

労災疾病臨床研究事業費補助金

重量物挙上に伴い発生する
腰痛の予防を目的とした装着型ロボットの効果
(160401-02)

平成28年度 総括研究報告書

研究代表者 山田 孝禎

平成29(2017)年 3月

目 次

I. 総括研究報告

重量物挙上に伴い発生する腰痛の予防を目的とした装着型ロボットの効果	1
---	---

山田 孝禎

II. 研究成果の刊行に関する一覧表	12
--------------------------	----

平成28年度労災疾病臨床研究事業費補助金

総括研究報告書

重量物挙上に伴い発生する腰痛の予防を目的とした装着型ロボットの効果
(160401-02)

研究代表者 山田 孝禎 福井大学学術研究院教育・人文社会系部門 准教授

研究要旨：

腰痛は、4日以上の休業を伴う職業性疾病の6割を占める労働災害で、床面の状態や振動、寒冷等の環境要因および体格、年齢および筋力等の個人要因を基盤に、強度の身体負荷や不用意な動作、長時間の静的作業姿勢を維持することで、その発生のリスクが高まる。重量物の積み下ろし作業時における腰部負担軽減を目的に開発された装着型ロボットの導入により、労働作業者が重量物を挙上する際の強度な身体負荷を軽減し、効果的な腰痛予防が期待される。本研究の目的は、装着型ロボット（ATOUN社（旧：ActiveLink社）、AWN-03）の着用が重量物挙上時に腰部にかかる負担および主観的苦痛度に及ぼす効果を検討し、装着型ロボットの腰痛予防効果を明らかにすることであった。健康な青年男性10名（年齢：22.4±5.0歳、身長：173.9±6.7cm、体重：69.5±6.9kg）が、せすじおよび膝関節を伸展させたまま股関節を90度に屈曲し、各被験者の体重の0、20あるいは40%の重量物を保持した姿勢から、検者の合図の後、重量物を挙上した。各重量物条件における挙上動作は、それぞれ3試行実施し、装着型ロボットによるパワーアシストの有無および重量物条件における挙上動作の試行順はランダムに設定した。被験者には、重量物挙上直後に、挙上に伴う腰部への苦痛度をVisual Analogue Scaleに回答するよう指示した。なお、重量物を挙上する際、上肢を屈曲させ重量物を持ち上げないように指示した。重量物挙上開始から完了まで腰部関節ピークおよび平均トルク、および重量物挙上に伴う腰部への苦痛度を評価変数として用いた。いずれの重量物挙上時における腰部関節トルクも、装着型ロボットの装着により有意に低下した。また、装着型ロボットを装着しなかった場合の重量物挙上時における腰部関節トルクは、重量物の重さの上昇に伴い有意に直線的に上昇したが、装着型ロボットを装着した場合はほぼ一定であった。装着型ロボットを着用したいずれの重量物条件における重量物挙上に伴う苦痛度も有意に低かった。以上から、装着型ロボットの装着により、重量物挙上時に腰部にかかる負荷は大きく軽減されるため、腰痛予防に大きく資する効果をもたらすと示唆された。

A. 研究目的

腰痛は、4 日以上の休業を伴う職業性疾病の 6 割を占める労働災害で、床面の状態や振動、寒冷等の環境要因および体格、年齢および筋力等の個人要因を基盤に、強度の身体負荷や不用意な動作、長時間の静的作業姿勢を維持することで、その発生のリスクが高まる（図 1）。腰痛予防の取り組みとして、厚生労働省では作業管理、作業環境管理ならびに健康管理を挙げ、作業姿勢・動作の改善や作業環境温度管理、作業前後のストレッチング等、具体的な腰痛予防対策を打ち出している。また、人力のみにより取り扱う物の重量は、体重のおおむね 40%以下となるように、女子労働者では男性が取り扱うことのできる重量の 60%位までとするように定めている。



図 1 腰痛の発症要因

しかしながら、労働者の作業環境は、運送荷役、建築、建設、農作業、介護あるいは自然災害現場等のように、作業を補助するための機器の持ち込みすら困難で、人力のみに頼らざるを得ない現場も多い。また、そのような現場では、体重の 40%を超える重量物を扱うことも少なくない。

