

ばね駆動型アシスト装具の動作解析

Motion analysis of an assisting instrument using driving springs

○市川将大（山梨大） 牧野浩二（山梨大） 中村祐敬（市立甲府病院） 中川喬介（山梨大）

北野雄大（山梨大） 山下裕之（山梨大） 寺田英嗣（山梨大）

Masahiro ICHIKAWA, University of Yamanashi
Koji MAKINO, University of Yamanashi
Masahiro NAKAMURA, Kofu Municipal Hospital
Kyosuke NAKAGAWA, University of Yamanashi
Yudai KITANO, University of Yamanashi
Hiroyuki YAMASHITA, University of Yamanashi
Hidetsugu TERADA, University of Yamanashi

Abstract: This paper describes the motion analysis of the assistive instrument using driving springs. The instrument assists standing-up motion from the deep flexion state on a hip and knee joint. To decide the assistive torque of the instrument, analysis model of standing-up motion is proposed. In this model, the motion of the human is simplified as skeleton model. The hip joint torque and knee joint torque are calculated based on the balance of the moment of each body parts. The effectiveness of decrease of the load is verified by the myopotential method (EMG). It is clear that the effectiveness decreases over if the instrument is equipped.

Key Words: Assisting instrument, Spring drive, Motion analysis

1. はじめに

ロボット技術の進化と高齢化社会の要求に伴い，日常生活や介護の身体動作を補助する装着型ロボットの開発が急速に進んでいる．HAL⁽¹⁾はじめ，実用化されつつあるロボットもある．筆者らも装着型歩行リハビリテーション支援ロボット KAI-R⁽²⁾を開発している．これらのロボットは歩行をはじめ，特定の動作を補助しているが，高齢者にとってしゃがみ姿勢から立ちあがる動作は，加齢に伴う筋力低下もあり腰や膝の負荷になりやすいと考えられている⁽³⁾．そこで新たに，ばね駆動型アシスト装具を開発した．

本稿では，その一号機の動作解析を目的として，立ち上がり動作の解析モデルを設定し，装具に必要な補助トルクを算出する．その結果に基づいて設計したばね駆動型アシスト装具を装着し，積分筋電位を用いて負荷軽減効果を検証する．

2. 動作解析

立ち上がり動作の際には，股関節と膝関節の両方を同時にアシストする必要がある．本稿では，装具開発のために図1に示すような解析モデルを定義した．図1では人体を側面から見たスケルトンモデルに置き換え，立ち上がり動作中の股関節と膝関節にかかるトルクを，人間の重心に自重が作用することによって股関節と膝関節に働くトルクとして求めた．

まず，股関節のトルクについて考える．立ち上がり動作に必要な股関節トルクを求めるためには，動作中の人間の重心位置と股関節の位置の間の距離が必要である．姿勢によって変化する人間の重心位置を求めるために，本稿では，人体を8つの体節（足，脛，大腿，上体，頭部，上腕，前腕，手）に分け，式(1)に示すモーメントのつり合いを利用して人間の重心位置を求めた．式(1)において，左辺における x_G は人間の重心位置， M は全体重を表している．右辺における x_i は各体節の重心位置， M_i は各体節の重量を表している．次に式(2)に示すように，式(1)から求めた人間の重

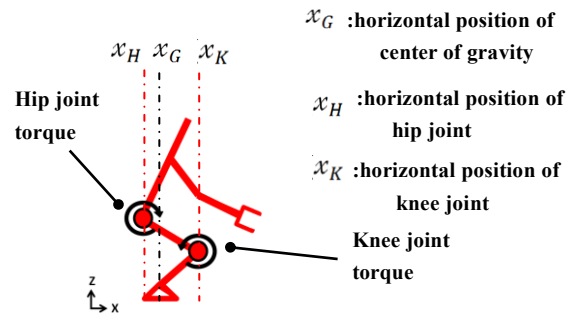


Fig.1 Motion analysis of standing up

$$x_G M = \sum x_i M_i \tag{1}$$

$$T_H = (x_H - x_G) Mg \tag{2}$$

$$T_K = (x_K - x_G) Mg \tag{3}$$

心位置 x_G と股関節位置 x_H ，および装着者の体重 Mg を用いて股関節トルク T_H が算出できる．同様の方法により，式(3)に示すように膝関節位置 x_K ，人間の重心位置および被験者体重から膝関節トルク T_K も算出できる．

装具装着者の体重 60 kg とし，実際のしゃがみ姿勢に近い股関節と膝関節がそれぞれ 120° 屈曲した姿勢において，この解析モデルを適用すると，股関節には約 160 Nm，膝関節については約 100 Nm のトルクが発生することが明らかになった．この算出トルクを元に，アシスト装具の機構パラメータを決定した．

3. ばね駆動型アシスト装具の設計

本研究で開発したアシスト装具の外観を図 2(a)に示す．この装具は大きく分けて，図 2(b)に示す股関節を補助する機構と，図 2(c)に示す膝関節を補助する機構の2つによって構成されている．以降，それぞれを股関節ユニット，膝関節ユニットと呼ぶことにする．この2つのユニットを，

左右両足の股関節および膝関節に沿うように装着する。装着方法は、股関節ユニットと膝関節ユニットをアルミフレームで連結し、腰固定部から吊り下げの形で取り付け、下肢3か所（大腿、脛、足首）に固定具で巻きつける事で装着する。装具重量は図2(a)に示す装着状態で4.4 kgである。装着対象身長は150 cmから180cmとした。体格に合った長さ調節は、連結したユニットを取りつける腰固定部と股関節ユニットと膝関節ユニットの連結部であるアルミフレームで行える。膝関節ユニットには、膝の深い屈曲に追従できる機構⁽⁴⁾を取り入れた。

