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２８年度　総括研究報告書

研究代表者　　安部　哲哉

平成２９（２０１７）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 ---------- 3
研究代表者　安部哲哉

II. 分担研究報告
１．重量物挙上動作に対するHAL腰タイプ支援に関する研究 ---------- 12
分担研究者　久保田茂希、河本　浩明
（資料１）

２．重量物挙上動作に対するHAL腰タイプ支援の生理学的評価に関する研究 ---------- 18
分担研究者　門根秀樹、國府田正雄
（資料２）

３．ショベリング除雪動作に対するHAL腰タイプ支援に関する研究 ---------- 23
分担研究者　山﨑正志、羽田　康司
（資料３）

４．ショベリング除雪動作に対するHAL腰タイプ支援の生理学的評価に関する研究 ---------- 28
分担研究者　清水如代、門根秀樹
（資料４）

５．重量物取り扱い、介護・看護作業における酸化ストレス評価に関する研究 ---------- 34
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 ---------- 40

労災疾病臨床研究事業費補助金
総括研究報告書

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

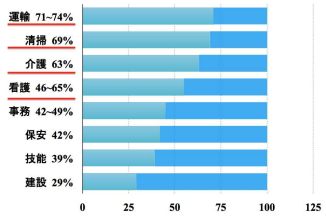
平成 28 年度は、重量物取り扱い動作におけるロボットスーツ HAL 腰タイプ支援の安全性と実行可能性を、まず約 12kg のペットボトルが梱包された持ち手付きダンボールと水の入った約 15kg の灯油ポリタンクの重量物挙上動作で評価した（資料１：分担研究者　久保田茂希、河本浩明)。有害事象の発生はなかった。HAL 腰タイプ利用時に最大作業回数が 2.3 倍(n=2)に向上したことから、作業の省力化に関する有効性を評価することができた。重量物取り扱い動作におけるロボットスーツ HAL 腰タイプ支援の生理学的評価では、HAL 支援による被験者の腰部負荷軽減効果を、非挙上時における上腕二頭筋の積分筋電値が減少として客観的に評価することができた（資料２：分担研究者　門根秀樹、國府田正雄)。もう一つの重量物取り扱い動作として、ショベリング除雪動作に対する HAL 腰タイプ支援の安全性と実行可能性を評価した。屋内模擬除雪動作実験(n=2)、屋外雪上動作実験(n=9)ともに有害事象の発生はなかった。HAL 腰タイプ支援によって除雪回数や時間、距離が 2.5-3.7 倍に向上し、腰部疲労度は 0.5 倍に軽減されていたことから、装着中の作業省力化効果と腰部負荷の軽減効果を評価することができた（資料３：分担研究者　山﨑正志、羽田康司)。 ショベリング除雪動作に対する HAL 腰タイプ支援の生理学的評価は、挙上期→投擲期→ショベル復元期→休止期の４つのフェーズに分けて解析することができた。HAL 支援による被験者の腰部負荷軽減効果は、ショベル復元期と休止期に腰部脊柱起立筋の筋活動が経時的に増加しないこととして腰部負荷軽減効果を客観的に評価することができた(資料４：清水如代、門根秀樹)。先進的解析手法の一つとして、組織酸化ストレス評価が装着型ロボット HAL 腰タイプの有効性評価のためのバイオマーカーとなり得るか、今年度は急性期の脳梗塞患者 11 例に対する近赤外線分光法(NIRS)による脳組織酸素飽和度(TOI)を測定し、さらにフリーラジカル解析装置による酸化ストレス度(d-ROM)と抗酸化力(BAP)、相対的酸化ストレス度(OSI)を測定し、フリーラジカル解析による血中の酸化ストレス評価は、短時間で解析可能であり、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ことが確認された（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および評価の結果からは、装着型ロボットの作業省力化や腰部負荷軽減効果を検証するための有用なプロトコルを確立できたと考える。また、筋電位やバイオマーカーの生理学的評価の結果は、次年度の探索的研究に続く有用な知見であった。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初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

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。職業との関係が強い腰痛の日本国内における医療費は年々増加傾向にあり、2011年度には821億円に至ったと報告されている[2]。

職種別の腰痛有訴率



厚生労働省ではこれまでに腰痛予防対策指針を改定し、2014年9月にはロボット革命実現会議が内閣府の主導で組織され、リハビリテーション医療や介護の分野においても様々な歩行支援ロボットが登場してきている。

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、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。

本研究では、装着型ロボットとして装着者の運動意思-随意収縮を反映して動作を支援するロボットスーツHAL 腰タイプを使うことを特徴とする。

HAL腰タイプ





腰部支援用HAL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、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、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ハイブリッド制御する装着型ロボットである。基礎実験において、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は、3次元骨格系モデルを用いた有限要素法応力解析ではHAL支援下では減少することが明らかとなっている[3]。

本研究では、「重量物取り扱い作業」及び「介護・看護作業」に対して、初年度に安全性検証としてロボット装着中と装着直後の効果と安全性に対する評価を、次年度に探索的研究として使用前後に対する腰痛予防効果の定量的評価手法の検討を、最終年度に検証的研究として、ロボット装着群と非装着群に別けた比較試験による評価を実施していくことを計画した。

【研究デザイン】

A. H28 年度：フィー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）

平成28年度の成果について報告する。

B. 研究方法と結果

【「重量物取り扱い作業」に対する実行可能性と安全性の検証】

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

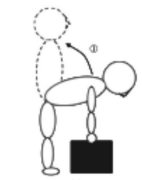
以下の3つを動作課題とした。

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

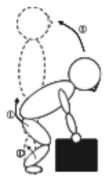
本年度は1.と2.について研究を実施した。

1. 重量物挙上動作に対する研究

重量物挙上動作には、squat lifting法とstoop lifting法がある。squat法は準備動作で膝を屈曲して、体幹・股関節・膝関節の同時伸展で挙上する。一方、stoop法は、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。今回の検討では、より腰部負荷の大きいstoop lifting法を採用した。



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

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[10]に準じ、満18歳以上の男子

体重の 40%以下となるような約 12kg のペットボトルが梱包された持ち手付きダンボールか、水の入った約 15kg の灯油ポリタンクとした。

挙上動作は、床に置かれた重量物を検者の合図で立位姿勢から肘関節伸展位で stoop lifting 法を用いて挙上を開始して、体幹伸展位となるまで挙上を行った後、再度床に置く動作までを一連の挙上動作とした。メトロノームを使用して、1 分 15 回の一定のペースで動作を繰り返し、自覚的な限界まで実施してもらった。HAL 支援なしで挙上動作を行った後に、5 分以上の十分な休憩をとってもらい、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 支援下の挙上動作実験を実施した。

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]。

統計学的解析は、Mann-Whitney U-test を用いて、有意確率を 5%未満とした。

上記プロトコルの運動課題を 9 例に実施したが、挙上動作前後での血圧、脈拍数に運動中止を必要とする変化は生じなかった。また、有害事象は発生しなかった。

2. ショベリング除雪反復動作に対する研究

対象はショベリング除雪経験を有する 25 歳から 45 歳までの健康成人男性とした。

屋内のショベリング除雪動作の模擬実験は、筑波大学医工融合研究センター内で行った。雪を想定した重量物として 5kg の砂嚢を用い、身長の約 50%の高さの台に投擲する動作を運動課題とした。使用するショベルは、一般的な除雪作業で用いられている市販品(アイリスオーヤマ社製メタルブレードスコップスリム、全長 106cm、幅 24.5、高さ 16cm、重量 756g)とし、ショベル先端を地面に接地させた状態から動作を開始した。投擲動作は行いうる最大の速度で繰り返し行ってもらい、自覚的疲労度で継続困難となるまで実施した。これを HAL 支援なしで行ってもらった後、5 分間の休憩をはさみ、脈拍、血圧が実施前まで戻っていることを確認してから、HAL 支援下で実施した。除雪動作は可能な限り一定となるよう、全例で実施前の投擲動作を確認した。



HAL支援なし　　HAL支援あり

上記プロトコルの運動課題を 2 例に実施したが、挙上動作前後での血圧、脈拍数に運動中止を必要とする変化は生じなかった。また、有害事象は発生しなかった。

被験者			No1	No2	No3	No4	No5	No6	No7	No8	No9
	HAL 支援	身長(cm)	180	171	171	161	163	176	176	171	169
		体重(kg)	74	61	68	59	59	67	68	73	62
		年齢	29	33	31	33	35	44	26	29	27
収縮期血圧 (mmHg)	なし	前	154	147	77	161	104	202	105	169	168
		後	155	192	191	158	161	223	150	165	179
	あり	前	159	147	189	147	152	174	81	155	168
		後	108	153	191	159	156	221	165	159	156
拡張期血圧 (mmHg)	なし	前	105	59	48	104	112	135	115	101	111
		後	103	117	126	94	113	149	107	113	107
	あり	前	116	107	129	96	97	127	62	113	108
		後	83	105	129	95	105	149	102	108	112
脈拍 (/min)	なし	前	72	70	70	76	93	94	87	83	65
		後	96	96	92	113	166	128	137	96	90
	あり	前	67	97	80	82	113	105	87	86	66
		後	57	96	122	133	174	149	153	122	107

【「重量物取り扱い作業」に対する単群前後比較試験】

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。

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 1.と 2.について研究を実施した。

1. 重量物挙上動作に対する研究

重量物挙上動作には、より腰部負荷の大きい stoop lifting 法を採用した。

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か、水の入った約 15kg の灯油ポリタンクとした。

挙上動作は、床に置かれた重量物を検者の合図で立位姿勢から肘関節伸展位で stoop lifting 法を用いて挙上を開始して、体幹伸展位となるまで挙上を行った後、再度床に置く動作までを一連の挙上動作とした。メトロノームを使用して、1 分 15 回の一定のペースで動作を繰り返し、自覚的な限界まで実施してもらった。HAL 支援なしで挙上動作を行った後に、5 分以上の十分な休憩をとってもらい、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 支援下の挙上動作実験を実施した。

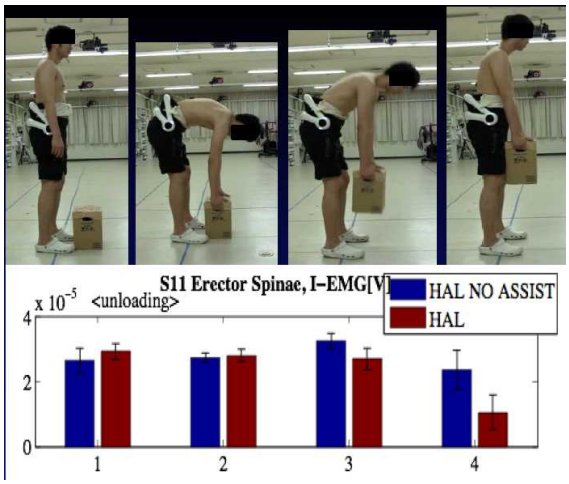
運動中止基準は、日本リハビリテーション医学会診療ガイドライン委員会が策定したリハビリテーション医療における安全管理・推進のためのガイドラインで示されているリハビリテーションの中止基準とし[4]、上記プロトコルの運動課題を 2 例に実施した。

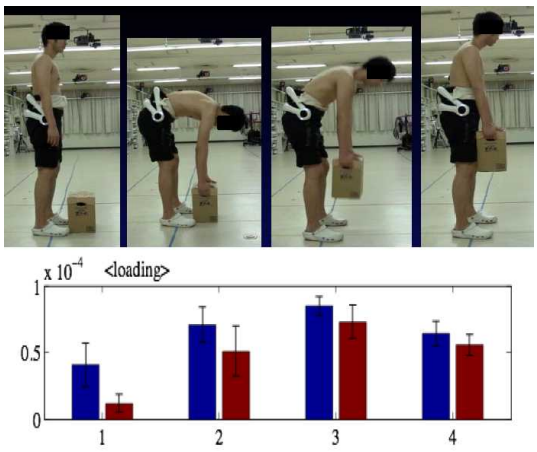
統計学的解析は、Mann-Whitney U-test を用い

て、有意確率を 5%未満とした。

主要評価項目の最大作業回数は、HAL 支援なしが平均 64 回であったのに対して、HAL 支援ありでは平均 149 回と 2.3 倍の向上が認められた。また運動中止となった疲労部は、HAL 支援なしが腰部であったのに対して、HAL 支援ありでは上腕部に変化した。

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。電極は、導出部位をアルコール綿で清拭してから筋の線維方向に貼付した。また、光学式三次元動作分析装置(VICON 社 MX system, UK)を用いて、体幹股関節の関節角度を算出し、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。





半数（4 例）において、HAL 支援により非挙上時における上腕二頭筋の積分筋電位が減少し、HAL 支援による腰部負荷が軽減されたことで、上腕二頭筋の筋緊張が緩和された結果と考えた。

2. ショベリング除雪反復動作に対する研究

対象はショベリング除雪経験を有する 25 歳から 45 歳までの健康成人男性とし、9 例に屋外の雪上実験を実施した。年齢は 26～44(平均 31)歳、身長は 161～180(平均 171)cm、体重は 59～76(平均 66)kg であった。

本研究は、岩手医科大学整形外科教室との共同研究として岩手医科大学倫理委員会の承認を得て実施した。

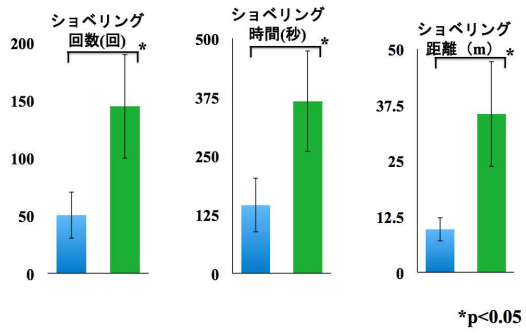


実施環境は晴天下の雪上、気温は-4℃であった。除雪用ショベルは屋内実験と同様、一般的な除雪作業で用いられている市販品（アイリスオーヤマ社製メタルブレードスコップスリム、全長 106cm、幅 24.5、高さ 16cm、重量 756g)を使用し、ショベルで雪を掬い身長の 50%以上の高さに投擲する動作を運動課題とした。運動課題開始時の両足部およびショベルの位置はすべての被検者で同一となるよう設定した。ショベル先端を地面に接地させた状態から動作を開始し、投擲動作は行いうる最大の速度で繰り返し行ってもらった。自覚的疲労度のため継続困難となるまで実施した。これを HAL 支援なしで実施した後、5 分間の休憩をはさみ、脈拍、血圧が実施前まで戻っていることを確認してから、HAL 支援下で実施した。各被験者の除雪動作が一定となるように、測定前に投擲動作を確認した。

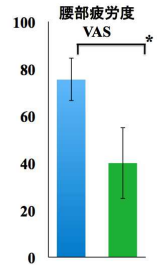
統計学的解析は、Mann-Whitney U-test を用いて、有意確率を 5%未満とした。

