

研究報告書表紙

労災疾病臨床研究事業費補助金

炭素繊維バネ搭載ロボット装具による労働者の腰痛防止のための医工連携研究

令和3年度 総括研究報告書

研究代表者 小野寺 宏

令和4年度（2022）年 3月

研究報告書目次

目 次

総括研究報告

炭素繊維バネ搭載ロボット装具による労働者の腰痛防止のための医工連携研究-- 1
研究代表者 小野寺 宏

労災疾病臨床研究事業費補助金分担研究報告書

炭素繊維バネ搭載ロボット装具による労働者の腰痛防止のための医工連携研究-- 8
分担研究者 山口 健

研究成果の刊行に関する一覧表----- 12

研究報告書

労災疾病臨床研究事業費補助金
令和3年度研究報告書
研究代表者 小野寺 宏

炭素繊維バネ搭載ロボット装具による労働者の腰痛防止のための医工連携研究

研究要旨：炭素繊維(CFRP)バネを搭載する装着型無動力ロボットを開発し重量物の上げ下ろし労働時の負荷軽減および腰痛予防を目指す。R3年度は前年度モデルの課題であった足関節の拘束を可能な限り軽減するためCFRPバネの接続方法を変更し方向回転時や歩行時の違和感軽減を図った。荷物挙上支援においては前モデルと同等の効果が認められ（筋電図および官能試験による）、さらに装着感向上と歩行支援効果も観察できた。R2年度以降は介護業むけロボットと重量物挙上労働むけロボットを別々に設計した。この結果ロボット構造の単純化が可能となり（電子回路不要）過酷な消毒や水濡れ環境での使用に耐えられる装具ロボットを実現できた。なお新型コロナウイルスのため医療介護施設での検討が不可能となったためR2年度以降は重量物挙上労働むけロボットに注力せざるをえなかった。重量物挙上競技のパワーリフティングとウエイトリフティングではバーベル挙上時に正しいパワーポジションをとれることが成績向上と腰痛予防に不可欠である。パワーポジション姿勢で装具ロボットの支援効果が最大となるよう設計し腰痛予防と労作時の負担軽減を目指した。そこで正しい挙上姿勢（パワーポジション）学習のためのスマートフォンアプリを開発した。本アプリの普及により労働安全行政（労災防止対策：腰痛誘発動作回避による腰痛予防と負担軽減）に貢献したいと考える。

研究分担者 山口健・東北大学大学院工学系研究科・教授

A. 研究目的

荷物上げ下ろし作業支援機能と腰痛予防効果（持ち上げ重量15kg以下）を併せ持つ無動力の炭素繊維強化プラスチック(CFRP)バネ搭載装具ロボットを開発する。対象となる労働として、空港や倉庫・工場における重量物上げ下ろし、医療介護施設における患者の動作支援（立ち上がりやベッドから車椅子等への移動支援）を想定する。これらの業務において労働者が常時装着でき、現行の電動ロボットの不得意領域である水濡れ環境や消毒が不可欠な業務環境においても労働負荷軽減効果とともに腰痛予防効果を発揮できる無動力装着型ロボットを目指す。

現在開発が進められている装着型労働支援ロボットはモーターや圧縮空気を駆動源とするアクチュエータを用いるものでありロボットの重量と稼働時間が実用化において課題となっている。アクチュエータを用いる装具ロボットは電源を搭載する必要があるため重く、転倒時に装着者は大きなダメージを受ける危険がある。アクチュエータ搭載型装具ロボットは水や油で汚染された環境での動作が困難だが、無動力のCFRPバネ搭載ロボットは水中を含めてあらゆる労働環境において活用できる利点があり、消毒も容易であるため医療現場や食品工場など清潔が求められる労働環境での活用も期待される。