近年、ヒトの労働作業の補助を目的とした装着型ロボット（図 2）が開発され、その利用に伴う労働作業時の身体的負担軽減が期待されている。しかしながら、

上述のような労働作業現場においては、ロボットの動力源となる電源等の確保が困難であったり、ロボットの大きさが労働作業現場に相応しくなかったり、装着型ロボットに対する種々の課題が指摘されていた。



高さ80cm X 幅48cm X 奥行き27cm

図 2 AOUN 社製装着型ロボット AUN-03

AOUN 社（平成 29 年度より社名変更：変更前は ActiveLink 社）が開発・製造している装着型ロボットは、重量物の積み下ろし作業時における腰部負担軽減を目的に開発された装着型ロボットである。このロボットは、動力源のモーターを充電式バッテリーにより 8 時間稼働可能である。また、本体は小型・軽量（約 6kg）なため、いかなる労働作業現場に導入しても作業を妨げる可能性は低いと考えられる（図 3）。従って、上述のような作業現場への導入が期待され、労働作



図 3 AUN-03 の特徴

業者が重量物を挙上する際の強度な身体負担を軽減することに大きく貢献し、効果的な腰痛予防が期待される。しかしながら、その着用により、腰部への負担がどの程度軽減されるか、また腰痛発生率が減少するか否かは、詳細に明らかにされていないことが多い。

本研究の目的は、装着型ロボットの着用が重量物挙上時に腰部にかかる負担および主観的苦痛度に及ぼす効果を検討し、装着型ロボットの腰痛予防効果を明らかにすることであった。

B. 研究方法

1) 被験者

腰痛の既往のない健康な青年男性 10 名（年齢：22.4±5.0 歳、身長：173.9±6.7cm、体重：69.5±6.9kg）が本研究に参加した。被験者には測定に先立ち本研究の主旨、目的、方法および危険性等について、研究代表者から詳細に説明し、研究参加の同意を同意書の署名により得た。なお、本研究の実験プロトコルは、ヒトを対象とする研究審査委員会（福井大学学術研究院教育・人文社会系部門教員養成領域倫理審査委員会）の審査を受け、承認を得た。

2) 重量物挙上動作

挙上動作は、膝関節が伸展したままの **Stoop lifting** 法と体幹の前傾が小さく、膝関節を屈曲させる **Squat lifting** 法に大別される（後藤, 2001）。前者は、日常的によく用いられるが（Straker, 2000）、脊柱にかかる負担が大きいため、腰痛発症リスクの高い挙上方法として指摘されている。本研究では、重量物挙上時において腰痛発症リスクの高い **Stoop lifting**

法を選択した。

被験者は、せずじおよび膝関節を伸展させたまま股関節を 90 度に屈曲し、各条件における重量物を保持した姿勢から、検者の合図の後、重量物を挙上した（図 4）。なお、被験者には、重量物挙上の際に、上肢を屈曲させ重量物を挙上しないように指示した。



図4 重量物挙上動作

3) 実験条件（装着型ロボット、重量物の重さ）

装着型ロボットは、大転子を中心に、体幹および大腿の伸展方向の力を発生させ、重量物挙上動作のアシストをする。被験者は、装着型ロボットあり条件下の重量物挙上動作時には、重量物を挙上する直前に装着型ロボットの電源を入れた後、重量物を挙上した。つまり、上記の伸展方向のアシストが駆動した状態で、重量物を挙上した。一方、装着型ロボットなし条件では、装着型ロボットを装着したまま、電源を入れずに重量物を挙上した。つまり、装着型ロボットのアシストが駆動しない状態で、重量物を挙上した。

厚生労働省は、人力により取り扱う物の重量の上限を体重の 40%に定めてい

る。本研究においては、これを基準に、各被験者の体重に基づく 0、20 および 40%の重量物を設定した。

4) 実験手順

被験者は、つま先、土踏まず、かかと、足、膝および股関節、手先、手および肘関節、および肩峰に反射マーカを貼付した後、装着型ロボットおよび各重量物条件下における **Stoop lifting** による重量物挙上動作を 3 試行ずつ実施した。装着型ロボットスーツによるパワーアシスト駆動の有無および重量物条件における挙上動作の試行順はランダムに設定した。また、被験者には、装着型ロボットおよび各重量物条件下における重量物挙上動作直後に、挙上に伴う腰部への苦痛度を **Visual Analogue Scale** に回答するよう指示した。