主評価項目のショベリング回数は HAL 支援なしで平均 50 回であったのに対して、HAL 支援ありでは平均 144 回と約 2.9 倍の作業回数増加を認めた。ショベリング時間は HAL 支援なしで平均 145 秒であったのに対して、HAL 支援ありでは平均 366 秒で約 2.5 倍の作業時間延長を認めた。ショベリング距離は HAL 支援なしが平均 9.6m であったのに対して、HAL 支援ありでは平均 35.4m と

平均 3.7 倍の作業距離延長を認めた。1 分間あたりの作業回数を算出すると、HAL 支援なしでは平均 21.4 回/分であったのに対して、HAL 支援ありでは平均 24.1 回/分であった。いずれも HAL 支援ありで統計学的有意差を持った改善であり、作業省力化の結果と考えた。

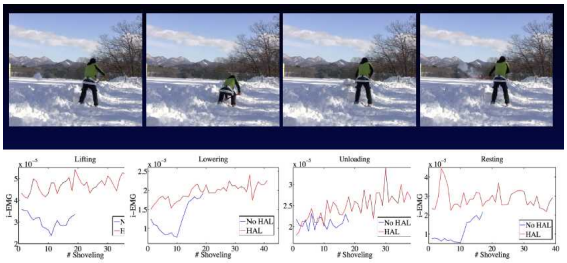


また、腰部疲労度 VAS は、HAL 支援なしで平均 75mm であったのに対して、HAL 支援ありでは平均 39mm と半分の疲労度で作業量の上昇が得られていたことから、除雪動作における HAL 支援は腰部負荷軽減効果および作業省力化の効果があることが明らかとなった。



副次項目の生理学的評価は、作業中の腰部脊柱起立筋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。側面から撮影したビデオ動画により除雪動作を挙上期→投擲期→ショベル復元期→休止期の 4 区画に分けて平均積分筋電図を算出して評価した。

屋内実験において、HAL 支援なしでショベル復元期と休止期に腰部脊柱起立筋の筋活動が経時的に増加した一方、HAL 支援ありでは明らかな増加を認めなかった。屋外実験では、寒冷環境下のためか安定した筋電図所見を取得することが難しかった。しかし、取得可能であった代表症例では、屋内実験と同様に HAL 支援なしでショベル復元期と休止期に腰部脊柱起立筋の筋活動が経時的に増加した一方、HAL 支援ありでは明らかな増加を認めず、腰部負荷軽減による効果を示唆するものと考えた。



3. 組織酸化ストレス評価

今年度は急性期の脳梗塞患者 11 例を対象に、近赤外線分光法(NIRS)による脳組織酸素飽和度(TOI)を測定し、さらにフリーラジカル解析装置による酸化ストレス度(d-ROM)と抗酸化力(BAP)、相対的酸化ストレス度(OSI)を測定した。

その結果、フリーラジカル解析による血中の酸化ストレス評価は、短時間で解析可能であり、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ことが確認された。

C. 考察

本研究では、腰痛のない健常男性で重量物挙上動作プロトコル 1. 2.を実施し、HAL 支援なしとありの両者において、運動中止基準に達することなく、実行可能であった。また有害事象の発生はなく、安全であることが証明できた。体重の 15%以上の重量物の挙上動作で傍脊柱筋の筋活動量の有意な上昇が見られるとの先行研究がある[5]。我々が設定した重量物の重量は約 12-15kg で、被験者の平均体重の約 15～30%の範囲内であった。腰部負荷を検討する課題では、被験者に対して過度な負荷が腰痛の発生に繋がることが危惧される。25～45 歳の平均体重は 65～70kg である[6]。本研究の結果から、有意な筋活動の変化を捉えつつ、被験者の過度な腰部負担を避けるという点において、設定した重量と stoop lifting 法の挙上動作は適切な運動負荷であったと考えられ、今後の装着型ロボットの腰部負荷軽減効果判定の研究において一つの基準になる成果であると考える。

除雪作業は酷しい寒冷環境下で 6METs 程度の運動強度を有すると言われ[7]、体幹前屈位で重量物を挙上する必要性から腰痛との関連も深い。National Electronic Injury Surveilance System の後向き調査によれば、1990 年から 2006 年までの間に除雪に伴う外傷もしくは内科疾患で ER を

受診した患者の障害部位では腰部が 34.3%と最も多かった[8]。我々が渉猟し得る限り、これまで外骨格型の装着型ロボットを用いた除雪の腰部負荷軽減効果に関する研究の報告はない。屋内での模擬ショベリング除雪作業の実験では、実行可能性と安全性を確認することができたため、実際に積雪環境下の屋外で HAL 支援による除雪作業の HAL 腰タイプ支援の効果を評価した結果、統計学的に有意に除雪作業省力化と腰部負荷軽減効果を証明することができた初の報告である。

生理学的評価に関しては、今回は対象とする筋の積分筋電位という定性的な解析であった。今後は負荷軽減効果を定量的に検証する評価手法の確立が課題である。

また、介護・看護作業支援動作における HAL 腰タイプ支援の腰部負荷軽減および作業省力化の効果についても実験プロトコルの確立と評価を進めて行きたいと考えている。

D. 結論

重量物挙上動作プロトコル 1.と 2.の実行可能性と安全性評価の結果から、本研究によって装着型ロボットの腰部負荷軽減効果や作業省力化の効果を検証するための有用なプロトコルを確立できた。HAL 腰タイプ支援の重量物挙上動作や除雪動作は、支援なしの単群前後比較試験において、最大作業量の増加という結果で作業省力化の効果を認めた。また、同時に腰部負荷の軽減効果を自覚的評価と生理学的評価で明らかにすることができた。バイオマーカーの生理学的評価の結果は、次年度の探索的研究に続く有用な知見であった。

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. 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. 2012; 50: 111-116
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. 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. 2010; 58: 234-239.
6. 厚生労働省：国民健康・栄養調査. 2010.
7. Watson DS, Shields BJ, Smith GA. Snow shovel-related injuries and medical emergencies treated in US EDs, 1990 to 2006. Am J Emerg Med. 2011; 29(1): 11-17.
8. Huang CT, Paquet V. Kinematic evaluation of two snow-shovel designs. Int J Ind Ergon. 2002; 29(6): 319-330.

G. 研究発表

1. 論文発表

1. Kengo Fujii, Tetsuya Abe, Shigeki Kubota, Aiki Marushima, Hiroaki Kawamoto, Tomoyuki Ueno, Akira Matsushita, Kei Nakai, Kosaku Saotome, Hideki Kadone, Ayumu Endo, Ayumu Haginoya, Yasushi Hada, Akira Matsumura, Yoshiyuki Sankai, Masashi Yamazaki. The voluntary driven exoskeleton Hybrid Assistive Limb (HAL) for postoperative training of thoracic ossification of the posterior longitudinal ligament: a case report. J Spinal Cord Med. Feb 9:1-7, 2016
2. Kubota S, Fujii K, Marushima A, Ueno T, Haginoya A, Endo A, Kadone H, Kawamoto H, Shimizu Y, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M. Improvement of walking ability using Hybrid Assistive Limb training in a patient with severe thoracic myelopathy caused by ossification of the posterior longitudinal ligament. A case report. J Spine. S7: 003, 2016.
3. 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 Mar 29:1-7.
4. 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 in press.
5. Ikumi A, Kubota S, Shimizu Y, Kadone H,

Marushima A, Ueno T, Kawamoto H, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M: Decrease of spasticity after hybrid assistive limb® training for a patient with C4 quadriplegia due to chronic SCI. J Spinal Cord Med, 2016 [Epub ahead of print].
6. Mizukami M, Yoshikawa K, Kawamoto H, Sano A, Koseki K, Asakawa Y, Iwamoto K, Nagata H, Tsurushima H, Nakai K, Marushima A, Sankai Y, Matsumura A: Gait training of subacute stroke patients using a hybrid assistive limb: a pilot study. Disabil Rehabil Assist Technol, 12:197-204, 2017.
7. Watanabe H, Goto R, Tanaka N, Matsumura A, Yanagi H: Effects of Gait Training using the Hybrid Assistive Limb® in Recovery-Phase Stroke Patients: A 2-Month Follow-up, Randomized, Controlled Study. NeuroRehabilitation 2017 [Epub ahead of print].
8. 久保田茂希,安部哲哉,藤井賢吾,中山敬太,三浦紘世,山崎正志:重度脊髄症を呈する胸椎後縦靭帯骨化症に対するロボットスーツ HAL を用いたリハビリテーション. 日本脊髄障害医学会誌 29:38-39,2016
9. 久保田茂希,山﨑正志:脊髄障害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. 整形外科 67: 917-922, 2016
10. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 門根秀樹, 丸島愛樹, 松村　明, 清水如代, 羽田康司, 山﨑正志: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誌 30, 2017
11. 渡邉大貴, 丸島愛樹, 上野友之, 門根秀樹, 廣瀬聖一郎,畫田佳世,石川公久,羽田康司,河本浩明,山崎正志,山本哲哉,松村　明:ロボットスーツ HAL®による機能再生治療を行った急性期脊髄梗塞症例の検討.国立大学リハビリテーション療法士学術大会誌 38, 98-101, 2017.
12. 丸島愛樹, 河本浩明, 上野友之, 松下　明, 五月女康作,門根秀樹,渡邉大貴,羽田康司,遠藤　歩,清水如代,畫田佳世,廣瀬聖一郎,石川公久,中井　啓,鶴田和太郎,滝川知司,伊藤嘉朗, 鶴嶋英夫, 山本哲哉, 井上貴昭,山崎正志,松村　明:脳卒中急性期に対するロボットスーツ HAL による介入試験. 脳卒中, 2017 (印刷中).

2. 学会発表

1. 久保田茂希, 丸島愛樹, 安部哲哉, 藤井賢吾, 俣木優輝, 中山敬太, 河本浩明, 萩野谷歩, 遠藤歩, 上野友之, 羽田康司, 菅谷久, 吉岡友和, 山海嘉之, 山崎正志. 重度歩行障害を呈する胸椎後縦靭帯骨化症に対するロボットスーツ HAL を用いたリハビリテーションの影響. 第 30 回日本整形外科学会基礎学術集会（富山)、2015 年 10 月
2. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 中山啓太, 三浦紘世, 山崎正志. 胸椎後縦靭帯骨化症に伴う重度脊髄症を呈するロボットスーツ HAL を用いたリハビリテーション. 第 50 回日本脊髄障害医学会（東京)、2015 年 11 月
3. Kubota S, Abe T, Marushima A, Fujii K, Nakayama K, Miura K, Shimizu Y, Sugaya H, Yoshioka T, Sankai Y, Yamazaki M. A new rehabilitation technique using the robot suit HAL for patients with severe myelopathy due to thoracic ossification of posterior longitudinal ligament (OPLL). ORS: Orthopaedic Research Sociaety Annual meeting 2016 Orland, Florida, USA, Mar 5-8, 2016.
4. Kengo Fujii, Tetsuya Abe, Shigeki Kubota, Keita Nakayama, Kousei Miura, Yoshiyuki Sankai, Masashi Yamazaki: Efficacy of Voluntary Driven Exoskeleton Hybrid Assistive Limb (HAL) in Patients with Chronic Cervical Spinal Cord Injury. 31st Annual Meeting of the Cervical Spine Research Society European Section (CSRS-ES), (London, UK) ,5 月, 2015
5. 藤井賢吾, 安部哲哉, 久保田茂希, 門根秀樹, 山海嘉之, 山崎正志.脊柱靭帯骨化症に伴う上肢および下肢麻痺に対する HAL リハビリテーション 【脊椎靭帯骨化症に関する調査研究】【後縦靭帯骨化症の病態解明・治療法開発に関する研究】平成 27 年度第 2 回班会議（東京), 11 月, 2015
6. 藤井賢吾, 安部哲哉, 久保田茂希, 丸島愛樹, 中山敬太, 三浦紘世, 長島克弥, 中井啓, 松下明, 河本浩明, 門根秀樹, 五月女康作, 酒巻真由子, 清水如代, 羽田康司, 上野友之, 俣木優輝, 遠藤歩, 萩野谷歩, 山海嘉之, 山崎正志. : 脊椎・脊髄疾患に対する HAL の臨床研究　第 2 回 HAL・CIME シンポジウム(東京)、12 月、2015