本研究ではCFRPバネ搭載装具ロボットのプロトタイプを製作し運動解析装置と筋電図計測によりロボットの労働支援効果と腰痛誘発姿勢の関係を客観的に解析する。

※ 労災補償行政の課題との関連性

労働者の腰痛予防・軽減対策としては可能な限り重量物を持ち上げる作業を減らすことが重要である。米国CDCの基準によれば15kgを超える重量物の日常的な上げ下ろし作業は機械が担うことが望ましく、人間が空間に挙上・運搬することが許容される重量は15kg以下(望ましくは10kg以下)に限定すべきであるという。したがって15kgを超える重量物を人間がやむを得ず空間保持・移動させざるを得ない業種においては従来型のモーター駆動型装具ロボットが担うべきである。本研究において実用化を目指す無動力CFRP装具ロボットは15kg以下の重量物(CDC勧告のように10kg以下を将来的に実現すべきである)の挙上動作支援に特化し、従来型のモーター搭載型ロボットと役割分担する。腰痛は荷物持ち上げ型の労働で頻発しており労働補償行政のなかで解決すべき重要項目である。重量物を日常的に扱う労働環境において労働者は脊椎の障害(椎体変形, 圧迫骨折, 椎間板損傷)に起因する疾患および疼痛に悩まされ離職や生活の質の低下など社会的にも大きな損失が生じる。本研究は労働者が短時間で装脱着できる軽量で安全な装具ロボットの開発により労働補償行政に貢献できると信じる。

労働者が自らの作業姿勢を実際に見て腰痛リスクを知るとともに効率的で安全な荷物挙上姿勢を習得するためのソフトウェアの開発も重要である。ソフトウェアには重量物挙上時の腰椎負荷推定値を表示する機能も搭載する。これにより労働安全管理者は腰痛リスクのある作業工程見直しの際に腰痛負荷推定値を客観データとして活用できるようになる。重量物挙上のスペシャリストであるウエイトリフティング選手とパワーリフティング選手の動作を解析し重量物挙上時の効果的な体の使い方と腰痛予防動作を作業者

に学ばせることで労働補償行政に反映させたい。重量物操作時の腰痛予防と正しい重量物持ち上げ姿勢学習のための教材を上記のスマートフォンアプリに搭載して労働者が直感的に正しい作業姿勢を習得できる環境を実現したい。

B. 研究方法

CFRPバネ搭載下肢装着型ロボットの腰痛予防・軽減効果を評価して実用性能を有する装具ロボットを開発する。

R2年度モデルはR1年度モデルの欠点であった足関節拘束と長い装着所要時間を改良したが歩行時の足関節制約感は依然として残った。そこでR3年度モデルでは踝よりも前方にCFRPバネを配置することで足関節の自由度を改善し歩行時の違和感除去を目指した。

腰痛誘発リスクの少ない重量物挙上動作は“効率的な筋使用と動作姿勢により腰部ストレスを軽減できる挙上姿勢”と定義される。パワーリフティング選手に正しい挙上姿勢と悪い挙上姿勢を演技してもらい挙上効率と腰椎負荷量を計算した。これらのデータをもとにCFRPバネの支援効果の最大化と腰痛誘発リスクの最小化を可能にする自己学習ソフトウェア(スマートフォンで動作するアプリ)を開発した。スマートフォンで撮影した挙上画像または動画から挙上時の腰椎負荷推定値ならびにパワーポジションがとれていたか表示する。腰痛危険動作の場合には模範姿勢をあ提示して腰痛リスクの少ない挙上姿勢を学習させる(マニュアルも搭載)(R3年度)。

(倫理面への配慮) 東京大学および東北大学の倫理委員会に装着実験実施を申請。令和2年度より実業務における装着を視野に入れて承認の後インフォームドコンセントを得て実施した(東京大学KE20-35)。

C. 研究結果

R2年度モデルではCFRPバネの強さと支援効果(筋電図による筋肉負荷軽減効果定量, 官能試

験)はほぼ比例したが通常歩行の阻害効果も認められた(バネ強度と比例)。支援効果の個人差は比較的大きく、一因として正しいパワーポジションが取れていたか否かが挙げられる。なおR2年度実験では正しい挙上姿勢を指導せず被験者に自由に挙上させた。