5) 評価変数

各条件下における重量物挙上動作は、スポーツセンシング社製・スポーツコーチングカムにより 120fps にて 4 方向から撮影された。また、各条件下における重量物挙上動作時における床反力が、フォースプレートにより計測され、ディケイエイチ社製・**TRIAS** によりサンプリング周波数 1kHz で記録された。

撮影された映像から、ディケイエイチ社製・**Frame-Dias V** により 3 次元動作分析が行われ、各条件下における重量物挙上動作のキネマティクス特性と床反力データから、腰部関節トルクが算出された。

重量物挙上開始から完了までの腰部関節ピークおよび平均トルクが算出された。腰部関節ピークおよび平均トルク、重量物挙上に伴う腰部の苦痛度とも、3 試行の平均値を解析に用いた。

6) 統計解析

装着型ロボットおよび各重量物条件下における重量物挙上動作時の腰部関節ピークおよび平均トルク、腰部への苦痛度の平均値差を二要因（装着型ロボット条件×重量物条件）ともに対応のある二要因分散分析により求めた。事後検定には **Tukey** の **HSD** 法を用いた。各要因の効果の大きさの大きさを η_p^2 により求めた。本研究における統計的仮説検定の有意水準は 5% に設定した。

C. 結果

図5は、装着型ロボットおよび各重量物条件下の重量物挙上動作開始から完了までにおける腰部関節トルクの変化を示している。無負荷条件における挙上動作時の腰部関節トルクに顕著な違いは認められなかったが、負荷の上昇に伴い、装着型ロボットのアシストなし条件で、重量物挙上動作時における腰部関節トルクが上昇し、ピークを示した後、低下した。これらの傾向は負荷が大きくなるに伴い顕著であった。一方、アシストあり条件では、重量物挙上動作時における大きなトルクの変化は、20%重量物条件まで認められなかったが、40%条件で腰部関節トルクの上昇が認められた。しかしながら、いずれも装着型ロボットのアシストなし条件よりも低かった。

表1、図6および7は、装着型ロボットおよび各重量物条件下の重量物挙上時の腰部関節ピークおよび平均トルクの平均値、標準偏差、二要因分散分析および多重比較検定結果を示している。ピークおよび平均トルクとも有意な交互作用が認められた。多重比較検定の結果、ピー

クトルクにおいては、装着型ロボットのアシストなし条件下で 40%の重量物挙上動作時におけるピークトルクが最も高く、0%で最も低かった。また、いずれの重量物条件下の重量物挙上時におけるピークおよび平均トルクも、装着型ロボットのアシストなし条件が、あり条件よりも有意に高かった。

表2および図8は、装着型ロボットおよび各重量物条件下の重量物挙上時の腰部の苦痛度の平均値、標準偏差、二要因分散分析および多重比較検定結果を示している。有意な交互作用が認められ、多重比較検定の結果、装着型ロボットのアシストありおよびなしの両条件下で40%の重量物挙上動作時における苦痛度が最も高く、0%で最も低かった。また、いずれの重量物条件下の重量物挙上時における苦痛度も、装着型ロボットのアシストなし条件が、あり条件よりも有意に高かった。

D. 考察

装着型ロボットのアシスト駆動により、いずれの重量物負荷の挙上動作時における腰部関節トルクも有意に軽減された。目的においても述べたように、腰痛は、床面の状態や振動、寒冷等の環境要因および体格、年齢および筋力等の個人要因を基盤に、強度の身体負荷や不用意な動作、長時間の静的作業姿勢を維持することで、その発生のリスクが高まる。装着型ロボットのアシスト駆動により、強度の身体負荷をアシスト駆動なしに比べピークトルクで 63%、平均トルクで 38%にまで大きく軽減することができたと示唆される。また、装着型ロボットのアシスト駆動により、いずれの重量物負荷の

