii K, Mataki K, Noguchi H, Funayama T, Kawamoto H, Sankai Y, Yamazaki M. The hybrid assistive limb (HAL) for Care Support successfully reduced lumbar load in repetitive lifting movements. J Clin Neurosci. 2018 (*in press*)
3. Miura K, Koda M, Kadone H, Kubota S, Shimizu Y, Kumagai H, Nagashima K, Mataki K, Fujii K, Noguchi H, Funayama T, Abe T, Sankai Y, Yamazaki M. Gait training using a hybrid assistive limb (HAL) attenuates head drop. J Clin Neurosci. 2018; 52: 141-144.
4. Kubota S, Abe T, Koda M, Kadone H,

Shimizu Y, Mataki Y, Noguchi H, Fujii K, Marushima A, Funayama T, Kawamoto H, Hada Y, Sankai Y, Yamazaki M. Application of a newly developed upper limb single-joint hybrid assistive limb for postoperative C5 paralysis: an initial case report indicating its safety and feasibility. J Clin Neurosci. 2018; 50: 268-271.

5. Miura K, Kadone H, Koda M, Abe T, Endo H, Murakami H, Doita M, Kumagai H, Nagashima K, Fujii K, Noguchi H, Funayama T, Kawamoto H, Sankai Y, Yamazaki M. The hybrid assisted limb (HAL) for Care Support, a motion assisting robot providing exoskeletal lumbar support, can potentially reduce lumbar load in repetitive snow-shoveling movements. J Clin Neurosci. 2018; 49: 83-86.
6. Kubota S, Abe T, Kadone H, Fujii K, Shimizu Y, Marushima A, Ueno T, Kawamoto H, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M. Walking ability following Hybrid Assistive Limb treatment for a patient with chronic myelopathy after surgery for cervical ossification of the posterior longitudinal ligament. J Spinal Cord Med. 2017; 20: 1-9.
7. Kubota S, Hara Y, Shimizu Y, Kadone H, Kubo T, Marushima A, Ueno T, Kawamoto H, Koda M, Matsumura A, Hada Y, Sankai Y, Yamazaki M. A newly developed upper limb single-joint HAL in a patient with elbow flexion reconstruction after traumatic brachial plexus injury: A case report. Interdisciplinary Neurosurgery: Advanced Techniques and Case Management. 2017, 10:66-68.
8. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Ikumi A, Abe T, Marushima A, Ueno T, Endo A, Kawamoto H, Saotome K, Matsushita A, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Active elbow flexion is possible in C4 quadriplegia using hybrid assistive limb (HAL®) technology: A case study. J Spinal Cord Med. 2017

9. Shimizu Y, Nakai K, Kadone H, Yamauchi S, Kubota S, Ueno T, Marushima A, Hiruta K, Endo A, Kawamoto H, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. The Hybrid Assistive Limb(R) intervention for a postoperative patient with spinal dural arteriovenous fistula and chronic spinal cord injury: a case study. J Spinal Cord Med. 2017
 10. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Suzuki K, Abe T, Ueno T, Soma Y, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Voluntary Ambulation by Upper Limb-Triggered HAL® in Patients with Complete Quadri/Paraplegia Due to Chronic Spinal Cord Injury. Front Neurosci. 2017
 11. Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Suzuki K, Saotome K, Ueno T, Abe T, Marushima A, Watanabe H, Endo A, Tsurumi K, Ishimoto R, Matsushita A, Koda M, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Voluntary ambulation using voluntary upper limb muscle activity and Hybrid Assistive Limb® (HAL®) in a patient with complete paraplegia due to chronic spinal cord injury: A case report. J Spinal Cord Med, 2017 (*in press*)
 12. Taketomi M, Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Abe T, Marushima A, Ueno T, Endo A, Kawamoto H, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M. Hybrid assistive limb (HAL®) intervention in a patient with late neurological deterioration post-thoracic myelopathy surgery due to ossification of the ligamentum flavum. Case rep Orthop. 2017 (*in press*)
 13. 三浦紘世, 門根秀樹, 安部哲哉, 遠藤寛興, 村上秀樹, 山崎正志. 腰部支援用HALを用いたショベリング除雪反復動作における腰部負荷軽減効果. 日本脊髄障害医学会誌. 2017, 30:84-85.
 14. 清水如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 上野友之, 羽田康司, 山崎正志. 脊椎脊髄疾患に対するロボットスーツ HALを用いた機能回復治療. 関節外科 2017, 36:541-550.
 15. 山内駿介, 清水 如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 上野友之, 羽田康司, 山崎正志. 脊髄硬膜動静脈瘻を発症した慢性期脊髄損傷患者に対する HAL による機能回復治療. 日本脊髄障害医学会雑誌 2017 30:98-99.
 16. 藤井賢吾, 安部哲哉, 久保田茂希, 船山徹, 山崎正志. 胸椎後縦靱帯骨化症に伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術+ロボット治療. 日本脊髄障害医学会誌 2017; 30:136-138.
 17. 安部哲哉, 久保田茂希, 門根秀樹, 山崎正志. 術後慢性増悪に対するロボットリハビリテーション. Loco Cure 2017; 3:46-49.
2. 学会発表
1. 三浦紘世, 門根秀樹, 安部哲哉, 熊谷洋, 長島克弥, 藤井賢吾, 野口裕史, 船山徹, 羽田康司, 遠藤寛興, 村上秀樹, 土井田稔, 山崎正志. ショベリング除雪反復動作におけるロボットスーツ HAL の腰部負荷軽減効果. 第 46 回日本脊椎脊髄病学会 (札幌), 4 月, 2017.
 2. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 胸椎 OPLL に伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術+ロボット歩行訓練による新たな治療. 第 46 回日本脊椎脊髄病学会学術集会 (札幌), 4 月, 2017.
 3. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 中山敬太, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットスーツ HAL を用いた機能回復治療の効果の解析. 第 46 回日本脊椎脊髄病学会学術集会 (札幌), 4 月, 2017.
 4. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 中山敬太, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 胸椎 OPLL に伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術+ロボット歩行訓練による新たな治療. 第 90 回日本整形外科学会学術総会 (仙台), 5 月, 2017.
 5. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 船山徹, 野口裕史, 中山敬太, 三浦紘世, 門根秀樹, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットス

