

J-037

腰部負荷軽減のための股関節動作支援用 HAL の開発に関する研究 Research on HAL for Hip Joint Movement Support for Reducing Lumbar Load

原 大雅[†]山海 嘉之[†]

Hiromasa Hara and Yoshiyuki Sankai

1. はじめに

我が国において腰痛は、厚生労働省による国民生活基礎調査の症状別有訴者率にて、男性で第一位(87.4)、女性では肩こりに次いで第二位(117.9)、総数では第一位となっている [1]。すなわち、国民の 10 人に 1 人は腰痛を有していることになる。

腰痛とは腰部に負荷のかかる動作による腰椎、椎間板、神経の障害であり、発症要因となりうる動作として、長時間の静的作業姿勢維持、重量物挙上動作、頻繁な捻転動作、反復同一動作などが挙げられる。これらの動作を頻繁に行うことによる腰痛発症リスクの上昇、または更なる腰痛の悪化が懸念されている。しかし、姿勢維持や重量物挙上動作などは、日常生活において頻繁に行われる動作であるため、これらの動作に対して腰部負荷を軽減することの重要性が指摘されている [2-3]。

本研究室で開発が行われてきたロボットスーツ HAL は、人間と一体化し装着者の運動機能を強化及び補助することで日常動作や重作業の支援を行うことを目的とした装着型ロボットである。先行研究では、健常者における立ち上がりや歩行などの下肢動作に適応され、身体的負荷の軽減に対する有効性が実証されてきた。その技術を応用して図 1 に示すように全身型、上半身型、下半身型や単関節型の開発を行っている [4-7]。

本研究では、解剖学の観点から原因を追求し、工学技術による腰痛の予防・緩和を目指している。本稿では、腰部負荷を軽減することの可能な股関節動作支援用 HAL を開発することを目的とする。

2. 方法

姿勢維持、重量物挙上動作などで行われる体幹屈曲姿勢は、脊柱の生理的彎曲を崩し、腰部の筋肉の緊張を高めるため腰痛を引き起こす要因となる。体幹屈曲姿勢をとるために行われる体幹の屈曲・伸展動作は、腰椎の屈曲・伸展動作と両股関節を中心とした骨盤の回旋運動による股関節の屈曲・伸展動作から成り立っている。腰椎の可動域は回旋、側屈はほとんどなく屈曲・伸展のみであるため、腰椎を制動することで体幹の屈曲・伸展動作を股関節の屈曲・伸展動作に代替することができる。そのため、HALを用いて股関節の動作アシストを行うことで腰部負荷を軽減することができると考えられる。そこで、腰部負荷軽減に焦点を当て、パワーユニットを股関節にのみ有する股関節動作支援用HALを開発する。

2.1 股関節動作支援用 HAL のシステム構成

開発した股関節動作支援用HALのシステム構成図を図2に示す。HALは、外骨格フレーム、モールド、コントロールボックス、パワーユニット、センサ系で構成されている。股関節動作支援用HALは体幹の屈曲・伸展動作の動作アシストを目的としているため、外骨格フレームは人間の股関節に対応した1関節2リンクで構成され、関節はサジタル平面上に1自由度の回転機構となっている。股関節にパワーユニットを有し、外骨格フレームを身体に一体化させるために、腰部・大腿部にモールドを取付けており、各モールド部分はパワーユニットで発生したアシストトルクを伝達する役割を担っている。外骨格フレームの関節可動域は、人間の股関節可動域を超えないように屈曲120 [deg]、伸展15 [deg]で設計している。

センサ系は絶対角度センサ、角度センサ、生体電位センサで構成されている。絶対角度センサは装着者の体幹屈曲角度の計測、角度センサは股関節の関節角度を計測する。生体電位センサは、装着者の動作意思を推定するために生体電位信号 (BES: Bioelectrical signal) を計測するために搭載されている。生体電位信号とは、人間が筋肉を動かそうとしたときに脳から運動ニューロンを介して筋肉に神経信号が伝わり、筋骨格系が動作する際に皮膚表面から計測可能な微弱な電気信号のことである。



(a) HAL-5 Type-B (b) HAL-5 LB Type-C (c) HAL-SJ
図 1 ロボットスーツ HAL

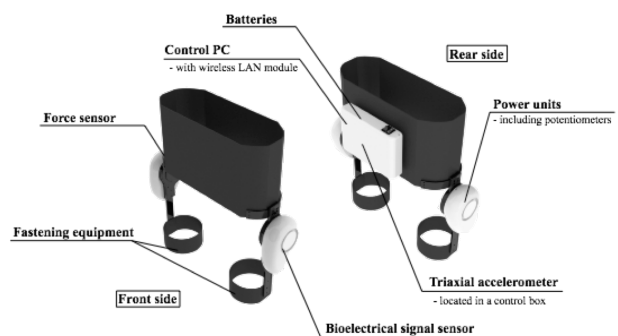


図 2 システム高製図

[†]筑波大学システム情報工学研究科サイバニクス研究室,
Graduate School of System and Information
Engineering University of Tsukuba

2.2 重量物挙上実験

腰痛の発症要因のひとつである重量物挙上動作には、大別してSquat LiftingとStoop Liftingの2つの挙上動作がある。本研究では、実地指導や動作制限を行うのではなく、日常生活動作に即した動作アシストが目的であるため、本実験ではStoop Liftingでの重量物挙上動作について行う。