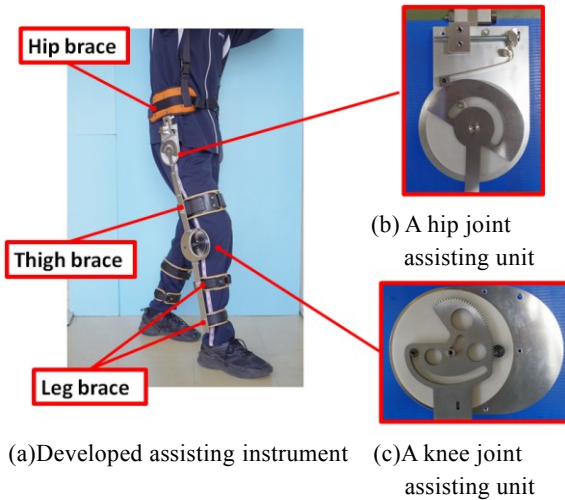


Fig.2 Assisting instrument using driving springs

4. 積分筋電位を用いた負荷軽減効果検証

開発した装具は、立ち上がり動作において股関節および膝関節の動作補助を行い、関節の負荷軽減を図っている。そこで、装具用いた際の負荷軽減効果を検証するために、動作時における積分筋電位を比較した。筋電位とは、筋肉を動かした際に生じる電圧を用いた動作負荷の評価指標である。対象とする動作は図3に示す立ち上がり動作とし、装具装着時と非装着時で積分筋電位を計測した。この動作において主に働くとされる筋肉⁽⁵⁾である大殿筋（股関節付近）と大腿直筋（膝関節付近）の積分筋電位をそれぞれの関節負荷として計測した。



Fig.3 Posture change in standing-up motion

関節屈曲角度および積分筋電位の測定結果を股関節は図4に、膝関節は図5にそれぞれ示した。グラフの青色は装具非装着、赤色は装具装着時の測定結果を示す。縦軸は関節屈曲角度と積分筋電位、横軸は時間軸とし、時間経過による関節の屈曲角度の変移を実線で、積分筋電位の変移を点線で示した。積分筋電位の最大値を用いて非装着時と動作負荷を比較した結果、装具を装着した場合、股関節は22%、膝関節は19%の負荷が軽減できていることが分かった。

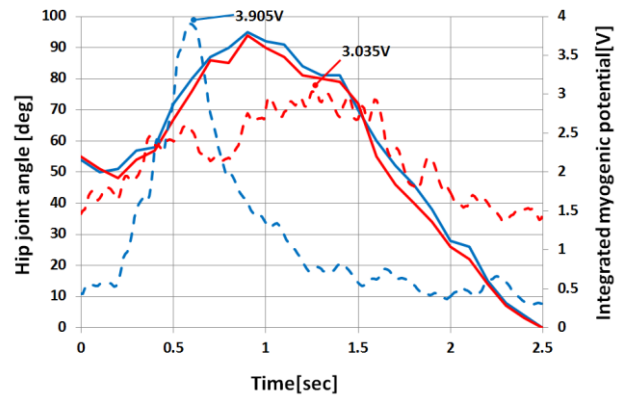


Fig.4 A measurement result(hip joint)

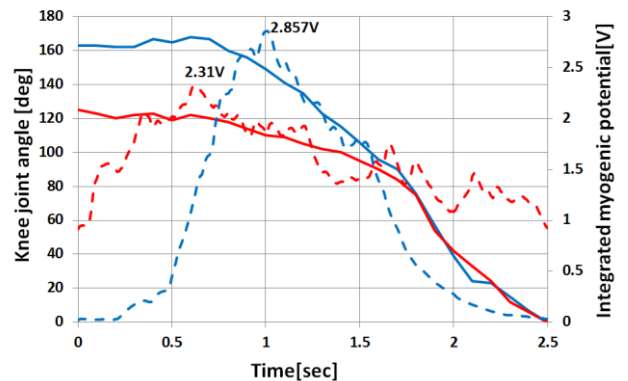


Fig.5 A measurement result(knee joint)

5. おわりに

本稿では、ばね駆動型アシスト装具の動作解析について述べた。人体を側面から見たスケルトンモデルとした解析モデルから、動作補助に必要なトルクを算出した。また、装具の負荷軽減効果について、積分筋電位を用いて非装着時と比較した結果、各関節に約20%の低減効果があることが分かった。今後は、軽量化および装具装着性の改善を目的とした装具を新たに製作し、性能評価として積分筋電位を用いた比較検証を行う。

参考文献

- (1) 佐藤帆紡 他, ロボットスーツHALによる移乗介助動作の支援, 日本機械学会論文集, Vol. 76, No. 762, pp. 227-235, 2010.
- (2) Terada, H., et al, Development of a Wearable Assist Robot for Walk Rehabilitation After Knee Arthroplasty Surgery, Advances in Mechanisms Design, 8 of the series Mechanisms and Machine Science, pp 65-71, 2012.
- (3) 平瀬達哉 他, 高齢者におけるバランス能力と下肢筋力の関連性について, 理学療法科学, Vol. 23, No. 5, pp. 641-646, 2008.
- (4) 寺田英嗣 他, 膝関節補助装置, 特許5713388.
- (5) 市橋則明 他, スクワット動作の筋電図学的考察, 理学療法科学, Vol. 19, No. 5, pp. 487-490, 1992.

謝辞

本研究は国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）の研究成果展開事業「マッチングプランナープログラム」の支援によって行われた。