挙上動作時における腰部の苦痛度も有意に軽減された。近年では、腰痛の約半数に精神的なストレスが関与していると報告されている。つまり、重量物挙上に伴う苦痛度も腰痛発症に関与すると推測される。以上から、重量物挙上時における装着型ロボットのアシスト駆動により、腰部関節トルクの低下に伴う物理的な腰痛リスクの軽減に加え、苦痛度の軽減に伴う心理的リスクの軽減が期待されると示唆された。

E. 結論

装着型ロボットの装着により、重量物挙上時に腰部にかかる負荷および苦痛度が大きく軽減されるため、腰痛予防に大きく資する効果をもたらすと示唆された。

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
山田孝禎. 装着型ロボットスーツの着用が重量物挙上時における主観的苦痛度に及ぼす影響. 日本体育測定評価学会第16回大会号. 2017年3月.

H. 知的財産権の出願・登録状況 なし

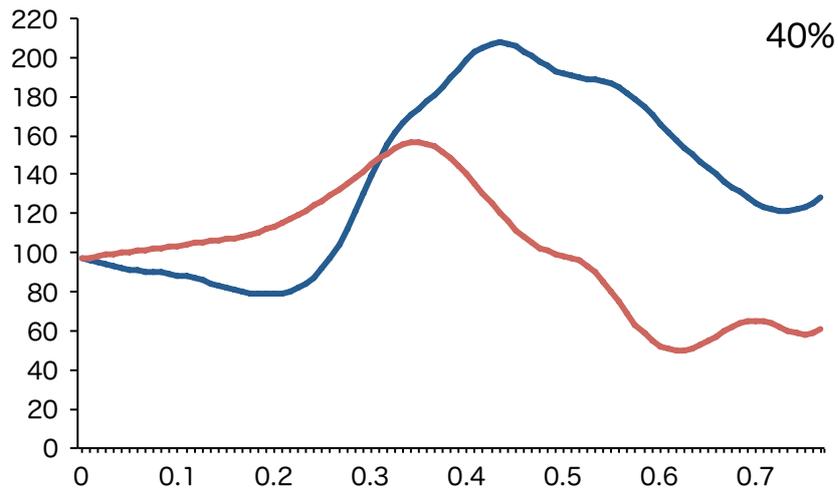
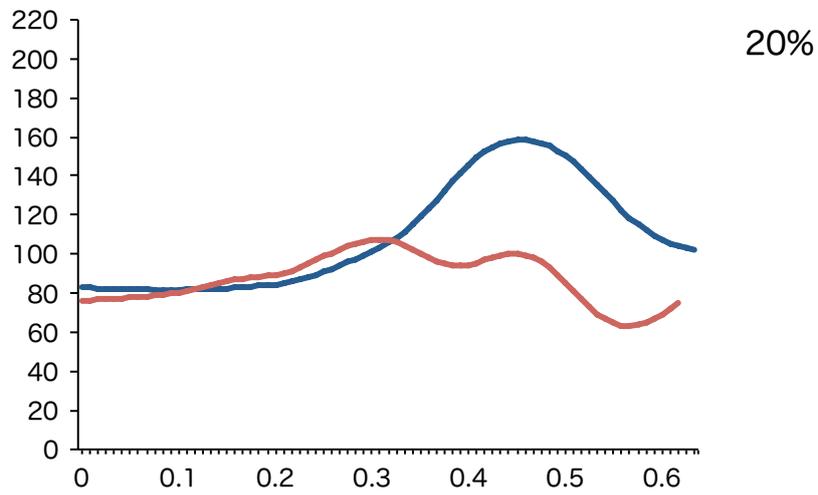
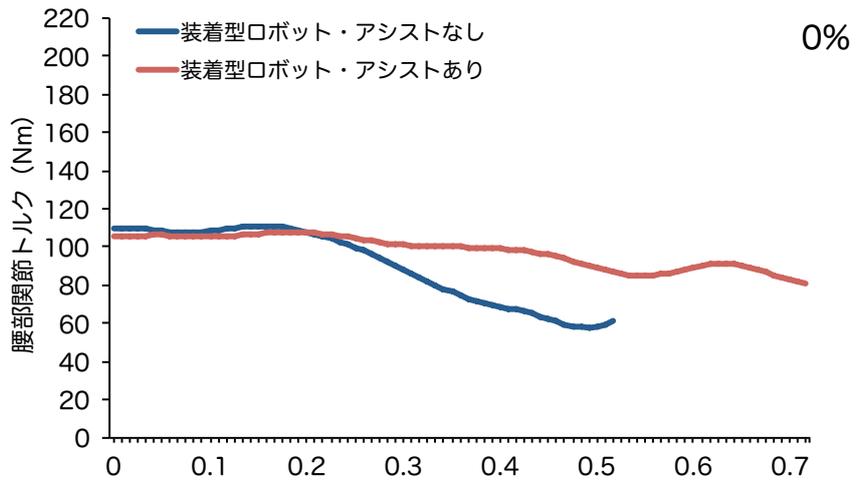