- ーツ HAL を用いた機能回復治療の効果の解析. 第 90 回日本整形外科学会学術総会（仙台），5 月，2017.
6. 三浦紘世，門根秀樹，安部哲哉，熊谷洋，長島克弥，藤井賢吾，野口裕史，船山徹，羽田康司，國府田正雄，遠藤寛興，村上秀樹，土井田稔，山崎正志. ショベリング除雪反復動作におけるロボットスーツ HAL の腰部負荷軽減効果. 第 90 回日本整形外科学会（仙台），5 月，2017
 7. 久保田茂希，安部哲哉，清水如代，門根秀樹，藤井賢吾，船山徹，野口裕史，三浦紘世，羽田康司，菅谷久，吉岡友和，山海嘉之，山崎正志. 頸・胸椎後縦靱帯骨化症に伴う重度歩行障害に対するロボットスーツ HAL による新たな治療. 第 32 回日本整形外科学会基礎学術集会（那覇），10 月，2017.
 8. 久保田茂希，安部哲哉，清水如代，門根秀樹，藤井賢吾，船山徹，野口裕史，三浦紘世，羽田康司，菅谷久，吉岡友和，山海嘉之，山崎正志. 慢性期脊髄障害に対するロボットスーツ HAL を用いた機能回復治療. 第 32 回日本整形外科学会基礎学術集会（那覇），10 月，2017.
 9. 久保田茂希，安部哲哉，清水如代，門根秀樹，國府田正雄，山崎正志. 術後慢性期頸椎 OPLL の歩行機能再増悪症例に対するロボットリハビリテーションの効果の検討. 第 52 回日本脊髄障害医学会（千葉），11 月，2017.
 10. 三浦紘世，門根秀樹，熊谷洋，長島克弥，俣木健太郎，藤井賢吾，野口裕史，船山徹，安部哲哉，羽田康司，遠藤寛興，村上秀樹，土井田稔，山崎正志. ショベリング除雪反復動作におけるロボットスーツ HAL の腰部負荷軽減効果. 第 32 回日本整形外科学会基礎学術集会（沖縄），10 月，2017

H. 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

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書 籍 名	出版社名	出版地	出版年	ページ

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ペ ー ジ	出 版
Gruneberg P, Kadone H, Kuramoto N, Ueno T, Hada Y, Yamazaki M, Sankai Y, Suzuki K.	Robot-assisted voluntary initiation reduces contralateral-related difficulties of initiating joint movement: A phenomenal questionnaire study on shaping and compensation of forward gait.	PLoS one		<i>in Press</i>	2018
Miura K, Kadone H, Koda M, Abe T, Kumagai H, Nagashima K, Fujii K, Mataka K, Noguchi H, Funayama T, Kawamoto H, Sankai Y, Yamazaki M.	The hybrid assistive limb (HAL) for Care Support successfully reduced lumbar load in repetitive lifting movements.	J Clin Neurosci		<i>in Press</i>	2018
Miura K, Koda M, Kadone H, Kubota S, Shimizu Y, Kumagai H, Nagashima K, Mataka K, Fujii K, Noguchi H, Funayama T, Abe T, Sankai Y, Yamazaki M.	Gait training using a hybrid assistive limb (HAL) attenuates head drop.	J Clin Neurosci	52	141-144	2018
Kubota S, Abe T, Koda M, Kadone H, Shimizu Y, Mataka Y, Noguchi H, Fujii K, Marushima A, Funayama T, Kawamoto H, Hada Y, Sankai Y, Yamazaki M.	Application of a newly developed upper limb single-joint hybrid assistive limb for postoperative C5 paralysis: an initial case report indicating its safety and feasibility.	J Clin Neurosci	50	268-271	2018