7. 門根秀樹，久保田茂希，清水如代，安部哲哉，羽田康司，山海嘉之，山崎正志.：重度脊髄障害例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31回日本整形外科学会基礎学術集会（福岡），10月，2016
8. 久保田茂希，安部哲哉，清水如代，門根秀樹，藤井賢吾，羽田康司，菅谷久，吉岡友和，山海嘉之，山崎正志. ： 重度歩行障害を呈する胸椎後縦靭帯骨化症に対するロボットスーツHALを用いた機能回復治療　第31回日本整形外科学会基礎学術集会(福岡)，10月，2016
9. 藤井賢吾，藤井賢吾，安部哲哉，船山徹，野口裕史，中山敬太，三浦紘世，熊谷洋，久保田茂希，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25回日本脊椎インストゥルメン テーション学会（長崎），10月，2016
10. 久保田茂希，安部哲哉，藤井賢吾，清水如代，羽田康司，山崎正志. ： 頚椎術後C5麻痺に対する上肢単関節HALを用いた機能回復治療　第51回日本脊髄障害医学会(幕張)，11月，2016
11. 門根秀樹，久保田茂希，清水如代，安部哲哉，羽田康司，山崎正志. ： 重度脊髄障害例に対するロボットスーツHALを用いた機能回復治療の歩行時筋活動解析 第51回日本脊髄障害医学会（幕張），11月，2016
12. 清水如代，門根秀樹，久保田茂希，安部哲哉，羽田康司，山崎正志. ： 慢性期頸髄損傷四肢麻痺患者に対する上肢単関節HALによる機能回復治療 第51回日本脊髄障害医学会（幕張），11月，2016
13. 清水如代，門根秀樹，羽田康司，山崎正志. ： 成人期脳性麻痺患者に対するHALを用いた機能回復治療 第51回日本脊髄障害医学会（幕張），11月，2016
14. 三浦紘世,門根秀樹，安部哲哉，遠藤寛興，中村上秀樹，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51回日本脊髄障害医学会（幕張），11月，2016
15. 松下　明，五月女康作，増本智彦，丸島愛樹，中井啓，鶴嶋英夫，上野友之，河本浩明，山海嘉之，山崎正志，松村　明：急性期・周術期における拡散テンソル画像・機能的MRIの変化とpitfall. 日本CI学会，2016.1.29-30（東京）
16. 晝田佳世，上野友之，門根秀樹，山内駿介，久松智子，河本浩明，丸島愛樹，石川公久，羽田康司，山崎正志：脳卒中急性期患者における装着型ロボットHALを使用した歩行練習における効果の検討. 第41回 日本脳卒中学会学術集会，2016.4.14-16（札幌）
17. 山中ひとみ，上野友之，羽田康司，加々井祐太，丸島愛樹，河本浩明，晝田佳世，石川公久，門根秀樹，山崎正志：脳卒中急性期片麻痺患者に対するロボットスーツHAL単関節型の上肢への使用経験. 第41回 日本脳卒中学会学術集会，2016.4.14-16（札幌）
18. 丸島愛樹，河本浩明，上野友之，羽田康司，松下　明，五月女康作，門根秀樹，水谷太郎，山崎正志，松村　明：脳卒中急性期に対するロボットスーツHALによる介入試験. 第41回 日本脳卒中学会学術集会，2016.4.14-16（札幌）
19. 丸島愛樹，河本浩明，上野友之，松下明，五月女康作，中井　啓，羽田康司，門根秀樹，渡邉大貴，鶴嶋英夫，井上貴昭，山崎正志，山本哲哉，松村　明：脳脊髄疾患急性期におけるロボットスーツHALによる機能再生治療. 第75回日本脳神経外科学会学術総会，2016.9.29-10.1（福岡）
20. 渡邉大貴，丸島愛樹，上野友之，門根秀樹，晝田佳世，廣瀬聖一郎，石川公久，羽田康司，河本浩明，山崎正志，山本哲哉，松村　明:ロボットスーツHAL®による機能再生治療を行った急性期脊髄梗塞2症例の検討. 第38回国立大学リハビリテーション療法士学術大会，2016.10.8-9（沖縄）
21. 丸島愛樹，細尾久幸，長崎幸夫，平山暁，SandraPuentes，伊藤　紘，庭野亜美，鶴嶋英夫，鶴田和太郎，鈴木謙介，松井裕史，松丸祐司，山本哲哉，松村　明: 活性酸素消去剤封入ナノ粒子(RNP)による脳虚血再灌流障害に対するNeurovascular unit保護効果. 第59回日本脳循環代謝学会，2016.11.11（徳島）
22. 丸島愛樹，小山泰明，榎本有希，下條信威，松村英明，鶴田和太郎，滝川知司，山本哲哉，松村　明，井上貴昭: 脳梗塞急性期の再開通療法における脳組織酸素飽和度と酸化ストレス度評価の有用性. 第44回日本救急医学会，2016.11.19（東京）
23. 丸島愛樹，小山泰明，鶴田和太郎，滝川知司，津田恭治，寺門利継，井上貴昭，山本哲哉，松村　明: 近赤外線分光法(NIRS)による頸動脈ステント留置術周術期における

リスク評価の有効性. 第 32 回 NPO 法人日本脳神経血管内治療学会学術総会 , 2016.11.26（神戸）

24. 渡邉大貴，丸島愛樹，上野友之，門根秀樹，五月女康作，松下　明，羽田康司，遠藤　歩，清水如代，晝田佳世，廣瀬聖一郎，中井　啓，河本浩明，鶴嶋英夫，山崎正志，松村　明：ロボットスーツ HAL による機能再生治療の有効性評価. 第 5 回日本脳神経 HAL® 研究会. 2016.12.17（京都）
25. 渡邉大貴，丸島愛樹，河本浩明，上野友之，門根秀樹，五月女康作，羽田康司，山崎正志，山本哲哉，松村　明：急性期脳卒中患者におけるロボットスーツ HAL®を用いた機能回復治療. 第 35 回筑波脳神経外科研究会学術集会，2017.2.5（つくば）
26. 渡邉大貴，丸島愛樹，上野友之，門根秀樹，五月女康作，松下　明，羽田康司，遠藤　歩，清水如代，晝田佳世，廣瀬聖一郎，中井　啓，河本浩明，鶴嶋英夫，山崎正志，松村　明：脳卒中急性期に対する HAL の有効性試験. 第 3 回つくばロボットスーツ HAL シンポジウム. 2017.2.14（つくば）
27. 丸島愛樹，河本浩明，上野友之，松下明，五月女康作，中井　啓，羽田康司，門根秀樹，渡邉大貴，久保田茂希，清水如代，遠藤　歩，安部哲哉，吉岡友和，石井一弘，玉岡　晃，鶴嶋英夫，井上貴昭，山崎正志，松村　明：筑波大学附属病院における HAL の機能再生治（研究概要）. 第 3 回つくばロボットスーツ HAL シンポジウム. 2017.2.14（つくば）
28. 渡邉大貴，丸島愛樹，上野友之，門根秀樹，石川公久，羽田康司，河本浩明，山崎正志，山本哲哉，松村　明：急性期脳卒中患者に対するロボットスーツ HAL®による機能改善治療の効果―歩行時の関節角度に着目して―. 第 42 回 日本脳卒中学会学術集会，2017.3.16-19（大阪）
29. 丸島愛樹，上野友之，河本浩明，羽田康司，五月女康作，門根秀樹，渡邉大貴，松下　明，山崎正志，松村　明：ロボットスーツ HAL 治療介入おける脳卒中急性期の機能再生効果に関する検討. 第 42 回 日本脳卒中学会学術集会，2017.3.16-19（大阪）
30. 門根秀樹，丸島愛樹，上野友之，渡邉大貴，晝田佳世，廣瀬聖一郎，久松智子，河本浩明，羽田康司，山崎正志：急性期脳卒中患者に対してロボットスーツ HAL を用いた機能回復治療における歩容・筋活動の解析. 第 42 回 日本脳卒中学会学術集会，2017.3.16-19（大阪）

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研究

研究分担者
久保田　茂希　筑波大学医学医療系　運動器再生医療学講座　助教
河本　浩明　筑波大学システム情報系　サイバニクス研究センター　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]。

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、その中で腰部支援用HAL（HAL腰タイプ）に着目した。腰部支援用HAL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。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支援下では減少することが明らかとなっている[3]。

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、重量物挙上動作に対するHAL腰タイプ支援の安全性と装着中また装着直後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】安全性の検証

1. 対象

安全性検証の観点から、現在治療中の循環器呼吸器疾患や脊椎関節手術歴がない、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９例を対象とした。2016 年の 1 年間に筑波大学医工融合研究センター内で行った。

2. 検討項目

重量物挙上動作には、squat lifting 法と stoop lifting 法がある。squat 法は準備動作で膝を屈曲して、体幹・股関節・膝関節の同時伸展で挙上する。一方、stoop 法は、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。今回の検討では、腰部負荷の大きい stoop lifting 法とした。

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、満 18 歳以上の男子体重の 40%以下となるような約 12kg のペットボトルが梱包された持ち手付きダンボールか、水の入

った約 15kg の灯油ポリタンクとした。
挙上動作は、床に置かれた重量物を検者の合図で立位姿勢から肘関節伸展位で stoop lifting 法を用いて挙上を開始して、体幹伸展位となるまで挙上を行った後、床に置く動作までを一連の挙上動作とした。メトロノームを使用して、1 分 15 回の一定のペースで動作を繰り返し、1 分間繰り返した。



HAL 非使用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、続いて HAL 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。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】HAL 支援による作業効率の検証
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い、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 2 例（症例１:32 歳，身長 177cm，体重 91kg。症例２：26 歳，身長 175cm，体重 64kg） を対象とした。
2. 検討項目
重量物は約 12kg の灯油ポリタンクとした。挙上動作は、床に置かれた重量物を検者の合図で立位姿勢から肘関節伸展位で stoop lifting 法を用いて挙上を開始して、体幹伸展位となるまで挙上を行った後、床に置く動作までを一連の挙上動作とした。できるだけ速く挙上動作を繰り返し、1 分間繰り返した。HAL 非使用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、続いて HAL 支援下に行った。
主評価項目は 1 分間における重量物挙上回数とした。

【実験３】作業可能回数の検証
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い、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 2 例を対象とした。
2. 検討項目
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。挙上動作は、床に置かれた重量物を検者の合図で立位姿勢から肘関節伸展位で stoop lifting 法を用いて挙上を開始して、体幹伸展位となるまで挙上を行った後、床に置く動作までを一連の挙上動作とした。メトロノームを使用して、1 分 15 回の一定のペースで動作を繰り返し、疲労で作業継続困難となるまで繰り返した。HAL 非使用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、続いて HAL 支援下に行った。
主評価項目は作業可能回数とした。

C. 研究結果

【実験１】安全性の検証
1)作業前後の血圧、脈拍数
9 例の結果を表 1 に示す。HAL の有無に関わらず、作業後の血圧、脈拍数において、運動時収縮期血圧の 40mmHg 以上の上昇や拡張期血圧 20mmHg 以上の上昇を認めず、脈拍も 140/分を超えることはなかった。また、HAL の使用、非使用と血圧、脈拍の関連はなかった。
2)有害事象
9 例において有害事象の発生はなく、作業を完遂できた。
を示さなかった。

【実験２】HAL 支援による作業回数の検証
1)作業効率解析
症例 1 では 1 分間の作業挙上回数が HAL 支援無しで 37 回、HAL 支援有りで 45 回(122%)に向上した。症例 2 では HAL 支援無しで 26 回、HAL 支援有りで 31 回(119%)に向上した。

【実験３】HAL 支援による作業量の検証
1)1 分間 15 回ペースでの最大作業回数
症例 1 では 1 分間の作業挙上回数が HAL 支援無しで 54 回、HAL 支援有りで 207 回であった。症例 2 では、HAL 支援無しで 74 回、HAL 支援有りで 91 回であった。いずれも HAL 支援有りで明らかな作業回数の増加（1.2～3.8 倍）を認めた。

D. 考察

本研究では、腰痛のない健常男性で重量物挙上動作を行い、運動中止基準に達することなく安全に実施可能で、HAL 装着による有害事象も発生しなかった。設定した重量物は約 12kg で、被験者の平均体重の約 15～30%の範囲内であった。先行研究で、体重の 15%以上の重量物の挙上動作で傍脊柱筋の筋活動量の有意な上昇が見られたとの報告がある[5]。一方で腰部負荷を検討する課題では、被験者に対して過度な負荷が、腰痛の発生に繋がることが危惧される。25～45 歳の年齢層の平均体重は 65～70kg である[6]。

今回の研究結果から、有意な筋活動の変化を捉え、かつ被験者の腰部への負担を避ける点において、10-20kg の重量物と stoop lifting 法を用いた挙上動作は適切な運動負荷であったと考えられ、今後の重量物挙上動作の研究において一つの基準になる。

また、HAL 支援による作業可能回数は 1.2～3.8 倍に増加し、作業効率は約 120%の向上することが分かった。

E. 結論

健常被験者の体重の約 15～30%に設定した重量物の HAL 腰タイプ支援を用いた挙上動作は、安全に実施可能であった。また、HAL 支援による作業可能回数は 1.2～3.8 倍に増加し、作業効率は約 120%の向上することが分かった。

今後さらに HAL 腰タイプ支援による腰部負荷軽減効果の検証を進める。

参考文献

9. 厚生労働省：国民生活基礎調査. 2013.
10. 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
11. 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
12. 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.
13. 労働省基発 547 号. 職場における腰痛予防対策指針. 1994.
14. 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
15. 厚生労働省：国民健康・栄養調査. 2010.

G. 研究発表

1. 論文発表

13. Kengo Fujii, Tetsuya Abe, Shigeki Kubota, Aiki Marushima, Hiroaki Kawamoto, Tomoyuki Ueno, Akira Matsushita, Kei Nakai, Kosaku Saotome, Hideki Kadone, Ayumu Endo, Ayumu Haginoya, Yasushi Hada, Akira Matsumura, Yoshiyuki Sankai, Masashi Yamazaki. The voluntary driven exoskeleton Hybrid Assistive Limb (HAL) for postoperative training of thoracic ossification of the posterior longitudinal ligament: a case report. J Spinal Cord Med. Feb 9:1-7, 2016
14. 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.
15. 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.
16. 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]
17. 門田 領, 望月 眞人, 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
18. 新籾 正明, 石川 哲大, 萬納寺 誓人, 國府

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
19. 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.
20. 山崎正志. 治療. 頚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, 頚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.
21. 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
22. Kubota S, Fujii K, Marushima A, Ueno T, Haginoya A, Endo A, Kadone H, Kawamoto H, Shimizu Y, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M. Improvement of walking ability using Hybrid Assistive Limb training in a patient with severe thoracic myelopathy caused by ossification of the posterior longitudinal ligament. A case report. J Spine. S7: 003, 2016.
23. 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 Mar 29:1-7.
24. 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 in press.

2. 学会発表

1. 久保田茂希, 丸島愛樹, 安部哲哉, 藤井賢吾, 俣木優輝, 中山敬太, 河本浩明, 萩野谷歩, 遠藤歩, 上野友之, 羽田康司, 菅谷久, 吉岡友和, 山海嘉之, 山崎正志. 重度歩行障害を呈する胸椎後縦靭帯骨化症に対するロボットスーツHALを用いたリハビリテーションの影響. 第 30 回日本整形外科学会基礎学術集会 (富山)、2015 年 10 月
2. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 中山啓太, 三浦紘世, 山崎正志. 胸椎後縦靭帯骨化症に伴う重度脊髄症を呈するロボットスーツ HAL を用いたリハビリテーション. 第 50 回日本脊髄障害医学会 (東京)、2015 年 11 月
3. Kubota S, Abe T, Marushima A, Fujii K, Nakayama K, Miura K, Shimizu Y, Sugaya H, Yoshioka T, Sankai Y, Yamazaki M. A new rehabilitation technique using the robot suit HAL for patients with severe myelopathy due to thoracic ossification of posterior longitudinal ligament (OPLL). ORS: Orthopaedic Research Sociaety Annual meeting 2016 Orland, Florida, USA, Mar 5-8, 2016.
4. Kengo Fujii, Tetsuya Abe, Shigeki Kubota, Keita Nakayama, Kousei Miura, Yoshiyuki Sankai, Masashi Yamazaki: Efficacy of Voluntary Driven Exoskeleton Hybrid Assistive Limb (HAL) in Patients with Chronic Cervical Spinal Cord Injury. 31st Annual Meeting of the Cervical Spine Research Society European Section (CSRS-ES), (London, UK) ,5 月, 2015
5. 藤井賢吾, 安部哲哉, 久保田茂希, 門根秀樹, 山海嘉之, 山崎正志.脊柱靭帯骨化症に伴う上肢および下肢麻痺に対する HAL リハビリテーション 【脊椎靭帯骨化症に関する調査研究】【後縦靭帯骨化症の病態解明・治療法開発に関する研究】平成 27 年度第 2 回班会議 (東京), 11 月, 2015
6. 藤井賢吾, 安部哲哉, 久保田茂希, 丸島愛樹, 中山敬太, 三浦紘世, 長島克弥, 中井啓, 松下明, 河本浩明, 門根秀樹, 五月女康作, 酒巻真由子, 清水如代, 羽田康司, 上野友之, 俣木優輝, 遠藤歩, 萩野谷歩, 山海嘉之, 山崎正志. : 脊椎・脊髄疾患に対する HAL の臨床研究 第 2 回 HAL・CIME シンポジウム(東京)、12 月、2015
7. 門根秀樹, 久保田茂希, 清水如代, 安部哲哉, 羽田康司, 山海嘉之, 山崎正志.: 重度脊髄障害例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 31 回日本整形外科学会基礎学術集会 (福岡), 10 月, 2016
8. 久保田茂希, 安部哲哉, 清水如代, 門根秀樹, 藤井賢吾, 羽田康司, 菅谷久, 吉岡友和, 山海嘉之, 山崎正志. : 重度歩行障害を呈する胸椎後縦靭帯骨化症に対するロボットスーツ HAL を用いた機能回復治療 第 31 回日本整形外科学会基礎学術集会 (福岡), 10 月,