図5 装着型ロボットおよび各重量物条件下における重量物挙上動作時の腰部関節トルクの典型例

表1 装着型ロボットおよび各重量条件下の重量物挙上時の腰部関節ピークおよび平均トルクの平均値、標準偏差、二要因分散分析および多重比較検定結果

ピークトルク	装着型ロボットのアシストなし		装着型ロボットのアシストあり		二要因分散分析						多重比較検定		
	Mean	SD	Mean	SD	F _{アシスト}	p	η_p^2	F _{負荷}	p	η_p^2	F _{交互作用}	p	η_p^2
0%	1.54	0.16	1.38	0.12									
20%	1.99	0.22	1.37	0.44	53.0	0.000	0.85	16.5	0.000	0.65	19.2	0.000	0.68
40%	2.51	0.39	1.58	0.51									
平均トルク	1.20	0.11	0.78	0.37									
0%	1.31	0.23	0.67	0.61	30.8	0.000	0.77	0.1	0.933	0.01	10.7	0.001	0.54
40%	1.49	0.47	0.57	0.78									

0%, 20%, 40% : 被験者の体重を基準とした重量物負荷

アシストなし : 40% > 20% > 0%

0%, 20%, 40% : アシストなし > アシストあり

0%, 20%, 40% : アシストなし > アシストあり

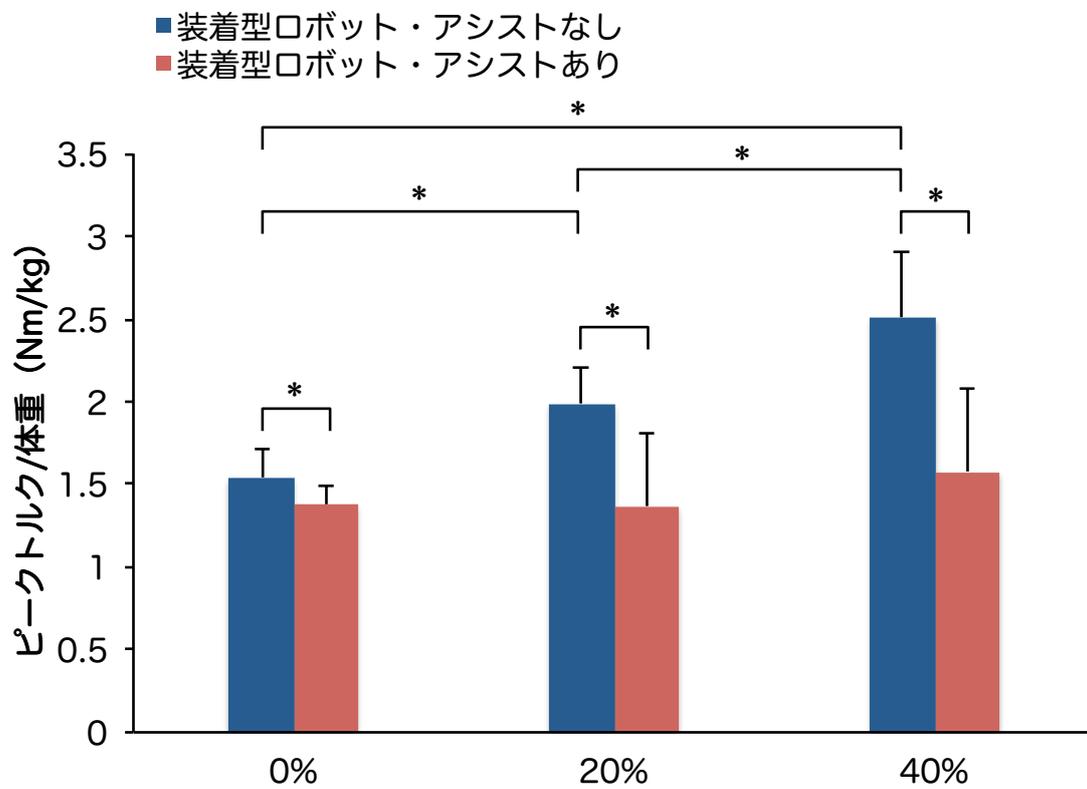


図6 装着型ロボットおよび各重量物条件下の重量物挙上動作時における腰部関節ピークトルク

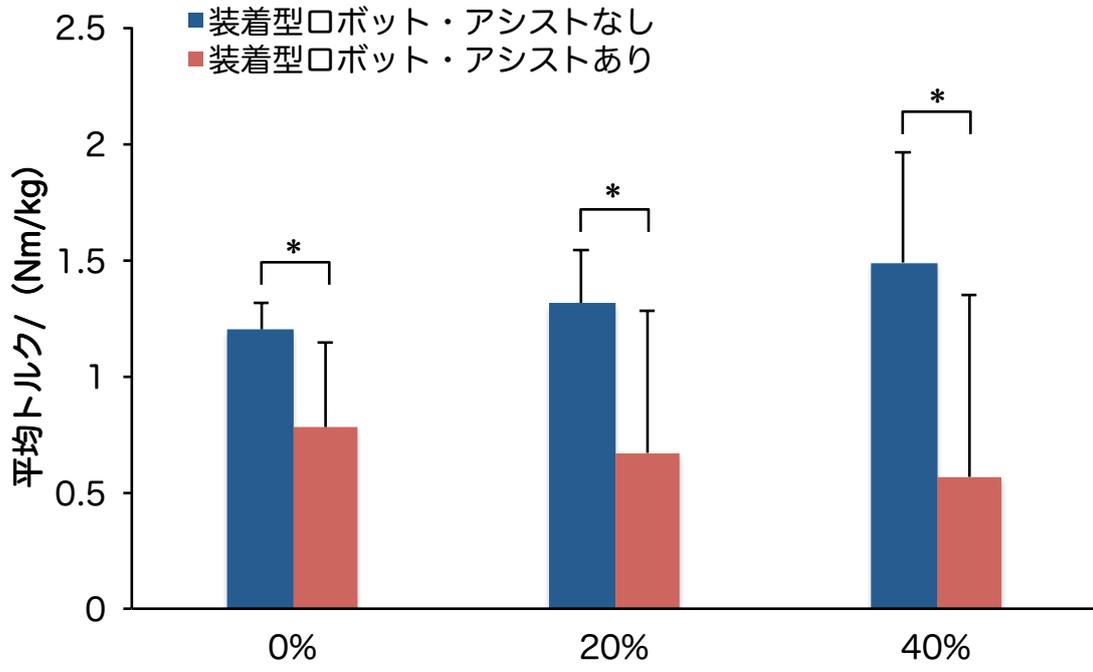


図7 装着型ロボットおよび各重量物条件下の重量物挙上動作時における腰部関節平均トルク

表2 装着型ロボットおよび各重量物条件下の重量物挙上時における腰部の苦痛度の平均値、標準偏差、二要因分散分析および多重比較検定結果

腰部の 苦痛度	装着型ロボットの アシストなし		装着型ロボットの アシストあり		二要因分散分析				多重比較検定				
	Mean	SD	Mean	SD	$F_{アシスト}$	ρ	η_p^2	$F_{負荷}$	ρ	η_p^2	$F_{交互作用}$	ρ	η_p^2
	0%	7.10	7.04	3.63	4.77								
20%	25.75	16.19	10.17	7.89	57.6	0.000	0.87	77.0	0.000	0.90	23.5	0.000	0.72
40%	62.00	16.28	26.25	15.40									