R3年度モデルではCFRPバネが下腿全面と靴足背部を連結する形状であり足関節の自由度はR2年度モデルよりも向上しており方向転換時や歩行時の違和感はほぼ消失した。前年度モデル同様に腓腹筋の筋活動が立ち上がり・しゃがみ込みの両方の動作において減少していた(図1)。ただしCFRPの強度が大きすぎるとしゃがみ込み時の筋活動軽減効果は減少した。この結果、装具ロボット装着者の筋力および体重ならびに挙上重量をもとにCFRPバネ強度を装着者ごとに設定する必要があることが明らかになった。

労働者が正しい挙上姿勢を習得し腰痛発生リスクを軽減するためのソフトウエア開発にR2年度着手した。ディープラーニングを用いて人体各部位を標識することは容易だがクラウドに介護者の顔や工場設備等の情報が施設外で操作されることになるため実用化における障壁になると考えた。そこで作業姿勢や周辺の画像情報を施設・企業の内部のみで取り扱う方法とした。現在のスマートフォンの演算能力では人体各部位の高精度認識は非現実的であるため、人体部位(腰痛リスクとパワーポジション計測に必要なポイント、すなわち足関節、膝関節、股関節、肩、頭等)は作業員自身が画面にタッチして認識させる方式とした。認識作業(数秒)完了後、画面に重量物挙上時の腰椎負荷量(米国および我国の上限は3400ニュートン)を表示し3400ニュートンを超える場合には警告する仕様とした。さらにパワーポジションがとれていたか画面に表示するとともに模範例を画面に重ねて示すことで労働者が正しい腰痛予防姿勢(=効率的な挙上動作)を直感的に学習できる仕様とした(図2)。

D. 考察

CFRPバネはパラリンピックでその優れた運動支援能力を見せつけたが日常用装具ではCFRPバネは活用されていない。CFRPは直線運動の支援効果はあるものの回転運動(方向転換など)を阻害するためである。我々は弱いCFRPバネを複数搭載することで歩行・しゃがみ動作・重量物上げ下ろし動作の支援効果が得られること、方向転換時に足関節運動が保たれて方向転換阻害効果を軽減できることを見出し下肢装着型装具ロボットの開発に着手した(特許出願)。

装具ロボットには大きな力が加わるため装具の安全性を最優先しR1年度は市販の下肢用アルミ製装具(スポーツ競技用)にCFRPバネを接続する構造とした。しかし被験者の体格・性別により装具ロボットサイズが異なるため調整個所の多い(金属部品が多く重い、装脱着に時間がかかる)ロボットとなりパラメディカルスタッフには不評であった。R2年度モデルは介護支援ロボットと一般労働支援ロボットを分離して設計することで金属製部品点数を削減し装着時間短縮と大幅軽量化を実現した。新型コロナウイルス流行のため医療福祉施設での実験が不可能となったためR2年およびR3年は一般労働支援ロボットの研究に絞らざるを得なかった。

本装具ロボットの重量物持ち上げ効果に関しては被験者全員が有効と答えたが、筋電図解析で支援効果を解析すると個人差が大きかった。パワーポジションが上手に取れた被験者で支援効果が大きい傾向が認められた(筋電図活動減少、官能試験で高得点。研究分担者 山口の項参照)。本研究申請時にはCFRPバネ定数を労働条件に合わせてコンピュータ制御する予定であったが介護支援ロボットと一般労働支援ロボットを別モデルにしたことでバネ定数調整が不要となり一切の電子部品とバッテリーを除去できた。これにより水濡れ環境さらには水中での労働にも本ロボットを活用可能となった。消毒薬でロボット全体を滅菌できるため食品業界や医療介護業界、製菓