2016

9. 藤井賢吾，藤井賢吾，安部哲哉，船山　徹，野口裕史，中山敬太，三浦紘世，熊谷洋，久保田茂希，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 25 回日本脊椎インストゥルメン テーション学会（長崎），10 月，2016
10. 久保田茂希，安部哲哉，藤井賢吾，清水如代，羽田康司，山崎正志．：頚椎術後 C5 麻痺に対する上肢単関節 HAL を用いた機能回復治療 第 51 回日本脊髄障害医学会（幕張），11 月，2016
11. 門根秀樹，久保田茂希，清水如代，安部哲哉，羽田康司，山崎正志．：重度脊髄障害例に対するロボットスーツ HAL を用いた機能回復治療の歩行時筋活動解析 第 51 回日本脊髄障害医学会（幕張），11 月，2016
12. 清水如代，門根秀樹，久保田茂希，安部哲哉，羽田康司，山崎正志．：慢性期頸髄損傷四肢麻痺患者に対する上肢単関節 HAL による機能回復治療 第 51 回日本脊髄障害医学会（幕張），11 月，2016
13. 清水如代，門根秀樹，羽田康司，山崎正志．：成人期脳性麻痺患者に対する HAL を用いた機能回復治療 第 51 回日本脊髄障害医学会（幕張），11 月，2016
14. 三浦紘世，門根秀樹，安部哲哉，遠藤寛興，中村上秀樹，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 51 回日本脊髄障害医学会（幕張），11 月，2016

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

表 1　腰部支援用 HAL を用いた重量物挙上動作研究

		No1	No2	No3	No4	No5	No6	No7	No8	No9
	身長(cm)	181	170	174	170	178	178	172	171	177
	体重(kg)	72	59	63	71	70	69	60	64	70
	年齢	26	26	29	33	25	32	25	25	26
収縮期血圧 (mmHg)	作業前	129	134	131	141	138	118	116	132	134
	HAL なし	178	132	144	155	147	156	121	149	140
	HAL あり	162	125	134	150	140	121	131	138	138
拡張期血圧 (mmHg)	作業前	73	64	75	88	75	77	70	84	60
	HAL なし	81	65	46	62	64	67	60	71	63
	HAL あり	80	74	74	68	71	75	65	82	79
脈拍 (/min)	作業前	77	53	64	70	58	58	71	65	59
	HAL なし	104	53	68	66	78	76	81	64	66
	HAL あり	100	57	72	73	68	61	78	59	63

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腰タイプ支援の生理学的評価に関する研究

研究分担者
門根　秀樹　筑波大学医学医療系　未来医工融合センター　助教
國府田　正雄　千葉大学大学院　医学研究院　特任准教授

研究要旨
本年度は、職業性腰痛の社会的影響や、各種腰部負荷用の外骨格型アシストスーツについて文献整理を行った。また、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生理学的評価を行った。
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か水の入った約 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。筋電位解析では、半数（4 例）で非挙上期における上腕二頭筋の平均積分筋電値が減少する傾向にあり、HAL 使用による腰部負荷軽減が上肢支持に用いる上腕二頭筋の筋緊張を緩和したと考えられた。今回は筋電位の定性的な解析であったが、負荷軽減の程度を定量的に評価することが今後の検討課題として挙げられた。

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、その中で腰部支援用HAL（HAL腰タイプ）に着目した。腰部支援用HAL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。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支援下では減少することが明らかとなっている[3]。

我々は今回、重量物挙上動作に対するHAL腰タイプ支援と非支援における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

1. 対象

安全性検証の観点から、現在治療中の循環器呼吸器疾患や脊椎関節手術歴がない、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９例を対象とした。2016 年の 1 年間に筑波大学医工融合研究センター内で行った。

2. 検討項目

重量物は厚生労働省が定める重量物取り扱い[10]に準じ、約 12kg の灯油ポリタンクとした。挙上動作は、床に置かれた重量物を検者の合図で立位姿勢から肘関節伸展位で stoop lifting 法を用いて挙上を開始して、体幹伸展位となるまで挙上を行った後、再度床に置く動作までを一連の挙上動作とした。メトロノームを使用して、1 分 15 回の一定のペースで動作を繰り返し、1 分間繰り

返した。

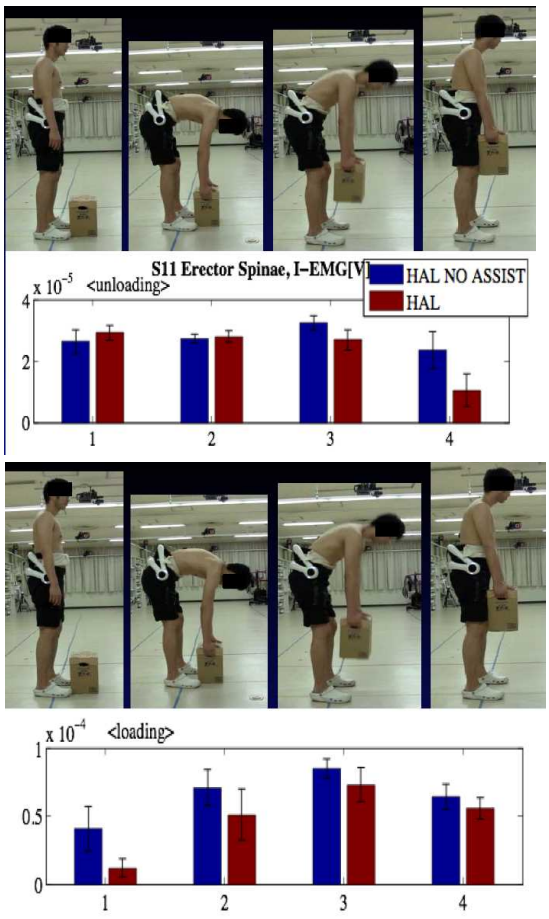
HAL 非使用で挙上訓練を行った後に、十分休憩をして、血圧ならびに脈拍が訓練前まで回復したことを確認して、続いて HAL 支援下に行った。

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、大腿四頭筋の作業中の筋電図評価を行った（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。また、光学式三次元動作分析装置(VICON 社 MX system, UK)を用いて、体幹股関節の関節角度を算出し、独自に作成した筋電計 Delsys と連動するプログラムを用いて、作業の中の挙上各フェーズで高精度に運動学的解析を行った。

C. 研究結果

1)生理学的解析

筋電図所見を取得することが可能であった 8 例において、VICON の体幹角度から挙上動作フェーズを、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（左下図)。



半数（4 例）において、HAL 支援により非挙上時における上腕二頭筋の積分筋電値が減少した。残りは筋電図変化がなかった。広背筋、脊柱起立筋、大殿筋は、被験者により HAL 支援で振幅が増加、変化なし、減少と一定の傾向を示さなかった。

2)運動学的解析

体幹角度についても、被験者により HAL 支援で可動域が減少、変化なし、増加と一定の傾向を示さなかった。

D. 考察

本研究では、半数の症例で HAL 支援により非挙上期の上腕二頭筋の積分筋電値が減少した。これは、HAL 支援により腰部負荷が軽減されたことで、上腕二頭筋の筋緊張が緩和された結果と考えた。腰部負荷に最も関連が強いと考えられる脊柱起立筋については、一定の傾向は得られなかったが、これは HAL 装着時と非装着時の挙上動作が異なることが表面筋電図の変化に影響を与えた可能性がある。

国内において、HAL 腰タイプ以外にも職業性腰痛の社会的問題に対応すべく、腰部に装着する外骨格型アシストスーツは開発されている。

東京理科大学のマッスルスーツは、空気圧で伸縮するゴム人工筋肉が呼気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。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た。すると、10kg の重量物を持ち上げる際に、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れると報告している[5]。

和歌山大学の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により、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、仕事量軽減効果を検討している。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、3.7%、12.6%の平均減少率を示した。23kg の重量物挙上では、それぞれ、20.6%、34.8%の平均減少率を示したとアシスト効果を報告している[6]。

北海道大学のスマートスーツライトは、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て、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。開発には、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、スキンセグ

メント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。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%軽減すると示した。また、スマートスーツライトをヒューマロイドロボット HRP-4C に着用し、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が行われており、病院勤務する介護職 20 名を対象とした臨床試験では、介護勤務において自覚的な評価で 85%の被験者が腰部の負担軽減効果を実感し、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、非装着時に比べスマートスーツライトを着用すると、全身では 12.2%、腰部では 13.6%疲労感の増加量が減少したと報告している[7]。

一方、海外では重量物挙上支援のデバイスとして、on-body personal lift augmentation device (PLAD)がカナダで開発されている。筋力訓練で用いられるセラバンドの弾性を利用している。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。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が 14%、胸部傍脊柱筋が 27%、筋活動が低減したと報告している[8-9]。

今回は定性的な解析であった、負荷軽減の程度を定量的に評価することが今後の検討課題として挙げられた。

E. 結論

今回の研究で、HAL 支援により非挙上期の上腕二頭筋の積分筋電値が減少し、HAL 支援により腰部負荷が軽減効果と考えた。今後さらに腰部負荷軽減効果の定量的な評価が検討課題である。

参考文献

16. 厚生労働省：国民生活基礎調査. 2013.
17. 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.
18. 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. 2012; 50: 111-116
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 田中孝之. Assisted Products- スマートスーツ・ライト- . J Clin Rehabilitation. 2016; 22: 893-899.
23. 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.
24. 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.
25. 労働省基発 547 号. 職場における腰痛予防対策指針. 1994.
26. 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. 2010; 58: 234-239.
27. 厚生労働省：国民健康・栄養調査. 2010.

G. 研究発表

1. 論文発表

25. Kengo Fujii, Tetsuya Abe, Shigeki Kubota, Aiki Marushima, Hiroaki Kawamoto, Tomoyuki Ueno, Akira Matsushita, Kei Nakai, Kosaku Saotome, Hideki Kadone, Ayumu Endo, Ayumu Haginoya, Yasushi Hada, Akira Matsumura, Yoshiyuki Sankai, Masashi Yamazaki. The voluntary driven exoskeleton Hybrid Assistive Limb (HAL) for postoperative training of thoracic ossification of the posterior longitudinal ligament: a case report. J Spinal Cord Med. Feb 9:1-7, 2016
26. Kubota S, Fujii K, Marushima A, Ueno T, Haginoya A, Endo A, Kadone H, Kawamoto H, Shimizu Y, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M. Improvement of walking ability using Hybrid Assistive Limb training in a patient with severe thoracic myelopathy caused by ossification of the posterior longitudinal ligament. A case report. J Spine. S7: 003, 2016.

27. 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 Mar 29:1-7.
28. 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 in press.

2. 学会発表

15. 久保田茂希, 丸島愛樹, 安部哲哉, 藤井賢吾, 俣木優輝, 中山敬太, 河本浩明, 萩野谷歩, 遠藤歩, 上野友之, 羽田康司, 菅谷久, 吉岡友和, 山海嘉之, 山崎正志. 重度歩行障害を呈する胸椎後縦靭帯骨化症に対するロボットスーツHALを用いたリハビリテーションの影響. 第 30 回日本整形外科学会基礎学術集会（富山)、2015 年 10 月
16. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 中山啓太, 三浦紘世, 山崎正志. 胸椎後縦靭帯骨化症に伴う重度脊髄症を呈するロボットスーツ HAL を用いたリハビリテーション. 第 50 回日本脊髄障害医学会（東京)、2015 年 11 月
17. Kubota S, Abe T, Marushima A, Fujii K, Nakayama K, Miura K, Shimizu Y, Sugaya H, Yoshioka T, Sankai Y, Yamazaki M. A new rehabilitation technique using the robot suit HAL for patients with severe myelopathy due to thoracic ossification of posterior longitudinal ligament (OPLL). ORS: Orthopaedic Research Sociaety Annual meeting 2016 Orland, Florida, USA, Mar 5-8, 2016.
18. Kengo Fujii, Tetsuya Abe, Shigeki Kubota, Keita Nakayama, Kousei Miura, Yoshiyuki Sankai, Masashi Yamazaki: Efficacy of Voluntary Driven Exoskeleton Hybrid Assistive Limb (HAL) in Patients with Chronic Cervical Spinal Cord Injury. 31st Annual Meeting of the Cervical Spine Research Society European Section (CSRS-ES), (London, UK) ,5 月, 2015
19. 藤井賢吾, 安部哲哉, 久保田茂希, 門根秀樹, 山海嘉之, 山崎正志.脊柱靭帯骨化症に伴う上肢および下肢麻痺に対するHALリハビリテーション 【脊椎靭帯骨化症に関する調査研究】【後縦靭帯骨化症の病態解明・治療法開発に関する研究】平成 27 年度第 2 回班会議（東京), 11 月, 2015
20. 藤井賢吾, 安部哲哉, 久保田茂希, 丸島愛樹, 中山敬太, 三浦紘世, 長島克弥, 中井啓, 松下明, 河本浩明, 門根秀樹, 五月女康作, 酒巻真由子, 清水如代, 羽田康司, 上野友之, 俣木優輝, 遠藤歩, 萩野谷歩, 山海嘉之, 山崎正志. : 脊椎・脊髄疾患に対する HAL の臨床研究 第 2 回 HAL・CIME シンポジウム(東京)、12 月、2015
21. 門根秀樹, 久保田茂希, 清水如代, 安部哲哉, 羽田康司, 山海嘉之, 山崎正志.: 重度脊髄障害例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 31 回日本整形外科学会基礎学術集会(福岡), 10 月, 2016
22. 久保田茂希, 安部哲哉, 清水如代, 門根秀樹, 藤井賢吾, 羽田康司, 菅谷久, 吉岡友和, 山海嘉之, 山崎正志. : 重度歩行障害を呈する胸椎後縦靭帯骨化症に対するロボットスーツ HAL を用いた機能回復治療 第 31 回日本整形外科学会基礎学術集会（福岡), 10 月, 2016
23. 藤井賢吾, 藤井賢吾, 安部哲哉, 船山 徹, 野口裕史, 中山敬太, 三浦紘世, 熊谷洋, 久保田茂希, 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 25 回日本脊椎インストゥルメン テーション学会（長崎), 10 月, 2016
24. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. : 頚椎術後 C5 麻痺に対する上肢単関節HALを用いた機能回復治療 第 51 回日本脊髄障害医学会（幕張), 11 月, 2016
25. 門根秀樹, 久保田茂希, 清水如代, 安部哲哉, 羽田康司, 山崎正志. : 重度脊髄障害例に対するロボットスーツHALを用いた機能回復治療の歩行時筋活動解析 第51回日本脊髄障害医学会（幕張), 11 月, 2016
26. 清水如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 羽田康司, 山崎正志. : 慢性期頸髄損傷四肢麻痺患者に対する上肢単関節HALによる機能回復治療 第51回日本脊髄障害医学会（幕張), 11 月, 2016