実験は、股関節動作支援用HALを装着して行い、装着者の体幹伸展動作の動作意思を推定するために脊柱起立筋のBESを計測する。床面に置かれた10 [kg]の重量物をStoop Liftingによって直立位まで挙上し、5秒間姿勢維持を行った後に、重量物を床面に降ろすまでの一連の動作を対象動作とする。その際、HALは体幹の屈曲、挙上する重量物によって生じるモーメントと拮抗する方向にアシストを行う。

また、実験終了後にHAL装着者の主観評価として、SD法によるアンケートを実施する。質問項目は以下の3つとする。回答方法は5段階評価とし、質問に対する回答がはいの場合を5、どちらかと言うとはいの場合を4、どちらでもない場合を3、どちらかと言うといいえの場合を2、いいえの場合を1とし、それぞれの質問における回答の平均で評価する。

表1 アンケートの質問項目

- ・ HALの重さが負荷と感じましたか？
- ・ 動作が楽になったと感じましたか？
- ・ 苦しいと感じましたか？

3. 結果

Stoop LiftingにおけるHALの出力トルクの計測結果を図3に示す。装着者は3～5 [sec]において直立位から約70 [deg]まで屈曲動作を行い、その際HALは体重支持を行うために体幹屈曲角度に応じて約50 [Nm]までのトルクを出力している。5～10 [sec]では、装着者は屈曲姿勢を維持した状態で床面に置かれた重量物の把持が行い、HALは約50 [Nm]の一定トルクを出力している。10～13 [sec]では、把持した重量物を挙上するたえに伸展動作を行い、HALは体幹屈曲角度が大きく最も腰部負荷が大きい状態である伸展動作開始時には、約100 [Nm]のトルクを出力している。その際、伸展動作開始において時間遅れすることなくトルクが出力された。重量物を床面に降ろす際にも同様の結果を得ることができた。

SD法によるアンケート結果を図4に示す。アンケートは成人男性7名の回答を集計し、平均値を結果とした。結果から、HAL自身の重さが負荷になることはなく、重量物挙上動作において苦痛を伴うことなくアシストされることで楽になったという回答を得ることができた。

4. 結論

股関節にのみパワーユニットを有した股関節動作支援用HALの開発を行った。実験結果から股関節動作支援用HALを用いることで装着者の姿勢及び動作意思を把握し、それに適した動作アシストを行うことで腰部負荷を軽減することができた。今後は、腰痛の予防、緩和の観点から、適切な被験者に対して実証試験を行う予定である。

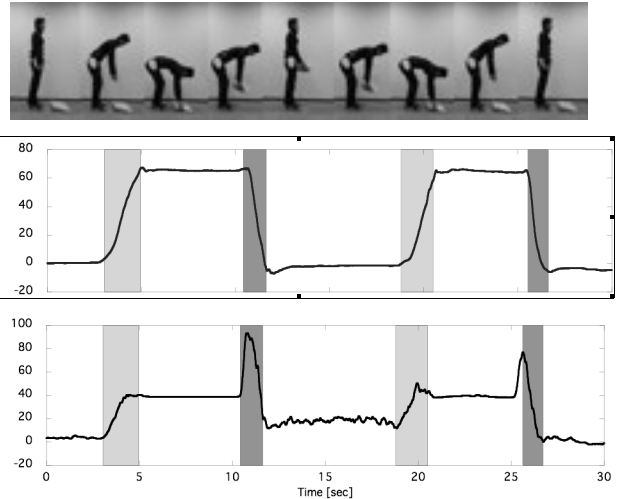


図3 重量物挙上動作における HAL の出力トルク

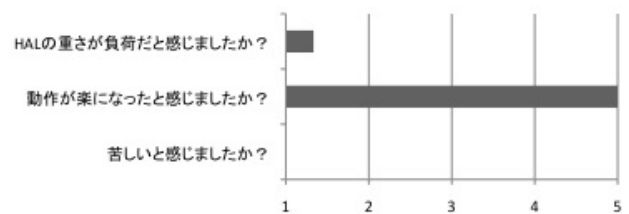


図4 アンケート結果

謝辞

本研究は、文部科学省グローバル COE プログラム「サイバニクス：人・機械・情報系の融合複合」の支援を受けて行われた。

参考文献

- [1]厚生労働省 平成19年度国民生活基礎調査
- [2]天利 紀子, “介護者における腰部自覚痛と圧痛の解析”, 産業衛生学雑誌, Vol.41 p.166-173 (1999).
- [3]熊谷 信二, “幼稚園における教諭の腰部負荷”, 産業衛生学雑誌, Vol.40 p.204-211 (1998).
- [4]T. Hayashi, H. Kawamoto, Y. Sankai, “Control Method of RobotSuit HAL working as Operator’s Muscle using Biological and Dynamical Information”, Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2005), p.3455-3460 (2005).
- [5]H. Kawamoto, Y. Sankai, “Power assist method based on PhaseSequence and muscle force condition for HAL”, Advanced Robotics, Vol.19, No.7 p.717-734 (2005).
- [6]K. Suzuki, G. Mito, H. Kawamoto, Y. Hasegawa Y. Sankai, “Intention-Based Walking Support for Paraplegia Patients with RobotSuit HAL”, Advanced Robotics, Vol.21, No.12 p.1441-0136 (2007).
- [7]A. Tsukahara, Y. Hasegawa, Y. Sankai, “Standing-Up Motion Support for Paraplegic Patient with Robot Suit HAL”, (ICORR 2009), p.1441-0136 (2009).