業界などロボットの清潔性が不可欠の労働環境での活用も期待される。

中腰姿勢とは被介護者の移動や起立支援のため腰椎屈曲または下肢（股・膝・足関節）屈曲により重心の下方移動を維持する筋負荷の大きい動作であり労働安全上問題である。リフティング競技におけるパワーポジションは理想的な姿勢として介護業界でも推奨されるが下肢の各関節部の負荷が大きく立ち上がり動作時の負担もあり労働現場で選択されにくい。本装具ロボットはパワーポジション（スクワット姿勢）時の下肢関節負荷を低減でき、かつ体勢の復帰を支援できるため、腰痛の主因である腰椎屈曲による重量物挙上（介護動作）を選択する必要がなくなる。結果として腰部ストレスは軽減され腰痛予防効果が期待できる。本装具ロボットによりはじめてパワーポジションによる“正しい”腰痛予防が実現できる。

正しいパワーポジションを取れた被験者で支援効果が大きいことから、正しい荷物挙上姿勢（＝腰痛予防姿勢）を学習できるアプリの開発を進めた。スマートフォンでの撮影画像をクラウドにアップロードしてもらえば高速コンピュータで容易に人体各部位の自動同定が可能である。しかし労働者/工場/被介護者のプライバシー確保と企業秘密保持の観点からオフラインでアプリ動作を完結させる必要があると考え撮影者自身が人体部位をマーキングする方式に変更した。これにより福祉介護施設や工場等で安心して使えるアプリになったと自負している。

E. 結論

労働現場で装着可能な無動力装具ロボットの实用化を目指し軽量で装着違和感の少ない重量物作業支援型装具ロボットを開発した。重量物上げ下ろし時の支援効果ならびに歩行支援効果を確認できた。R3年度モデルはR1およびR2年度モデルでの課題をほぼすべて克服した。安全靴を使用する場合には重量増加は片側300グラム以内であ

り装着者の負担は軽く、10秒以内で装着が完了できる。高額なCFRP加工費が本装置の実用化の最大の障壁だが、CFRP構造と後加工の見直しにより10万円以下での販売も視野に入った。正しい挙上姿勢の習得により本装具ロボットの支援効果が向上し腰痛リスクも軽減できるため、労働者自身がスマートフォンで撮影して自身の腰痛危険度を認識でき正しい作業姿勢を学習できるスマートフォンアプリを開発した。

挙上動作解析アプリは東京大学大学院工学研究科矢谷浩司研究室との共同研究によるものであり矢谷先生および山田崇晴学士に感謝します

F. 健康危険情報 なし

G. 研究発表 なし

1. 論文発表

Iwori Takeda, Atsushi Yamada, Hiroshi Onodera. Artificial Intelligence-Assisted motion capture for medical applications: a comparative study between markerless and passive marker motion capture. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 24, 864-873, 2021 10.1080/10255842.2020.1856372

Iwori Takeda, Wataru Yasunaga, Satoshi Kobayashi, Yusaku Tagawa, Hiroshi Onodera. Gait assist brace with double carbon fiber reinforced plastic spring blades to allow ankle joint movement and change in walking direction. *Advanced Robotics*, 35, 927-938, 2021 10.1080/01691864.2021.1946422

Yusaku Tagawa, Taiyu Okatani, Hiroshi Onodera. Estimation of coefficient of static friction with one-axis force sensor by observi

ng peripheral local slips on elastic hemisp
here.” *SICE Journal of Control, Measuremen
t, and System Integration 14.1, 206-212, 202

1.

H. 知的財産権の出願・登録状況 なし

図1 CFRPバネ搭載装具ロボット

(a) 介護支援用令和1年度モデル

(b) 介護支援用令和2年度モデル. 令和1年度モデルの半分500グラムに軽量化, 装着時間短縮.