27. 清水如代，門根秀樹，羽田康司，山崎正志.：成人期脳性麻痺患者に対するHALを用いた機能回復治療 第51回日本脊髄障害医学会（幕張），11月，2016
28. 三浦紘世,門根秀樹，安部哲哉，遠藤寛興，中村上秀樹，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51回日本脊髄障害医学会（幕張），11月，2016

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

ショベリング除雪動作に対する HAL 腰タイプ支援に関する研究

分担研究
山﨑　正志　　筑波大学医学医療系　整形外科　教授
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、健常者を対象とした HAL（腰タイプ）を用いたショベリング除雪動作に対する装着中または装着直後の効果・安全性に関する評価を行った。また、ショベリング除雪と運動強度ならびに腰痛との関連、除雪に対する腰部負荷軽減の試みについて文献整理を行った。
健常成人男性を対象に砂嚢を用いた屋内での模擬実験では、市販されている除雪用スコップを用いて 5kg の砂嚢を挙上投擲する動作実験を 2 症例で行い、疲労で継続困難となるまで繰り返しもらったが、HAL 使用による有害事象の発生はなかった。実際に積雪環境下の屋外実験では、HAL 支援によるショベリング除雪動作の作業耐用性や作業効率の改善とともに自覚的腰部疲労の軽減が示された。

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]。

国内の地域別で見ると、北日本では冬期の降雪に対する日常的な除雪作業が必要であるが、作業による腰痛の発生や腰痛の増悪による作業困難も少なくない。豪雪部では過疎化とともに高齢化も進み、除雪作業の身体負荷の過剰は、大きな社会問題である。高齢化社会における腰部負荷軽減の取り組みは不可欠であるが、人的支援が十分得られない過疎地域において、装着型ロボットによる作業支援は一つの解決策になると思われる。しかし、これまで具体的にショベリング除雪動作に対する腰部支援用HALの効果に関する研究はない。

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研究開発されている。我々が着目した腰部支援用HAL（HAL腰タイプ）は、CYBERDYNE社が開発した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を取得しており、現在、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。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支援下では減少することが明らかとなっている[3]。

我々はショベリング除雪動作に対するHAL腰タイプ支援は腰部負荷を軽減すると仮説を立て、ショベリング除雪動作に対するHAL腰タイプ支援の安全性と装着中また装着直後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 支援によるショベリング挙上動作における安全性と作業効率の検証（屋内模擬除雪動作-症例１）

1. 対象

被験者はショベリング除雪経験を有する健常

成人男性とした。また、安全性検証の観点から、既往症に循環器呼吸器疾患や脊椎疾患のないことを確認した(年齢33歳､身長178cm､体重68kg)。本研究について、事前に十分に説明を行い、同意を得て行った。

2．検討項目

5kgの砂嚢を重量物として掬い、身長の約50%の高さの台に投擲する動作を運動課題とした。ショベル先端を地面に接地させた状態から動作を開始し、投擲動作は行いうる最大の速度で繰り返し行ってもらい、疲労のため継続困難となるまで実施した。これをHAL未装着で計測した後、5分間の休憩をはさみ脈拍、血圧が施行前まで戻っていることを確認して、次にHAL装着下で計測した。各除雪動作が一定となるように、測定前に非荷重での投擲動作を確認した。



岩手医科大学倫理委員会承認

ショベルは一般的な除雪作業で用いられている市販除雪用(アイリスオーヤマ社製メタルブレードスコップスリム、全長106cm、幅24.5、高さ16cm、重量756g)を使用した。

主評価項目は、HAL装着可と非装着下での、継続可能なショベリング回数や時間を計測し､作業効率を算出した。

【実験２】HAL支援によるショベリング挙上動作における安全性と作業効率の検証(屋内模擬除雪動作-症例２)

1．対象

被験者はショベリング除雪経験を有する健常成人男性とした。安全性検証の観点から、既往症に循環器呼吸器疾患や脊椎疾患がないことを確認した（年齢25歳、身長183cm、体重70kg)。本研究について、事前に十分に説明を行い、同意を得て行った。



HAL支援なし　　**HAL支援あり**

2．検討項目

5kgの砂嚢を重量物として掬い身長の約50%の高さの台に投擲する動作を運動課題としたが､実験２では実際の除雪を想定し､被験者が砂嚢を投擲した後､毎回横移動をしながら投擲動作を繰り返し行い､実際の除雪作業により近似させた動作とした。ショベル先端を地面に接地させた状態から動作を開始した。投擲動作は行いうる最大の速度で繰り返し行ってもらい､疲労のため継続困難となるまで実施した。これをHAL未装着で計測した後、5分間の休憩をはさみ脈拍、血圧が施行前まで戻っていることを確認して､次にHAL装着下で計測した。各除雪動作が一定となるように、測定前に非荷重での投擲動作を確認した。

主評価項目は、HAL装着下と非装着下での、継続可能なショベリング回数や時間を計測し､作業効率を算出した。

【実験３】HAL支援によるショベリング除雪動作における安全性と作業効率の検証（屋外除雪）

1．対象

対象はショベリング除雪経験を有する25歳から45歳までの健常成人男性9名とした。年齢は26～44(平均31)歳､身長は161～180(平均171)cm､体重は59～76(平均66)kgであった。本研究について、事前に十分に説明を行い、同意を得て行った。安全性検証の観点から、現在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確認した。

2．検討項目

本研究は岩手医科大学整形外科との共同研究として岩手医科大学倫理委員会の承認を得て実施した。研究は、実際に積雪のある環境下で、気温-4℃の晴天屋外で実施した。市販除雪用ショベル(アイリスオーヤマ社製メタルブレードスコップスリム、全長106cm、幅24.5、高さ16cm、重量756g)で雪を掬い、身長の50%以上の高さに投擲する動作を運動課題とした。運動課題開始時の両足部およびショベルの位置はすべての被検者で同一となるよう設定した。ショベル先端を地面に接地させた状態から動作を開始した。投擲動作は行いうる最大の速度で繰り返し行ってもらい、疲労のため継続困難となるまで実施した。これをHAL未装着で計測した後、5分間の休憩をはさみ脈拍､血圧が施行前まで戻っていることを確認して、次にHAL装着下で計測した。各被験者の除雪動作が一定となるように､測定前に非荷重での投擲動作を確認した。

主評価項目は、HAL装着下と非装着下での、継

続可能なショベリング回数や時間、除雪距離とした。また、それぞれの課題後に、自覚的腰部疲労度 VAS を評価した。

課題前後での血圧、脈拍を測定し、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[8]。

統計学的解析は、Mann-Whitney U-test を用いて、有意確率を 5%未満とした。

C. 研究結果

【実験１】

1)腰 HAL 支援による作業効率の解析

ショベリング回数は HAL 支援無しでは 20 回、HAL 支援有りで 50 回であった。ショベリング継続時間は、HAL 支援無しで 80 秒、HAL 支援有りで 127 秒であった。作業効率は、HAL 支援無しで 4.0 秒/回、HAL 支援有りで 2.4 秒/回であった。

2) 有害事象

有害事象の発生はなく、作業を完遂した。

【実験２】

1)腰 HAL 支援による作業効率の解析

ショベリング回数は HAL 支援無しでは 108 回、HAL 支援有りで 204 回であった。ショベリング継続時間は、HAL 支援無しで 414 秒、HAL 支援有りで 752 秒であった。作業効率は、HAL 支援無しで 3.8 秒/回、HAL 支援有りで 3.7 秒/回であった。

2) 有害事象

有害事象の発生はなく、作業を完遂した。

【実験３】

1)腰 HAL 支援による作業効率の解析

ショベリング回数は HAL 支援無しでは 22～82（平均 50）回、HAL 支援有りでは 67～215（平均 144）回であった。除雪時間は、HAL 支援無しで 66～255（平均 145）秒、HAL 支援有り 167～503（平均 366）秒であった。除雪距離は、HAL 支援無しで 5.3～13.7m（平均 9.6m）、HAL 支援有りで 23.3～57.6m（平均 35.4m）であった。作業効率は、HAL 支援無しでは 12.6～30.5（平均 21.4）回/分、HAL 支援有りでは 18.0～30.5（平均 24.1）回/分であった。いずれも統計学的に有意に HAL 支援有りでショベリング回数、除雪距離、除雪時間、作業効率が向上した（グラフ 1，2，表 1）。

2) 腰部疲労度 VAS

HAL 支援無しでは 61～89（平均 75）、HAL 支援有りでは 20～77（平均 39）であった。自覚的な腰部疲労度は、HAL 支援により統計学的に有意に減少した（グラフ 2）。

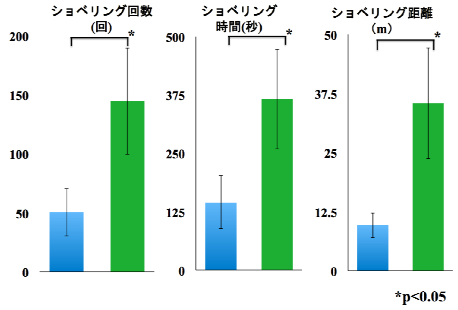
3) 有害事象

有害事象の発生はなく、作業を完遂した(表 2)。

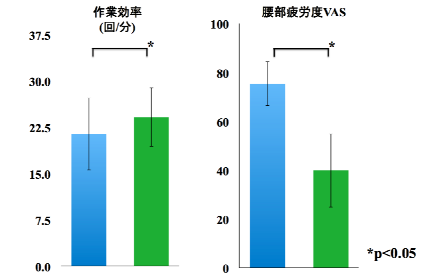
D. 考察

ショベリング除雪は酷しい寒冷環境下で 6METs 程度の運動強度を有し[4]、体幹前屈位で重量物を挙上する必要性から腰痛との関連は深い作業である。National Electronic Injury Surveilance System の後向き調査によれば、1990 年から 2006 年までの間に除雪に伴う外傷もしくは内科疾患で ER を受診した患者の障害部位では

グラフ1



グラフ2



腰部が最も多かった（34.3%）と報告されている[5]。北米では、除雪での腰部負荷を軽減するために、ショベルの柄の形状を曲げたデザインである bent shiuft が従来の straight shuft に比べ、腰部負荷が軽減するという報告がある。Huang らは、bent shift では腰部の屈曲が有意に少なく、腰部の疲労感が軽減したと報告し[6]、Lewinson らは有限要素解析の検討で、bent shuft は L5/S1 間の伸展モーメントが straight shuft に比べ 16%低減すると報告している[7]。一方、我々が渉猟し得る限り、これまでに外骨格型ロボットスーツを用いた除雪の腰部負荷に関する研究の報告はない。

本研究では、実験 1 と 2 において屋内での模擬ショベリング除雪作業の実験を行い、安全性を確

認することができた。また、HAL 支援による作業負荷への耐用性と作業効率の改善が認められた。実験 3 では、実際に積雪環境下の屋外で、HAL 支援によるショベリング除雪作業の実験を行った。HAL 支援により、統計学的に有意に除雪作業への耐用性や作業効率の改善が得られ、自覚的な腰部疲労度も軽減することが明らかとなった。

本研究は、HAL 腰タイプを用いたショベリング除雪動作の作業耐用性や作業効率の改善効果と腰部疲労度の軽減効果を示した初めて報告である。今回は若年健常者を対象とした結果であり、実際に社会的な問題となる高齢者を対象としたものではないが、今後さらに HAL 支援による腰部負荷軽減効果を解析する必要がある。

E. 結論

健常者のショベリング除雪動作に対する HAL 腰タイプ支援は、腰部疲労の軽減と作業耐用性および作業効率の改善効果が認められた。

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. 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. 2012; 50(1): 111-116
4. Franklin BA, P Hogan P, Bonzheim K, et al. Cardiac demands of heavy snow shoveling. JAMA. 1995; 15: 880- 882.
5. Watson DS, Shields BJ, Smith GA. Snow shovel-related injuries and medical emergencies treated in US EDs, 1990 to 2006. Am J Emerg Med. 2011; 29(1): 11-17.
6. Huang CT, Paquet V. Kinematic evaluation of two snow-shovel designs. Int J Ind Ergon. 2002; 29(6): 319-330.
7. Lewinson RT, Rouhi G, Robertson DGE. Influence of snow shovel shaft configuration on lumbosacral biomechanics during a load-lifting task. Appl Ergon. 2014; 45: 234-238.
8. 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

29. Kengo Fujii, Tetsuya Abe, Shigeki Kubota, Aiki Marushima, Hiroaki Kawamoto, Tomoyuki Ueno, Akira Matsushita, Kei Nakai, Kosaku Saotome, Hideki Kadone, Ayumu Endo, Ayumu Haginoya, Yasushi Hada, Akira Matsumura, Yoshiyuki Sankai, Masashi Yamazaki. The voluntary driven exoskeleton Hybrid Assistive Limb (HAL) for postoperative training of thoracic ossification of the posterior longitudinal ligament: a case report. J Spinal Cord Med. Feb 9:1-7, 2016
30. Kubota S, Fujii K, Marushima A, Ueno T, Haginoya A, Endo A, Kadone H, Kawamoto H, Shimizu Y, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M. Improvement of walking ability using Hybrid Assistive Limb training in a patient with severe thoracic myelopathy caused by ossification of the posterior longitudinal ligament. A case report. J Spine. S7: 003, 2016.
31. 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 Mar 29:1-7.
32. 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 in press.

