

研究結果の概要

研究代表者 東京大学工学系研究科 小野寺宏

(現所属：東京大学理学系研究科附属フotonサイエンス研究機構)

研究最終年度 (R3) の概要

研究目的

R2 年度版の装具ロボットの課題である足関節拘束感を軽減できる無動力 CFRP 装具ロボットを設計制作し性能を運動解析・筋電図・官能試験により評価する。労働者自身が作業時の労災危険度（腰痛リスク）を簡便かつ客観的に判断できるスマートフォンアプリを開発する（腰痛危険度と脊椎負荷量を表示し、正しい作業姿勢を学ぶことができる）。

研究方法

R2 年度モデルでは足関節拘束による歩行時の違和感を訴える被験者が少なくなかったため CFRP バネの靴部/下腿装着部の連結部位を踝前方に移動して足関節の関節可動域制限をさらに軽減させた。労働者自身がスマートフォンで撮影した重量物挙上動画（写真）をもとに作業時の労災危険度（腰椎負荷推定値、正しい挙上姿勢からの乖離）を簡便に評価できるスマートフォンアプリを開発した。本アプリでは正しい挙上姿勢を撮影画像に重ねて表示することで正しい作業姿勢を学べる仕様とした。

研究成果

R3 年度モデルは前年度までの課題をほぼ解決しつつ R2 年度モデル並みの重量物挙上支援効果を確保できた。完全無動力、超軽量（靴一揃で 600 グラム以内）、足関節可動域改善による歩行時違和感軽減、CFRP 加工費削減を実現できた。労働者が自身の重量物挙上姿勢をスマートフォンで撮影し、その画像をもとに腰痛リスク（腰椎負荷推定値）と正しい重量物挙上姿勢（重量挙げのパワーポジション相当）を学べるアプリを開発した。

結論

重量物挙上作業を支援でき、疲労軽減と腰痛予防効果を有する完全無動力 CFRP 装具ロボットを開発した。CFRP 加工コストも削減でき労働現場への普及が期待される。本装具ロボットの性能を最大限発揮するための姿勢（=腰痛軽減姿勢）を学べるスマートフォンアプリを開発した。

研究期間全体の概要

研究目的

荷物の上げ下ろし作業支援のための炭素繊維(CFRP)バネを搭載する下肢用装具ロボットを開発し労働者の重量物（被介護者）運搬業務における負担軽減と腰痛防止を目指す。そのため無動力超軽量で装着負担感軽微かつ短時間で装着できる労働支援装具ロボットを開発する。腰痛防止には重量物作業時の姿勢が重要であり腰痛防止のための正しい挙上方法と姿勢を学べる手法を開発し労働安全（腰痛予防）に寄与する。そこで労働者自身が作業時の労災危険度（腰痛リスク）を簡便かつ客観的に判断できるスマートフォンアプリを開発する（腰痛危険度と脊椎負荷量を表示し、正しい作業姿勢を学ぶことができる）。

研究方法

米国の労働安全基準（Centers for Disease Control and Prevention CDC）に準じ本研究で開発する無動力 CFRP 装具ロボットは 15kg 以下の重量物作業支援に特化する。複数の CFRP バネを下腿装着部と靴部で連結し、腰痛防止効果に優れる重量物挙上姿勢であるパワーポジション（腰部は屈曲せずにしゃがみ込み）において最大の支援効果が得られる設計とした。本装具ロボットを装着した医療介護従事者の意見等（R1 年度）をもとに改善点を抽出し R3 年版装具ロボットを完成させた。労災（腰痛症）の予防には労働者と管理者が“この作業はどの程度の腰痛誘発リスクがあるか？”を認識する必要がある。しかし、どのような姿勢で腰痛誘発リスクが高いかを理解している労働者は少ない。労働者自身が作業時の労災危険度（腰痛リスク）を簡便かつ客観的に判断できる

ことが必要である。そこでスマートフォンで撮影すれば腰痛危険度（脊椎負荷量）を推定し正しい作業姿勢（パワーポジション）も学べるアプリを作成する。重量物操作時の腰痛予防と正しい重量物持ち上げ姿勢の教育に使用できるマニュアルはこのアプリで学ぶことができる。

研究成果

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 CFRP 構造研究者（航空工学）の協力を得て CFRP バネの耐久性試験・破壊実験・コンピューターシミュレーションをおこなった。この結果をふまえ装具用バネを設計製作した。最終年度までに種々の CFRP バネ形状、バネのレイアウト、靴の選定、実測とシミュレーションによるバネ定数検討を進めてきた。R1 年型ロボットで課題となった装着時間の短縮・構造単純化・軽量化のため、介護業むけロボットと重量物上げ下ろし業むけロボットを別設計とし業務ごとに最適化した CFRP 装具ロボットを開発することになった。ロボット構造の単純化と軽量化が容易になり、バネ定数制御機構を除去できたため電子回路とバッテリーは不要となった。これにより装具ロボットの徹底的な消毒と食品工場等の水濡れ環境での活用も可能となり、モーター搭載型ロボットでは導入困難な労働環境での業務支援が可能となった。残念ながら新型コロナウイルス流行のため介護現場での実測および体育大学での実験が不可能となり、重量物上げ下ろし業向けロボット開発に注力せざるを得なかった。性能測定実験は被検者の安全を考慮して CDC が推奨する 10kg にて実施した。R2 年型ロボットは CFRP バネを靴と融合させさらに下腿との接続部の柔軟性を向上させることより足関節拘束を軽減させた。筋電図で荷物操作時の負荷軽減効果を観察すると、下肢筋とくに腓腹筋で大幅に重量物上げ下ろし時の筋活動が減少していた（最大 35%）。R2 年型モデルは CFRP バネを下腿部と靴部を踝の後ろ側から連結していたが足関節の自由度が非装着時の半分以下に制限されるため方向転換時の足首運動制約感が課題であった。そこで R3 年型モデルは踝の前側でバネを連結することで足関節の自由度を拡大した。これにより歩行時と方向転換時の違和感が著明に軽減され、しかも R2 モデルと同等の重量物挙上支援効果が得られた。

スマートフォンで撮影した動画（画像）から腰痛危険度（脊椎負荷量）を評価し、正しい作業姿勢（パワーポジション姿勢）も学べるアプリを作成した。スマートフォンで撮影した重量物挙上動作の動画または写真を用いて人体各部位をユーザーがマーキングしオフラインで腰椎負荷量を計算する。腰椎負荷推定値が厚労省および CDC が定める腰痛誘発閾値の 3400 ニュートンを超えれば警告するとともにパワーポジション姿勢が取れていたかを画面に表示する。このアプリにより正しい挙上姿勢学習と労災（腰痛症）リスク軽減に貢献する。なお重量物操作時の腰痛予防と正しい重量物持ち上げ姿勢を学習するためのマニュアルは本アプリに搭載した。

結論

R3 年度モデルは踝よりも前側で CFRP を連結するデザインに変更したことで関節拘束を軽減でき、歩行時および方向転換時の違和感は著明に改善された。この結果、本装具ロボットを重量物作業時以外にも装着し続けることが可能となった。

今後の展望

本装具ロボットは研究分担者の山口が中心となり靴メーカーとの連携をふまえ実用化を目指す。スマートフォンアプリ（腰痛危険度判定、正しい挙上姿勢学習）を医療介護施設や企業に安心して導入してもらえるようオフラインで動作し外部には一切情報を送信しない仕様とした。これにより労働者や被介護者のプライバシーと企業秘密が守られる。本アプリが多くの施設や企業で活用され労災（腰痛症）予防に貢献できれば幸いである。