(c) 重量物挙上労働むけ令和2年度モデル

(d) 重量物挙上労働むけ令和3年度モデル



図2

R3年度型装具ロボットにおける重量物上げ下ろし時の筋活動

C:コントロール (装具非装着) . 2:CFRPバネ厚2mm. 4:CFRPバネ厚4mm

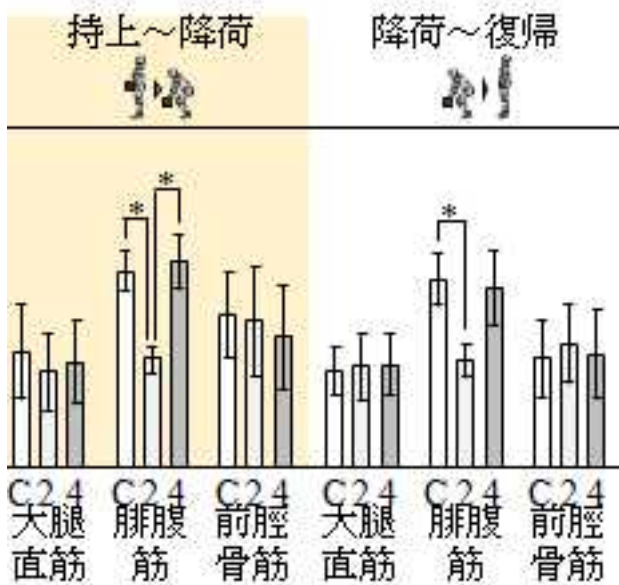


図3 労災(腰痛) 予防見える化アプリ

スマートフォン撮影動画(または写真)から重量物運搬業務(介護を含む)における労働負荷量を計算。重量物挙上時の腰痛誘発リスクとして脊椎負荷量を示す(米国CDCおよび厚労省は腰痛防止のため350kg以下に抑えることを推奨)。望ましい作業姿勢を緑で表示することで労働者は自身の挙上姿勢を見て正しい挙上姿勢を学習できる。

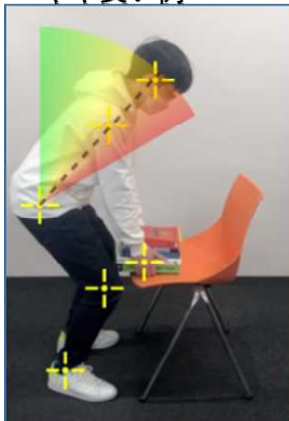
(a) 開発イメージ



(b) 開発したスマートフォンのアプリ例

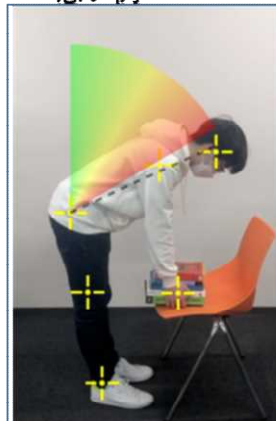
スマートフォンアプリ表示例
パワーポジションに近い良い姿勢を
緑の領域で示す

やや良い例



脊椎負荷は203kg
体の傾きは42度です
この姿勢では
30.4kg以上のものを
持ち上げると
腰痛リスクが高まります

悪い例



脊椎負荷は224kg
体の傾きは65度です
この姿勢では
28.2kg以上のものを
持ち上げると
腰痛リスクが高まります

脊椎負荷が350kgを超えると腰痛リスクが高まります

労災疾病臨床研究事業費補助金

令和3年度研究報告書

研究分担者 山口 健

炭素繊維バネ搭載ロボット装具による労働者の腰痛防止のための医工連携研究

研究分担者 山口健・東北大学大学院工学研究科・准教授

研究要旨：炭素繊維(CFRP)バネを搭載する装着型無動力ロボットを開発し荷物上げ下ろし動作時の労働負荷軽減および腰痛予防を目指す。令和1年度に策定した重量物上げ下ろし動作モデルと評価項目を改良するとともにマルチチャンネル筋電図解析を併用して装具ロボットの運動支援効果を検討した。令和2年度では、バネ強度と重量物上げ下ろし支援効果との関係を明らかにし、本装具ロボットの支援効果が正しい荷物挙上姿勢(パワーポジション)で最大となることを明らかにした。パワーポジションはウエイトリフティングやパワーリフティング選手の腰痛予防に不可欠の挙上姿勢だが、パワーポジションがうまくとれている被検者ほど高い支援効果を示す傾向があった。令和3年度では、より実用的なCFRPバネを搭載する無動力短下肢装具を用いて、重量物上げ下ろし支援効果を明らかにし、装具を用いることで、重量物持ち上げにおいて腓腹筋と大殿筋と大腿二頭筋の筋使用量が減少する、重量物持ち下げにおいて腓腹筋の筋使用量が減少することなどの作業支援効果に加えて、脊柱筋の支援効果も観察されたことから腰痛予防効果も期待できる可能性があることを明らかにした。