2. 学会発表

31. 久保田茂希, 丸島愛樹, 安部哲哉, 藤井賢吾, 俣木優輝, 中山敬太, 河本浩明, 萩野谷歩, 遠藤歩, 上野友之, 羽田康司, 菅谷久, 吉岡友和, 山海嘉之, 山崎正志. 重度歩行障害を呈する胸椎後縦靱帯骨化症に対するロボットスーツ HAL を用いたリハビリテーションの影響. 第 30 回日本整形外科学会基礎学術集会（富山)、2015 年 10 月
32. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 中

山啓太，三浦紘世，山崎正志．胸椎後縦靱帯骨化症に伴う重度脊髄症を呈するロボットスーツ HAL を用いたリハビリテーション．第 50 回日本脊髄障害医学会（東京）、2015 年 11 月

33. Kubota S, Abe T, Marushima A, Fujii K, Nakayama K, Miura K, Shimizu Y, Sugaya H, Yoshioka T, Sankai Y, Yamazaki M. A new rehabilitation technique using the robot suit HAL for patients with severe myelopathy due to thoracic ossification of posterior longitudinal ligament (OPLL). ORS: Orthopaedic Research Sociaety Annual meeting 2016 Orland, Florida, USA, Mar 5-8, 2016.

34. Kengo Fujii, Tetsuya Abe, Shigeki Kubota, Keita Nakayama, Kousei Miura, Yoshiyuki Sankai, Masashi Yamazaki: Efficacy of Voluntary Driven Exoskeleton Hybrid Assistive Limb (HAL) in Patients with Chronic Cervical Spinal Cord Injury. 31st Annual Meeting of the Cervical Spine Research Society European Section (CSRS-ES), (London, UK) ,5 月，2015

35. 藤井賢吾，安部哲哉，久保田茂希， 門根秀樹，山海嘉之，山崎正志.脊柱靭帯骨化症に伴う上肢および下肢麻痺に対する HAL リハビリテーション 【脊椎靭帯骨化症に関する調査研究】【後縦靭帯骨化症の病態解明・治療法開発に関する研究】平成 27 年度第 2 回班会議（東京），11 月，2015

36. 藤井賢吾，安部哲哉，久保田茂希，丸島愛樹，中山敬太，三浦紘世，長島克弥，中井啓，松下明，河本浩明，門根秀樹，五月女康作，酒巻真由子，清水如代，羽田康司，上野友之，俣木優輝，遠藤歩，萩野谷歩，山海嘉之，山崎正志．：脊椎・脊髄疾患に対する HAL の臨床研究 第 2 回 HAL・CIME シンポジウム(東京)、12 月、2015

37. 門根秀樹，久保田茂希，清水如代，安部哲哉，羽田康司，山海嘉之，山崎正志.：重度脊髄障害例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 31 回日本整形外科学会基礎学術集会（福岡），10 月，2016

38. 久保田茂希，安部哲哉，清水如代，門根秀樹，藤井賢吾，羽田康司，菅谷久，吉岡友和，山海嘉之，山崎正志．：重度歩行障害を呈する胸椎後縦靱帯骨化症に対するロボットスーツ HAL を用いた機能回復治療 第 31 回日本整形外科学会基礎学術集会(福岡)，10 月，2016

39. 藤井賢吾，藤井賢吾，安部哲哉，船山徹，野口裕史，中山敬太，三浦紘世，熊谷洋，久保田茂希，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 25 回日本脊椎インストゥルメン テーション学会（長崎），10 月，2016

40. 久保田茂希，安部哲哉，藤井賢吾，清水如代，羽田康司，山崎正志．：頚椎術後 C5 麻痺に対する上肢単関節 HAL を用いた機能回復治療 第 51 回日本脊髄障害医学会(幕張)，11 月，2016

41. 門根秀樹，久保田茂希，清水如代，安部哲哉，羽田康司，山崎正志．：重度脊髄障害例に対するロボットスーツ HAL を用いた機能回復治療の歩行時筋活動解析 第 51 回日本脊髄障害医学会（幕張），11 月，2016

42. 清水如代，門根秀樹，久保田茂希，安部哲哉，羽田康司，山崎正志．：慢性期頸髄損傷四肢麻痺患者に対する上肢単関節 HAL による機能回復治療 第 51 回日本脊髄障害医学会（幕張），11 月，2016

43. 清水如代，門根秀樹，羽田康司，山崎正志．：成人期脳性麻痺患者に対する HAL を用いた機能回復治療 第 51 回日本脊髄障害医学会（幕張），11 月，2016

44. 三浦紘世,門根秀樹，安部哲哉，遠藤寛興，中村上秀樹，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 51 回日本脊髄障害医学会（幕張），11 月，2016

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

表 1　実験３　自覚的腰部疲労度 VAS　ショベリング回数　除雪継続時間　除雪距離　作業効率

	HAL 支援	No1	No2	No3	No4	No5	No6	No7	No8	No9
腰部疲労度 VAS	なし	77	70	73	79	89	84	83	61	63
	あり	31	20	39	77	43	39	46	33	31
ショベリング回数	なし	22	57	43	29	57	82	81	34	47
	あり	107	133	139	67	109	214	158	166	214
除雪時間(秒)	なし	93	174	138	60	108	180	248	127	93
	あり	352	304	444	159	217	427	443	657	400
除雪距離(m)	なし	5.3	13.7	6.9	9.8	13.0	10.4	10.4	7.6	9.3
	あり	26.0	44.6	37.5	24.1	30.3	26.4	23.3	49.2	57.6
作業効率(回/分)	なし	12.6	18.6	17.2	26.3	30.5	23.4	19.0	16.0	29.0
	あり	18.0	25.8	18.6	24.0	29.7	29.7	21.1	19.8	30.5

表 2　実験３　被験者 9 例の身体データと作業前後のバイタル・サイン（血圧、脈拍）

被験者			No1	No2	No3	No4	No5	No6	No7	No8	No9
	HAL 支援	身長(cm)	180	171	171	161	163	176	176	171	169
		体重(kg)	74	61	68	59	59	67	68	73	62
		年齢	29	33	31	33	35	44	26	29	27
収縮期血圧(mmHg)	なし	前	154	147	77	161	104	202	105	169	168
		後	155	192	191	158	161	223	150	165	179
	あり	前	159	147	189	147	152	174	81	155	168
		後	108	153	191	159	156	221	165	159	156
拡張期血圧(mmHg)	なし	前	105	59	48	104	112	135	115	101	111
		後	103	117	126	94	113	149	107	113	107
	あり	前	116	107	129	96	97	127	62	113	108
		後	83	105	129	95	105	149	102	108	112
脈拍(/min)	なし	前	72	70	70	76	93	94	87	83	65
		後	96	96	92	113	166	128	137	96	90
	あり	前	67	97	80	82	113	105	87	86	66
		後	57	96	122	133	174	149	153	122	107

労災疾病臨床研究事業費補助金
分担研究報告書

ショベリング除雪動作に対する HAL 腰タイプ支援の生理学的評価に関する研究

分担研究
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
門根　秀樹　筑波大学医学医療系　未来医工融合センター　助教

研究要旨
本年度は、健常者を対象とした HAL 腰タイプを用いたショベリング除雪動作に対する装着中または装着直後の生理学的評価を行った。砂嚢を用いた屋内での模擬実験では、HAL 支援なしでショベル復元期と休止期に腰部脊柱起立筋の筋活動が経時的に増加した一方、HAL 支援ありでは明らかな増加を認めなかった。実際に積雪環境下の屋外実験では、筋電図所見を取得することが困難な症例が多かったが、取得できた代表症例においては、屋内実験と同様に HAL 支援なしでショベル復元期と休止期に腰部脊柱起立筋の筋活動が経時的に増加した一方、HAL 支援ありでは明らかな増加を認めず、腰部負荷軽減効果を示唆する所見と考えた。
電気生理学的解析や運動学的解析においては、本研究での定性的な解析をもとに、今後定量的な評価が検討の課題として挙げられた。

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]。

国内の地域別で見ると、北日本では冬期の降雪に対する日常的な除雪作業が必要であるが、作業による腰痛の発生や腰痛の増悪による作業困難も少なくない。豪雪部では過疎化とともに高齢化も進み、除雪作業の身体負荷の過剰は、大きな社会問題である。高齢化社会における腰部負荷軽減の取り組みは不可欠であるが、人的支援が十分得られない過疎地域において、装着型ロボットによる作業支援は一つの解決策になると思われる。しかし、これまで具体的にショベリング除雪動作に対する腰部支援用HALの効果に関する研究はない。

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研究開発されている。我々が着目した腰部支援用HAL（HAL腰タイプ）は、CYBERDYNE社が開発した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を取得しており、現在、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。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支援下では減少することが明らかとなっている[3]。

我々は、健常者を対象としたHAL腰タイプを用いたショベリング除雪動作に対する装着中または装着直後の生理学的評価を行ったので報告する。

B. 研究方法

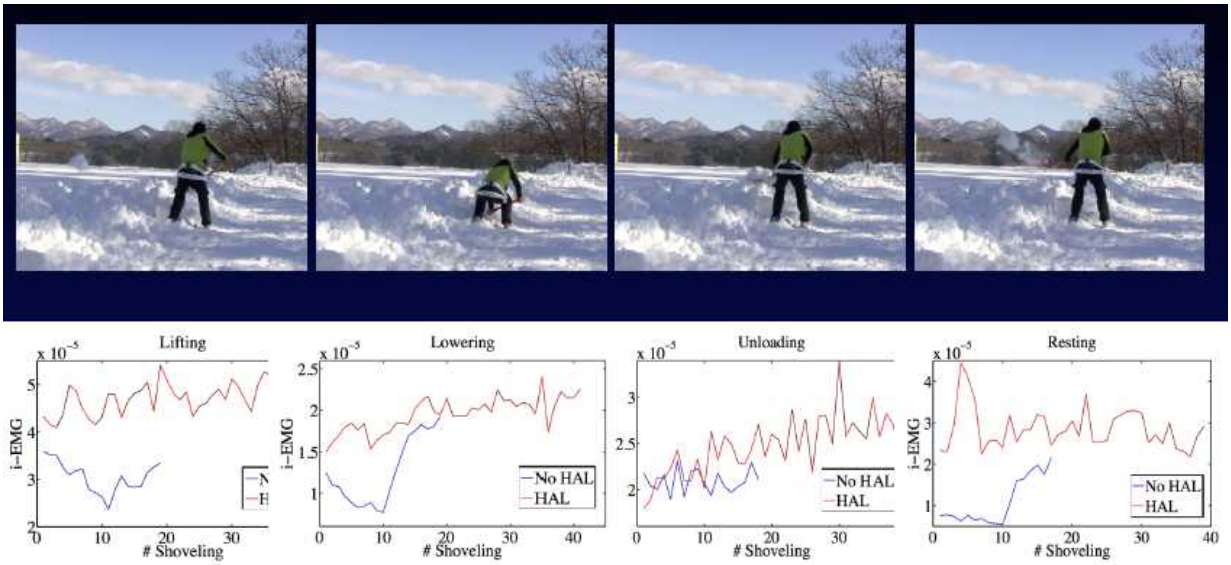
【実験１】HAL 支援によるショベリング挙上動作における生理学的検証（屋内模擬除雪動作）

1. 対象
被験者はショベリング除雪経験を有する健常成人男性2例とした。また、安全性検証の観点から、既往症に循環器呼吸器疾患や脊椎疾患のないことを確認した。症例1の年齢は33歳、身長は178cm、体重は68kg。症例2の年齢は25歳、身長は183cm、体重は70kgであった。本研究について、事前に十分に説明を行い、同意を得て行った。
2. 検討項目
実験は筑波大学医工融合研究センター内で行った。除雪作業で用いられている市販除雪用ショベル(アイリスオーヤマ社製メタルブレードスコップスリム、全長106cm、幅24.5、高さ16cm、重量756g)を使用して、5kgの砂嚢を掬い身長の約50%の高さの台に投擲する動作を運動課題とした。ショベル先端を地面に接地させた状態から動作を開始した。投擲動作は、行いうる最大の速度で繰り返し行った。疲労のため困難となるまで継続した。これをHAL未装着で計測した後、5分間の休憩をはさみ脈拍、血圧が施行前まで戻っていることを確認して、HAL装着下で計測した。各除雪動作が一定となるように、測定前に非荷重での投擲動作を反復して習熟させた。
主評価項目は、腰部脊柱起立筋の作業中の筋電位とした（無線表面筋電計　Delsys社Tringo Lab, USA)。ショベリング除雪動作を、挙上期→投擲期→ショベル復元期→休止期の４つのフェーズに細分化して、光学式三次元動作分析装置(VICON社MX system, UK)を用いて、独自に作成した筋電計Delsysと連動するプログラムにより体幹股関節の関節角度を算出して、作業の中の挙上各フェーズでの筋電位所見を解析した。

【実験２】HAL支援によるショベリング除雪動作における生理学的　検証（屋外除雪）
1. 対象
対象はショベリング除雪経験を有する25歳から45歳までの健常成人男性9名とした。年齢は26～44(平均31)歳、身長は161～180(平均171)cm、体重は59～76(平均66)kgであった。本研究について、事前に十分に説明を行い、同意を得て行った。安全性検証の観点から、現在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確認した。
2. 検討項目
実験は、晴天、屋外、気温-4℃の積雪環境下で行った。一般的な除雪作業で用いられている市販除雪用ショベルを使用した。市販除雪用ショベルで雪を掬い身長の50%以上の高さに投擲する動作を運動課題とした。運動課題開始時の両足部およびショベルの位置はすべての被検者で同一となるよう設定した。ショベル先端を地面に接地させた状態から動作を開始した。投擲動作は、行いうる最大の速度で繰り返し行った。疲労のため困難となるまで継続した。この際に、横移動をしながら反復し実際の除雪作業を想定した。これをHAL未装着で計測した後、5分間の休憩をはさみ脈拍、血圧が施行前まで戻っていることを確認して、次にHAL装着下で計測する。各被験者の除雪動作が一定となるように、測定前に非荷重での投擲動作を反復して習熟させた。
主評価項目は、腰部脊柱起立筋の作業中の筋電位とした(無線表面筋電計　Delsys社Tringo Lab, USA)。側面から撮影したビデオ動画により除雪動作を実験１と同様の挙上期→投擲期→ショベル復元期→休止期の４つのフェーズに分けて筋電位を評価した。

C. 研究結果
【実験１】
1) 生理学的解析
ショベリング挙上作業の筋電位所見を取得することができた。挙上期→投擲期→ショベル復元期→休止期の4区間それぞれの区間の平均積分筋電図を算出した。
HAL支援なしでショベル復元期と休止期に腰部脊柱起立筋の筋活動が経時的に増加した一方、HAL支援ありでは明らかな増加を認めなかった。

【実験２】
1) 生理学的解析
ショベリング挙上作業の筋電図所見を取得することができた。挙上期→投擲期→ショベル復元期→休止期の4区間それぞれの区間の平均積分筋電図を算出した。
寒冷環境下の屋外実験では、屋内の研究室とは異なり、全例で筋電図所見を取得することは難しかった。しかし、取得可能であった代表症例では、実験１と同様にHAL支援なしでショベル復元期と休止期に腰部脊柱起立筋の筋活動が経時的に増加した一方、HAL支援ありでは明らかな増加を認めず、腰部負荷軽減効果を示唆する所見と考えた。