0%, 20%, 40% : 被験者の体重を基準とした重量物負荷

アシストあり・なし : 40% > 20% > 0%

0.72 0%, 20%, 40% : アシストなし > アシストあり

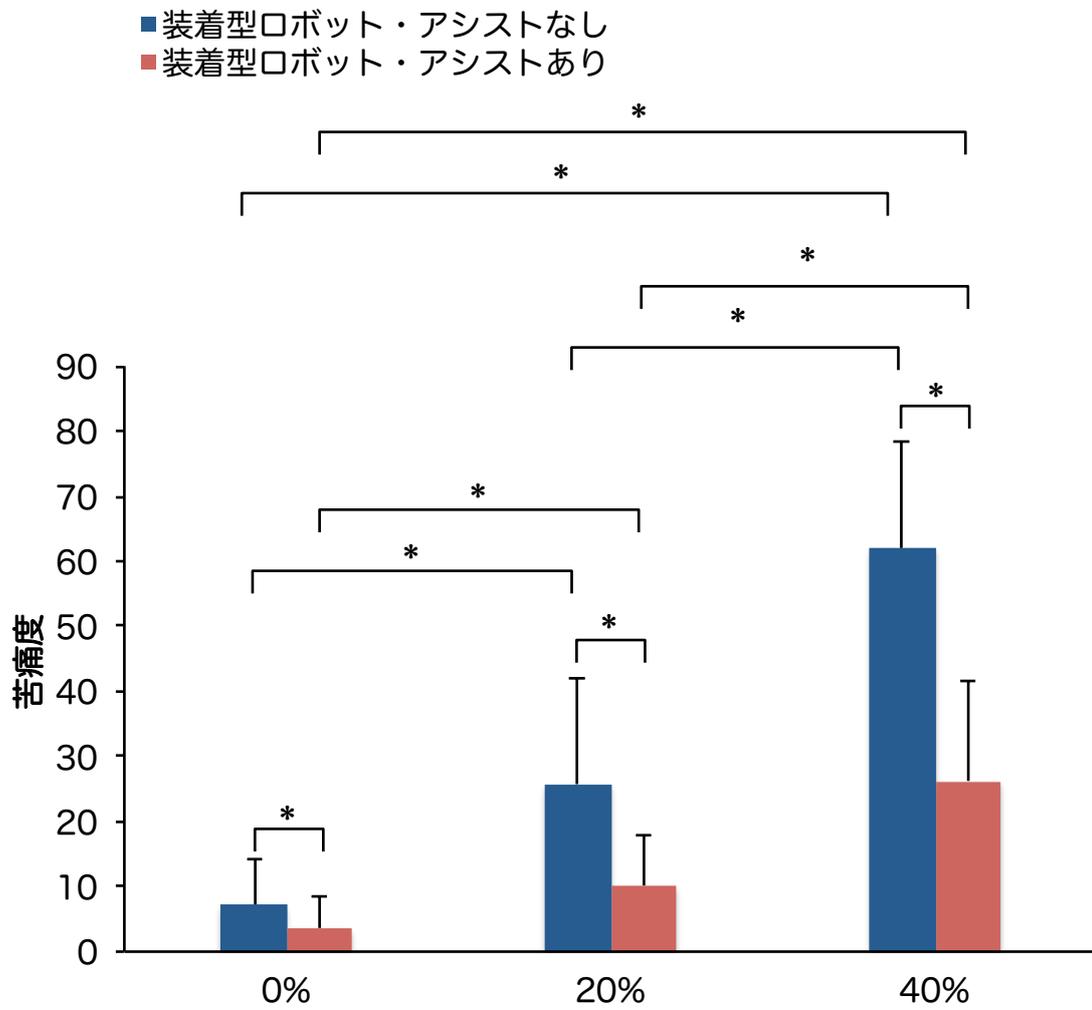


図8 装着型ロボットおよび各重量物条件下の重量物挙上動作時における腰部の苦痛度

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
該当なし							

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
山田 孝禎	装着型ロボットスーツの着用が重量物挙上時における主観的苦痛度に及ぼす影響	日本体育測定評価学会第16回大会号	プログラムム・抄録集	19	2017年3月