A. 研究目的

荷物の上げ下ろし作業支援のための炭素繊維バネを搭載した下肢装具の開発を行う。令和3年度は、炭素繊維バネ搭載短下肢装具を装着した状態で荷物の持ち上げ実験を行い、筋電図計測に基づいた作業支援効果を明らかにした。なお令和元年度、令和2年度において確立した実験プロトコルと解析方法を使用した。

B. 研究方法

令和3年度では、足の背屈力低下により、歩行時につま先が下垂してしまう下垂足患者を対象としたCFRP製の短下肢装具【アラードAFO3(トーオフショートモデル)、株式会社田沢製作所】を用いて、荷物の持ち上げ実験を行い、作業の支援効果を明らかにする。同短下肢装具の外観を、図1に示す。市販のウォーキングシューズに入れ、その上から靴を履くことで着用する。

み込んで錘を把持し持ち上げる荷上げ作業(図2)と、錘を持ったまましゃがみ込み置いた後立ち上



(a) 短下肢装具 (b) 装着した様子

図1 CFRP板バネ搭載短下肢装具

がる荷下ろし作業(図3)を、体幹を前傾させずに下肢関節を屈曲させるSquat法で行った。錘の質量は10 kg、錘が置いてある高さは0.5 mとした。これらの条件は、R1年度に決定した重量物作業模倣動作に基づいて決定された。装具着用条件(wi

th) とコントロールとして非着用条件 (without) の計2条件で行い、各条件の試行回数は10回とした。荷上げ作業、荷下ろし作業について、錘の把持期間とそれ以外とでフェーズを分け、それぞれ【しゃがみ込み (Squatting) , 持ち上げ (Lifting up)】 , 【持ち下げ (Unloading) , 立ち上がり (Standing up)】 と定義した。筋使用量の評価として、乾式表面筋電計 (ワイヤレスEMGロガー, 株式会社ロジカルプロダクト) を用いた。

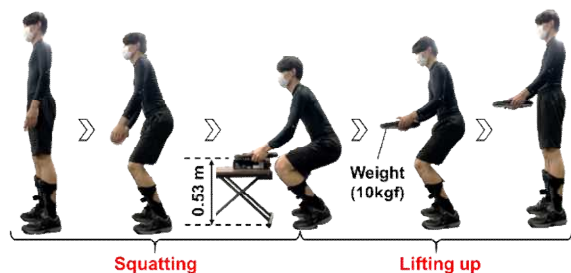


図2 持ち上げ作業

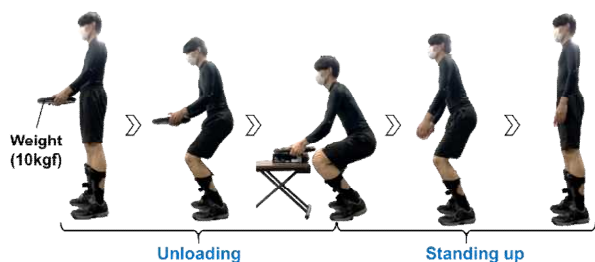


図3 持ち下げ作業

図4に示されるように、筋電計は、Squat法での荷物の上げ下ろし作業において使用するとされる代表筋計8か所に取り付けた。具体的には、足関節の背屈を行う前脛骨筋、足関節の底屈と膝関節の屈曲を行う内側腓腹筋、膝関節の伸展と股関節の屈曲を行う大腿直筋、膝関節の屈曲と股関節の伸展を行う大腿二頭筋、股関節の伸展を行う大殿筋、腰部負担の指標となる脊柱起立筋、肩関節の動きに寄与する僧帽筋と広背筋に取り付けた。