D. 考察

ショベリング除雪は、健康を害する危険性のある作業である。酷しい寒冷環境下で 6METs 程度の運動強度を有する[4]。体幹前屈位で重量物を挙上する必要性から腰痛の関連は深く、1990 年から 2006 年までの間にショベリング除雪に伴う外傷もしくは内科疾患で ER を受診した患者を、National Electronic Injury Surveilance System で後向きに調査をしたところ、障害部位では腰部が最も多かった(34.3%)と報告されている[5]。そのため、ショベリング除雪での腰部負荷を軽減するために、北米ではショベルデザインの改良を試みた報告がされている。特に、ショベルの柄の形状を曲げたデザインである bent shiuft が従来の straight shuft に比べ、腰部負荷が軽減すると言われている。Huang らは、bent shift では腰部の屈曲が有意に少なく、腰部の疲労感が軽減したと報告している[6]。また、Lewinson らは、有限要素解析の検討で、bent shuft では L5/S1 間の伸展モーメントが straight shuft に比べ 16%低減したと報告している[7]。一方で外骨格型ロボットスーツの支援によるショベリング除雪の腰部負荷に関する検討は我々が渉猟し得る限りでは、これまで報告されていない。

ショベリング除雪動作の電気生理学的解析については、先行研究によると、田中らは、除雪作業を繰り返すと投擲後にショベルを開始位置に戻す復元期に腰部脊柱起立筋の筋活動が増加することを報告されている。これは、除雪作業による大腿直筋の疲労に伴い、姿勢の前方動揺を防ぎ姿勢を安定させるために腰部脊柱起立筋が代償しており、筋活動が上昇する。この筋活動の増加が筋疲労を助長させ腰痛を引き起こすと考えられている[8]。

本研究の屋内実験 1 において、HAL 支援なしでは、投擲後からショベルを開始位置に戻す復元期と次の挙上が始まるまでの休止期において、同様の所見が得られた。そして、HAL 支援ありでは、そのような腰部脊柱起立筋の筋活動の上昇が明らかには見られず、HAL 支援による腰部負荷の軽減を電気生理学的に示している可能性があると考えた。

屋外の積雪がある寒冷環境下の実験 2 においては、筋電図所見が得られにくいことが明らかとなった。また、VICON の使用が不可能であり、3 次元動作解析ができなかった。しかし、取得できた代表症例においては、HAL 支援なしでショベル復元期での腰部脊柱起立筋の経時的筋活動増加がある一方、HAL 支援ありでその所見が認められなかったことから、先行研究や実験 1 の結果と同様に除雪作業による腰部負荷と HAL 支援による負荷軽減効果を示す所見と考えた。

今後は腰部負荷や HAL による負荷軽減効果をより定量的に解析する手法の構築が必要である。

E. 結論

健常者のショベリング除雪動作は、HAL 支援なしでショベル復元期と休止期に腰部脊柱起立筋の筋活動が経時的に増加した一方、HAL 支援ありでは明らかな増加を認めず、腰部負荷軽減効果を示唆する所見と考えた。

参考文献

9. 厚生労働省：国民生活基礎調査. 2013.
10. 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.
11. 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. 2012; 50(1): 111-116
12. Franklin BA, P Hogan P, Bonzheim K, et al. Cardiac demands of heavy snow shoveling. JAMA. 1995; 15: 880- 882.
13. Watson DS, Shields BJ, Smith GA. Snow shovel-related injuries and medical emergencies treated in US EDs, 1990 to 2006. Am J Emerg Med. 2011; 29(1): 11-17.
14. Huang CT, Paquet V. Kinematic evaluation of two snow-shovel designs. Int J Ind Ergon. 2002; 29(6): 319-330.
15. Lewinson RT, Rouhi G, Robertson DGE. Influence of snow shovel shaft configuration on lumbosacral biomechanics during a load-lifting task. Appl Ergon. 2014; 45: 234-238.
16. 田中昌史, 小林巧, 小林匠, 他. ショベリング除雪反復動作における投擲高さが筋疲労の及ぼす影響. 理学療法科学. 2015; 30(4): 609-614.

G. 研究発表

1. 論文発表

33. Kengo Fujii, Tetsuya Abe, Shigeki Kubota, Aiki Marushima, Hiroaki Kawamoto, Tomoyuki Ueno, Akira Matsushita, Kei Nakai, Kosaku Saotome, Hideki Kadone, Ayumu Endo, Ayumu Haginoya, Yasushi Hada, Akira Matsumura, Yoshiyuki Sankai, Masashi Yamazaki. The voluntary driven exoskeleton Hybrid Assistive Limb (HAL) for postoperative training of thoracic ossification of the posterior longitudinal ligament: a case report. J Spinal Cord Med. Feb 9:1-7, 2016
34. Kubota S, Fujii K, Marushima A, Ueno T, Haginoya A, Endo A, Kadone H, Kawamoto H, Shimizu Y, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M. Improvement of walking ability using Hybrid Assistive Limb training in a patient with severe thoracic myelopathy caused by ossification of the posterior longitudinal ligament. A case report. J Spine. S7: 003, 2016.
35. 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 Mar 29:1-7.
36. 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 in press.

2. 学会発表

45. 久保田茂希, 丸島愛樹, 安部哲哉, 藤井賢吾, 俣木優輝, 中山敬太, 河本浩明, 萩野谷歩, 遠藤歩, 上野友之, 羽田康司, 菅谷久, 吉岡友和, 山海嘉之, 山崎正志. 重度歩行障害を呈する胸椎後縦靱帯骨化症に対するロボットスーツHALを用いたリハビリテーションの影響. 第 30 回日本整形外科学会基礎学術集会（富山)、2015 年 10 月
46. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 中山啓太, 三浦紘世, 山崎正志. 胸椎後縦靱帯骨化症に伴う重度脊髄症を呈するロボットスーツ HAL を用いたリハビリテーション. 第 50 回日本脊髄障害医学会 (東京)、2015 年 11 月
47. Kubota S, Abe T, Marushima A, Fujii K, Nakayama K, Miura K, Shimizu Y, Sugaya H, Yoshioka T, Sankai Y, Yamazaki M. A new rehabilitation technique using the robot suit HAL for patients with severe myelopathy due to thoracic ossification of posterior longitudinal ligament (OPLL). ORS: Orthopaedic Research Sociaety Annual meeting 2016 Orland, Florida, USA, Mar 5-8, 2016.
48. Kengo Fujii, Tetsuya Abe, Shigeki Kubota, Keita Nakayama, Kousei Miura, Yoshiyuki Sankai, Masashi Yamazaki: Efficacy of Voluntary Driven Exoskeleton Hybrid Assistive Limb (HAL) in Patients with Chronic Cervical Spinal Cord Injury. 31st Annual Meeting of the Cervical Spine Research Society European Section

(CSRS-ES), (London, UK) ,5 月, 2015

49. 藤井賢吾, 安部哲哉, 久保田茂希, 門根秀樹, 山海嘉之, 山崎正志.脊柱靭帯骨化症に伴う上肢および下肢麻痺に対するHALリハビリテーション 【脊椎靭帯骨化症に関する調査研究】【後縦靭帯骨化症の病態解明・治療法開発に関する研究】平成 27 年度第 2 回班会議（東京), 11 月, 2015

50. 藤井賢吾, 安部哲哉, 久保田茂希, 丸島愛樹, 中山敬太, 三浦紘世, 長島克弥, 中井啓, 松下明, 河本浩明, 門根秀樹, 五月女康作, 酒巻真由子, 清水如代, 羽田康司, 上野友之, 俣木優輝, 遠藤歩, 萩野谷歩, 山海嘉之, 山崎正志. : 脊椎・脊髄疾患に対するHALの臨床研究 第 2 回 HAL・CIME シンポジウム(東京)、12 月、2015

51. 門根秀樹, 久保田茂希, 清水如代, 安部哲哉, 羽田康司, 山海嘉之, 山崎正志.: 重度脊髄障害例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 31 回日本整形外科学会基礎学術集会（福岡), 10 月, 2016

52. 久保田茂希, 安部哲哉, 清水如代, 門根秀樹, 藤井賢吾, 羽田康司, 菅谷久, 吉岡友和, 山海嘉之, 山崎正志. : 重度歩行障害を呈する胸椎後縦靭帯骨化症に対するロボットスーツ HAL を用いた機能回復治療 第 31 回日本整形外科学会基礎学術集会(福岡), 10 月, 2016

53. 藤井賢吾, 藤井賢吾, 安部哲哉, 船山徹, 野口裕史, 中山敬太, 三浦紘世, 熊谷洋, 久保田茂希, 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 25 回日本脊椎インストゥルメン テーション学会（長崎), 10 月, 2016

54. 久保田茂希, 安部哲哉, 藤井賢吾, 清水如代, 羽田康司, 山崎正志. : 頚椎術後 C5 麻痺に対する上肢単関節HALを用いた機能回復治療 第51回日本脊髄障害医学会(幕張), 11 月, 2016

55. 門根秀樹, 久保田茂希, 清水如代, 安部哲哉, 羽田康司, 山崎正志. : 重度脊髄障害例に対するロボットスーツHALを用いた機能回復治療の歩行時筋活動解析 第51回日本脊髄障害医学会（幕張), 11 月, 2016

56. 清水如代, 門根秀樹, 久保田茂希, 安部哲哉, 羽田康司, 山崎正志. : 慢性期頸髄損傷四肢麻痺患者に対する上肢単関節HALによる機能回復治療 第51回日本脊髄障害医学会（幕張), 11 月, 2016

57. 清水如代, 門根秀樹, 羽田康司, 山崎正志. : 成人期脳性麻痺患者に対する HAL を用いた機能回復治療 第51回日本脊髄障害医学会（幕張), 11 月, 2016

58. 三浦紘世,門根秀樹, 安部哲哉, 遠藤寛興, 中村上秀樹, 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 51 回日本脊髄障害医学会（幕張), 11 月, 2016

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

重量物取り扱い、介護・看護作業における酸化ストレス評価に関する研究

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
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。【目的】脳主幹動脈閉塞症に対する再開通療法における脳組織酸素飽和度と脳酸化ストレス度を、近赤外線分光法(NIRS)とフリーラジカル解析装置により評価し、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。【方法】再開通療法を行った症例（NIRS n=9, 酸化ストレス度 n=7）において、周術期の脳組織酸素飽和度(TOI, n=9)を測定した。また、治療前後の血清中の酸化ストレス度(d-ROM)、抗酸化力(BAP)、相対的酸化ストレス度(OSI=d-ROM/BAP), (n=11)を測定し、これらの指標と再開通療法の効果を検討した。【結果】TOI 平均値は、脳梗塞増悪群で、再開通前 58.8%%、再開通後 66.1%で有意に上昇した。また、0 OSI は、脳梗塞増額群で再開通までの OSI が高い傾向を認めたが有意差は認めなかった。【考察と結語】NIRS による TOI の測定は簡便でリアルタイムで実施可能であり、OSI に関しても血清を用いて 5 分程度で測定可能であった。両検査手法は再開通療法における脳組織酸素飽和度・酸化ストレス度のモニタリングとして有用であった。NIRS による組織酸化飽和度と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、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。

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。

B. 研究方法

1. 対象と方法

筑波大学附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。

2. 検討項目

近赤外線分光法(NIRS)：
脳組織酸素飽和度(TOI)

【近赤外線分光法】
(Near Infrared Spectroscopy)
前額部にプローブを貼り付けるのみで測定
リアルタイムで迅速なモニタリングが可能
TOI：組織の酸素化ヘモグロビンの割合を指す

【酸化ストレス評価法】

フリーラジカル解析装置：Free Carrio Duo

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×8.85
健常人は OSI=1

【評価】脳梗塞増悪
（脳梗塞拡大、出血性梗塞の有無）
再開通前後の TOI の変化
治療前と治療翌日の酸化ストレス(d-ROM, BAP, OSI)の変化

C. 研究結果

・再開通療法で血流が再開、それにより全例で TOI が上昇
・梗塞増悪群では有意差をもって TOI 上昇
・梗塞非増悪群も TOI 上昇するが有意差なし

	再開通前 TOI	再開通後 TOI	P 値
梗塞増悪群	58.8 ±8.2	66.1 ±6.4	0.008
梗塞非増悪群	65.8 ±9.6	71.1 ±8.4	0.185

OSI は、脳梗塞増額群で再開通までの OSI が高い傾向を認めたが有意差は認めなかった。

	梗塞増悪群	**梗塞非増悪群**	**P 値**
治療前	1.36 ±0.40	1.04 ±0.32	0.089
OSI			
治療翌日 OSI	1.31 ±0.39	0.92 ±0.38	0.073

D. 考察

NIRS による TOI の測定は簡便でリアルタイムで実施可能であり、OSI に関しても血清を用いて 5 分程度で測定可能であった。両検査手法は再開通療法における脳組織酸素飽和度・酸化ストレス度のモニタリングとして有用であった。NIRS による組織酸化飽和度の測定は、重量物の lifting 動作をする際に、広背筋の酸素飽和度や酸素化・脱酸素化ヘモグロビン量を測定することで、HAL 腰タイプの効果を評価することができる。また、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、重量物の lifting 動作前後における酸化ストレス度(d-ROM)、抗酸化力(BAP)、相対的酸化ストレス度(OSI)を測定することで、HAL 腰タイプの効果を評価することができる。これらの評価法は、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。

E. 結論

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。

G. 研究発表

１．論文発表

1) Fujii K, Abe T, Kubota S, Marushima A, Kawamoto H, Ueno T, Matsushita A, Nakai K, Saotome K, Kadone H, Endo A, Haginoya A, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M: The voluntary driven exoskeleton Hybrid Assistive Limb (HAL) for postoperative training of thoracic ossification of the posterior longitudinal ligament: a case

report. J Spinal Cord Med, 2016 [Epub ahead of print].

2) Ikumi A, Kubota S, Shimizu Y, Kadone H, Marushima A, Ueno T, Kawamoto H, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M: Decrease of spasticity after hybrid assistive limb® training for a patient with C4 quadriplegia due to chronic SCI. J Spinal Cord Med, 2016 [Epub ahead of print].

3) Mizukami M, Yoshikawa K, Kawamoto H, Sano A, Koseki K, Asakawa Y, Iwamoto K, Nagata H, Tsurushima H, Nakai K, Marushima A, Sankai Y, Matsumura A: Gait training of subacute stroke patients using a hybrid assistive limb: a pilot study. Disabil Rehabil Assist Technol, 12(2): 197-204, 2017.