Miura K, Kadone H, Koda M, Abe T, Endo H, Murakami H, Doita M, Kumagai H, Nagashima K, Fujii K, Noguchi H, Funayama T, Kawamoto H, Sankai Y, Yamazaki M.	The hybrid assisted limb (HAL) for Care Support, a motion assisting robot providing exoskeletal lumbar support, can potentially reduce lumbar load in repetitive snail-shoveling movements.	J Clin Neurosci	49	83-86	2018
Kubota S, Abe T, Kadone H, Fujii K, Shimizu Y, Marushima A, Ueno T, Kawamoto H, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M.	Walking ability following Hybrid Assistive Limb treatment for a patient with chronic myelopathy after surgery for cervical ossification of the posterior longitudinal ligament.	J Spinal Cord Med	20	1-9	2017
Kubota S, Hara Y, Shimizu Y, Kadone H, Kubo T, Marushima A, Ueno T, Kawamoto H, Koda M, Matsumura A, Hada Y, Sankai Y, Yamazaki M.	A newly developed upper limb single-joint HAL in a patient with elbow flexion reconstruction after traumatic brachial plexus injury: A case report.	Interdisciplinary Neurosurgery: Advanced Techniques and Case Management.	10	66-68	2017
Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Ikumi A, Abe T, Marushima A, Ueno T, Endo A, Kawamoto H, Satoh K, Matsushita A, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M.	Active elbow flexion is possible in C4 quadriplegia using hybrid assistive limb (HAL®) technology: A case study.	J Spinal Cord Med	40	456-462	2017
Shimizu Y, Nakai K, Kadone H, Yamauchi S, Kubota S, Ueno T, Marushima A, Hiruta K, Endo A, Kawamoto H, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M.	The Hybrid Assistive Limb® intervention for a postoperative patient with spinal durovascular arteriovenous fistula and chronic spinal cord injury: a case study.	J Spinal Cord Med			2017
Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Suzuki K, Abe T, Ueno T, Soma Y, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M.	Voluntary Ambulation by Upper Limb-Triggered HAL® in Patients with Complete Quadri/Paraplegia Due to Chronic Spinal Cord Injury.	Front Neurosci.	11		2017

Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Suzuki K, Saotome K, Ueno T, Abe T, Marushima A, Watanabe H, Endo A, Tsurumi K, Ishimoto R, Matsushita A, Koda M, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M.	Voluntary ambulation using voluntary upper limb muscle activity and Hybrid Assistive Limb® (HAL®) in a patient with complete paraplegia due to chronic spinal cord injury: A case report.	J Spinal Cord Med			2017
Taketomi M, Shimizu Y, Kadone H, Kubota S, Abe T, Marushima A, Ueno T, Endo A, Kawamoto H, Matsumura A, Sankai Y, Hada Y, Yamazaki M.	Hybrid assistive limb (HAL®) intervention in a patient with late neurological deterioration post-thoracic myelopathy surgery due to ossification of the ligamentum flavum.	Case rep Orthop			2017
三浦紘世, 門根秀樹, 安部哲哉, 遠藤寛興, 村上秀樹, 山崎正志	腰部支援用HALを用いたシヨベリング除雪反復動作における腰部負荷軽減効果.	日本脊髄障害医学会誌	30	84-85	2017
清水如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 上野友之, 羽田康司, 山崎正志	脊椎脊髄疾患に対するロボットスーツHALを用いた機能回復治療.	関節外科	36	541-550	2017
三浦紘世, 門根秀樹, 安部哲哉, 遠藤寛興, 村上秀樹, 山崎正志	腰部支援用HALを用いたシヨベリング除雪反復動作における腰部負荷軽減効果.	日本脊髄障害医学会誌	30	84-85	2017
藤井賢吾, 安部哲哉, 久保田茂希, 船山徹, 山崎正志	胸椎後縦靱帯骨化症に伴う重度脊髄障害に対する後方除圧固定術＋ロボット治療.	日本脊髄障害医学会誌	30	136-138	2017
安部哲哉, 久保田茂希, 門根秀樹, 山崎正志	術後慢性増悪に対するロボットリハビリテーション.	Loco Cure	3	46-49	2017