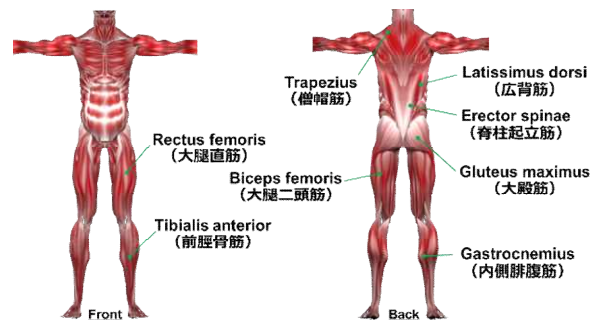


図4 筋電計の取り付け位置

筋電図データに対して二乗平均平方根 (root mean square: RMS) 法を用いて整流・平滑化処理をした後、その筋電図波形に対して、動作区間中の積分値 (Integrated EMG: IEMG) を求めた。そして、IEMGを測定筋間で比較するために、最大随意収縮 (Maximal voluntary contraction: MVC) 時の筋電位を用いて次式によりIEMGを規格化した%IEMGを評価に用いた。

$$\%IEMG = IEMG / (MVC \times T) \times 100 \quad (1)$$

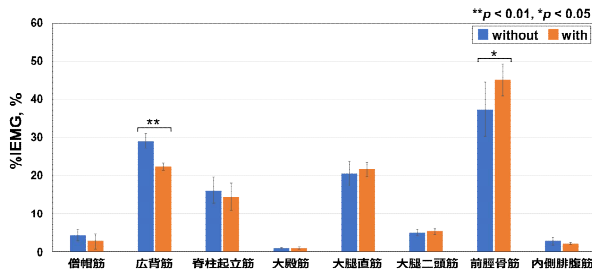
ここで、 T はIEMGを求めた際の積分区間であり、%IEMGは筋肉の使用量を意味する。

(倫理面への配慮) 本研究における実験プロトコルは、東北大学大学院工学研究科人を対象とする研究に関する倫理委員会にて事前に承認を得ており (20A-5) , 各被験者には事前に実験方法と注意点を説明したうえで書面にてインフォームドコンセントを取得した。

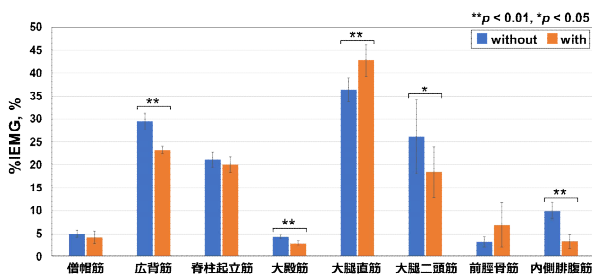
C. 研究結果

図5に、測定した8か所の筋の%IEMGの10回の平均値を、各フェーズごとに示す。図5(a)より、しゃがみ込みにおいては、足関節背屈筋である前脛骨筋使用量が装具着用によって増加した ($p < 0.05$)。これは、装具のカーボンをたわませるために、前脛骨筋の活動量が増加したためと考えられる。図5(b)より、持ち上げにおいて、まず足関節については、足関節底屈筋である腓腹筋使用量が装具着用によって減少した ($p < 0.01$)。これは、腓腹筋による底屈動作を、装具のカーボンの復元力が補ったことによるものだと考えられる。一方、腓腹

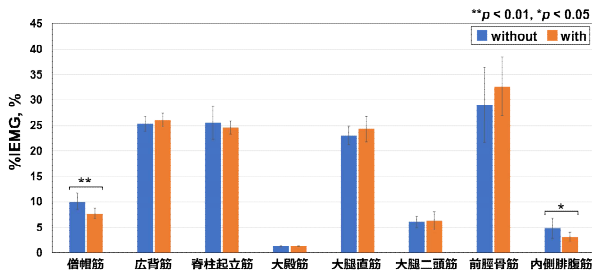
筋と拮抗筋である前脛骨筋では筋使用量が増加傾向を示した。これは、カーボンの復元力によって増加した持ち上げ時の足関節の角速度を、前脛骨筋を使って制動したためだと考えられる。そして股関節においては、股関節伸展筋である大殿筋と大腿二頭筋で、装具着用によって筋使用量が減少した（それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.05$ ）。よって、装具のカーボンの復元力が、持ち上げ時の股関節の伸展動作への補助効果を示すといえる。一方、大腿二頭筋と拮抗筋である大腿直筋では、装具着用によって筋使用量が増加した（ $p < 0.01$ ）。これは、前脛骨筋同様に、装具によって増加した持ち上げ速度を制動することに使われた可能性が考えられる。