4) Watanabe H, Goto R, Tanaka N, Matsumura A, Yanagi H: Effects of Gait Training using the Hybrid Assistive Limb® in Recovery-Phase Stroke Patients: A 2-Month Follow-up, Randomized, Controlled Study. NeuroRehabilitation, 2017 [Epub ahead of print].

5) 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 [Epub ahead of print].

6) 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 [Epub ahead of print].

7) 渡邉大貴, 丸島愛樹, 上野友之, 門根秀樹, 廣瀬聖一郎, 晝田佳世, 石川公久, 羽田康司, 河本浩明, 山崎正志, 山本哲哉, 松村　明：ロボットスーツ HAL®による機能再生治療を行った急性期脊髄梗塞症例の検討. 国立大学リハビリテーション療法士学術大会誌 38, 98-101, 2017.

8) 丸島愛樹, 河本浩明, 上野友之, 松下　明, 五月女康作, 門根秀樹, 渡邉大貴, 羽田康司, 遠藤　歩, 清水如代, 晝田佳世, 廣瀬聖一郎, 石川公久, 中井　啓, 鶴田和太郎, 滝川知司, 伊藤嘉朗, 鶴嶋英夫, 山本哲哉, 井上貴昭, 山崎正志, 松村　明：脳卒中急性期に対するロボットスーツ HAL による介入試験. 脳卒中, 2017 (印刷中).

2. 学会発表

Mizukami M, Yoshikawa K, Kawamoto H, Sano A, Koseki K, Asakawa Y, Iwamoto K, Nagata H, Nakai K, Marushima A, Sankai Y, Matsumura A: Effect of Gait Training with an Exoskeleton Robotic Device on Hemiplegic Patients in the Recovery Stage. World Confederation for Physical Therapy Congress 2015 (WCPT) 2015.5.1-4 (シンガポール) (ポスター)

丸島愛樹, 上野友之, 遠藤　歩, 中井　啓, 松下　明, 五月女康作, 河本浩明, 山崎正志：ロボットスーツHALによる機能回復治療における身体機能評価方法の検討. 第52回日本リハビリテーション医学会学術集会, 2015.5.28-30 (新潟) (ポスター)

俣木優輝, 上野友之, 遠藤　歩, 坂根正孝, 丸島愛樹, 山崎正志, 羽田 康司：胸椎後縦靱帯骨化症の術後にロボットスーツHALを用いた症例の歩容変化. 第52回日本リハビリテーション医学会学術集会, 2015.5.28-30 (新潟) (ポスター)

加々井祐太, 上野友之, 山中ひとみ, 日浅健太, 河本浩明, 丸島愛樹, 山崎正志：脳卒中急性期片麻痺患者に対する単関節型 HAL の上肢への使用経験. 第 5 回ロボットリハビリテーション・ケア研究大会, 2015.7.11 (静岡) (口演)

青木麻美, 上野友之, 晝田佳世, 山内駿介, 河本浩明, 門根秀樹, 丸島愛樹, 山崎正志：脳卒中急性期患者における装着型ロボット HAL を

使用した歩行練習のおける効果の検討．第 5 回ロボットリハビリテーション・ケア研究大会, 2015.7.11（静岡）（口演）

上野友之，丸島愛樹，門根秀樹，河本浩明，晝田佳世，山内駿介，渡邉麗子，清水如代，羽田康司，山崎正志：脳梗塞急性期患者におけるロボットスーツHALを用いた5段階式歩行練習アプローチ．第 31 回義肢装具学会学術大会，2015.11.7-8（横浜）（口演）

丸島愛樹，河本浩明，松下　明，上野友之，五月女康作，中井　啓，門根秀樹，伊藤嘉朗，鶴田和太郎，遠藤　歩，羽田康司，滝川知司，鶴嶋英夫，水谷太郎，山崎正志，山本哲哉，松村　明：脳脊髄疾患急性期に対するロボットスーツHALによる機能回復治療 -A feasibility and safety study-．第74回日本脳神経外科学会学術総会，2015.10.14-16（札幌）（口演）

丸島愛樹，河本浩明，松下　明，五月女康作，中井　啓，上野友之，羽田康司，門根秀樹，遠藤　歩，清水如代，藤井賢吾，安部哲哉，藤井圭吾，石井一弘，久保田茂樹，石川公久，酒巻真由子，伊藤由美子，鶴嶋英夫，玉岡　晃，水谷太郎，山海嘉之，松村　明，山崎正志：ロボットスーツ HAL による機能回復治療プロジェクト，脳疾患に対する臨床研究．第 2 回つくば HAL & CIME シンポジウム．2015.12.11（東京）（口演）

藤井賢吾，安部哲哉，久保田茂希，丸島愛樹，中山敬太，三浦紘世，長島克弥，中井啓，松下　明，河本浩明，門根秀樹，五月女康作，酒巻真由子，清水如代，羽田康司，上野友之，俣木優輝，遠藤　歩，萩野谷　歩，山海嘉之，山崎正志：脊椎・脊髄疾患に対する HAL の臨床研究．第 2 回つくば HAL & CIME シンポジウム．2015.12.11（東京）（口演）

久保田茂希，丸島愛樹，安部哲哉，藤井賢吾，俣木優輝，中山敬太，河本浩明，萩野谷　歩，遠藤　歩，上野友之，羽田康司，菅谷　久，吉岡友和，山海嘉之，山崎正志：重度歩行障害を呈する胸椎後縦靱帯骨化症に対するロボットスーツ HAL を用いたリハビリテーションの影響．第 30 回日本整形外科学会基礎学術集会，2015.10.22-23（富山）

Kubota S, Abe T, Marushima A, Fujii K, Nakayama K, Miura K, Shimizu Y, Sugaya H, Yoshioka T, Sankai Y, Yamazaki M: A new rehabilitation technique using the robot suit HAL for patients with severe myelopathy due to thoracic ossification of posterior longitudinal ligament (OPLL). ORS: Orthopaedic Research Sociaety Annual meeting 2016 Orland, Florida, USA, Mar 5-8, 2016.

五月女康作，松下　明，丸島愛樹，河本浩明，上野友之，増本智彦，松村　明：亜急性期脳卒中に対するリハビリテーション効果を検証するための fMRI 撮影の実現可能性の検証．第 43 回日本放射線技術学会秋季学術大会，2015.10.8-10（金沢）

Matsushita A, Saotome K, Marushima A, Ueno T, Masumoto T, Kawamoto H, Nakai K, Tsurushima H, Yamazaki M, Sankai Y, Matsumura A: Diffusion tensor image and functional MRI during robot rehabilitation for acute cerebrovascular disease. Asian Oceanian Congress of Neuroradiology, Fukuoka, Nov.5-7, 2015.

松下　明，五月女康作，増本智彦，丸島愛樹，中井啓，鶴嶋英夫，上野友之，河本浩明，山海嘉之，山崎正志，松村　明：急性期・周術期における拡散テンソル画像・機能的 MRI の変化と pitfall．日本 CI 学会，2016.1.29-30（東京）

晝田佳世，上野友之，門根秀樹，山内駿介，久松智子，河本浩明，丸島愛樹，石川公久，羽田康司，山崎正志：脳卒中急性期患者における装着型ロボット HAL を使用した歩行練習における効果の検討．第 41 回 日本脳卒中学会学術集会，2016.4.14-16（札幌）（ポスター）

山中ひとみ，上野友之，羽田康司，加々井祐太，丸島愛樹，河本浩明，晝田佳世，石川公久，門根秀樹，山崎正志：脳卒中急性期片麻痺患者に対するロボットスーツ HAL 単関節型の上肢への使用経験．第 41 回 日本脳卒中学会学術集会，2016.4.14-16（札幌）（ポスター）

丸島愛樹，河本浩明，上野友之，羽田康司，松下　明，五月女康作，門根秀樹，水谷太郎，山崎正志，松村　明：脳卒中急性期に対するロボットスーツ HAL による介入試験．第 41 回 日本脳卒中学会学術集会，2016.4.14-16（札幌）（口演）

丸島愛樹，河本浩明，上野友之，松下　明，五月女康作，中井　啓，羽田康司，門根秀樹，渡邉大貴，鶴嶋英夫，井上貴昭，山崎正志，山本哲哉，松村　明：脳脊髄疾患急性期におけるロボットスーツ HAL による機能再生治療．第 75 回日本脳神経外科学会学術総会，2016.9.29-10.1（福岡）（口演）

渡邉大貴，丸島愛樹，上野友之，門根秀樹，畫田佳世，廣瀬聖一郎，石川公久，羽田康司，河本浩明，山崎正志，山本哲哉，松村　明：ロボットスーツ HAL®による機能再生治療を行った急性期脊髄梗塞 2 症例の検討．第 38 回国立大学リハビリテーション療法士学術大会，2016.10.8-9（沖縄）（ポスター）

丸島愛樹，細尾久幸，長崎幸夫，平山暁，SandraPuentes，伊藤　紘，庭野亜美，鶴嶋英夫，鶴田和太郎，鈴木謙介，松井裕史，松丸祐司，山本哲哉，松村　明：活性酸素消去剤封入ナノ粒子(RNP)による脳虚血再灌流障害に対する Neurovascular unit 保護効果．第 59 回日本脳循環代謝学会，2016.11.11（徳島）（シンポジウム）

丸島愛樹，小山泰明，榎本有希，下條信威，松村英明，鶴田和太郎，滝川知司，山本哲哉，松村　明，井上貴昭：脳梗塞急性期の再開通療法における脳組織酸素飽和度と酸化ストレス度評価の有用性．第 44 回日本救急医学会，2016.11.19（東京）

丸島愛樹，小山泰明，鶴田和太郎，滝川知司，津田恭治，寺門利継，井上貴昭，山本哲哉，松村　明：近赤外線分光法(NIRS)による頸動脈ステント留置術周術期におけるリスク評価の有効性．第 32 回 NPO 法人日本脳神経血管内治療学会学術総会 ，2016.11.26（神戸）

渡邉大貴，丸島愛樹，上野友之，門根秀樹，五月女康作，松下　明，羽田康司，遠藤　歩，清水如代，畫田佳世，廣瀬聖一郎，中井　啓，河本浩明，鶴嶋英夫，山崎正志，松村　明：ロボットスーツ HAL による機能再生治療の有効性評価．第 5 回日本脳神経 HAL®研究会．2016.12.17（京都）（口演）

渡邉大貴，丸島愛樹，河本浩明，上野友之，門根秀樹，五月女康作，羽田康司，山崎正志，山本哲哉，松村　明：急性期脳卒中患者におけるロボットスーツ HAL®を用いた機能回復治療．第 35 回筑波脳神経外科研究会学術集会，2017.2.5（つくば）（ポスター）

渡邉大貴，丸島愛樹，上野友之，門根秀樹，五月女康作，松下　明，羽田康司，遠藤　歩，清水如代，畫田佳世，廣瀬聖一郎，中井　啓，河本浩明，鶴嶋英夫，山崎正志，松村　明：脳卒中急性期に対する HAL の有効性試験．第 3 回つくばロボットスーツ HAL シンポジウム．2017.2.14（つくば）（口演）

丸島愛樹，河本浩明，上野友之，松下　明，五月女康作，中井　啓，羽田康司，門根秀樹，渡邉大貴，久保田茂希，清水如代，遠藤　歩，安部哲哉，吉岡友和，石井一弘，玉岡　晃，鶴嶋英夫，井上貴昭，山崎正志，松村　明：筑波大学附属病院における HAL の機能再生治（研究概要）．第 3 回つくばロボットスーツ HAL シンポジウム．2017.2.14（つくば）（口演）

渡邉大貴，丸島愛樹，上野友之，門根秀樹，石川公久，羽田康司，河本浩明，山崎正志，山本哲哉，松村　明：急性期脳卒中患者に対するロボットスーツ HAL®による機能改善治療の効果―歩行時の関節角度に着目して―．第 42 回 日本脳卒中学会学術集会，2017.3.16-19（大阪）（口演）

丸島愛樹，上野友之，河本浩明，羽田康司，五月女康作，門根秀樹，渡邉大貴，松下　明，山崎正志，松村　明：ロボットスーツ HAL 治療介入おける脳卒中急性期の機能再生効果に関する検討．第 42 回 日本脳卒中学会学術集会，2017.3.16-19（大阪）（口演）

門根秀樹，丸島愛樹，上野友之，渡邉大貴，畫

田佳世，廣瀬聖一郎，久松智子，河本浩明，羽田康司，山崎正志：急性期脳卒中患者に対してロボットスーツ HAL を用いた機能回復治療における歩容・筋活動の解析．第 42 回 日本脳卒中学会学術集会，2017.3.16-19（大阪）（口演）

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	出版年
Fujii K, Abe T, Kubota S, Marushima A, Kawamoto H, Ueno T, Matsushita A, Nakai K, Saotome K, Kadone H, Endo A, Haginoya A, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M	The voluntary driven exoskeleton Hybrid Assistive Limb (HAL) for postoperative training of thoracic ossification of the posterior longitudinal ligament: a case report.	J Spinal Cord Med	9	1-7	2016
Kubota S, Fujii K, Marushima A, Ueno T, Haginoya A, Endo A, Kadone H, Kawamoto H, Shimizu Y, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M	Improvement of walking ability using Hybrid Assistive Limb training in a patient with severe thoracic myelopathy caused by ossification of the posterior longitudinal ligament. A case report.	J Spine	S7	003	2016

Ikumi A, Kubota S, Shimizu Y, Kadone H, Marushima A, Ueno T, Kawamoto H, Hada Y, Matsumura A, Sankai Y, Yamazaki M	Decrease of spasticity after hybrid assistive limb(®) training for a patient with C4 quadriplegia due to chronic SCI.	J Spinal Cord Med	20	1-6	2016
Yoshioka T, Sugaya H, Kubota S, Onishi M, Kanamori A, Sankai Y, Yamazaki M	Knee-Extension Training with a Single-Joint Hybrid Assistive Limb during the Early Postoperative Period after Total Knee Arthroplasty in a Patient with Osteoarthritis.	Case Rep Orthop	2016	9610745	2016
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	29	1-7	2017
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		in press	2017
久保田茂希，安部哲哉，藤井賢吾，中山敬太，三浦紘世，山崎正志	重度脊髄症を呈する胸椎後縦靭帯骨化症に対するロボットスーツHALを用いたリハビリテーション	日本脊髄障害医学会誌	29	38-39	2016
久保田茂希，山崎正志	脊髄障害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	整形外科	67	917-922	2016

久保田茂希，安部哲哉，藤井賢吾，門根秀樹，丸島愛樹，松村　明，清水如代，羽田康司，山崎正志	圧迫性脊髄症の術後急性期および慢性期におけるロボットスーツHALを用いた機能回復治療－医師主導型自主臨床試験	脊椎脊髄ジャーナル	29	715-722	2016
山内駿介，清水如代，門根秀樹，久保田茂希，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誌	30		2017