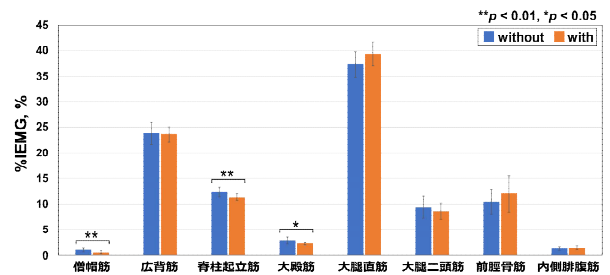
(a) しゃがみ込み期間



(b) 持ち上げ期間



(c) 持ち下げ期間



(d) 立ち上がり期間

図5(c)より、持ち下げにおいては、足関節底屈筋である腓腹筋使用量が、装具着用によって減少した（ $p < 0.05$ ）。この筋肉は、持ち下げの速度を制動するために使われる筋であるが、装具からの反力により、腓腹筋による制動の必要性が減少したため、筋使用量が減少したと考えられる。

図5(d)より、立ち上がりにおいては、脊柱起立筋と股関節伸展筋である大殿筋の筋使用量が、装具着用によって減少した（それぞれ $p < 0.01$, $p < 0.05$ ）。このことより、装具を着用することで、立ち上がり時の腰部の負担が減少することがわかった。

D. 考察

炭素繊維板バネ搭載短下肢用装具を用いることで、炭素繊維板バネの復元力のみを用いて、しゃがみ込み、立ち上がりの各フェーズにおいて支援効果がみられた。被検者の体格や筋力により最適なバネ強度（支援効果と関節可動域制約の兼ね合い）は異なるが、本装具の板バネ厚さを変更することで装着者の体力や体形にあわせた装具ロボット的最適化が可能である（オーダーメイド装具ロボット）。また、本装具は、靴への取り付け、取り外しが容易であり、また、歩行時の蹴りだし補助効果も期待できることから、荷物の持ち上げや持ち下げといった作業支援効果のみならず、歩行支援効果も同時に期待でき、より実用性に優れるといえる。また、脊柱筋の支援効果も観察され、作業支援効果に加えて腰痛予防効果も期待できる可能性があることが分かった。

E. 結論

炭素繊維板バネ搭載短下肢装具の荷物の持ち上げ、持ち下げ実験を行い、筋電図解析により装具の支援効果及び腰痛予防効果を確認した。本短下肢装具は、取り付け・取り外しが容易であり、炭素繊維板バネの復元力を用いた無動力作業支援ロボットとして実用可能性を十分有するといえる。

F. 健康危険情報 なし

G. 研究発表

1. 論文発表 なし

2. 学会発表 なし

H. 知的財産権の出願・登録状況 なし

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍 無し

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
Iwori Takeda, Atsushi Yamada, Hiroshi Onodera	Artificial Intelligence-Assisted motion capture for medical applications: a comparative study between markerless and passive marker motion capture	Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering	24	864-873	2021
Iwori Takeda, Wataru Yasunaga, Satoshi Kobayashi, Yusaku Tagawa, Hiroshi Onodera	Gait assist brace with double carbon fiber reinforced plastic spring blades to allow ankle joint movement and change in walking direction	Advanced Robotics	35	927-938	2021
Yusaku Tagawa, Taiyu Okatani, Hiroshi Onodera	Estimation of coefficient of static friction with one-axis force sensor by observing peripheral local slips on elastic hemisphere	Journal of Control, Measurement, and System Integration	14	206-212	2021