

科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金) 研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号 : 32619

研究種目 : 挑戦的萌芽研究

研究期間 : 2011 ~ 2012

課題番号 : 23650336

研究課題名 (和文)

免荷式歩行訓練のためのアキレス腱張力の非侵襲計測システムの開発

研究課題名 (英文)

Development of non-invasive measurement system of Achilles tendon tension for gait training with body weight support

研究代表者

山本 紳一郎 (YAMAMOTO SHINICHIRO)

芝浦工業大学・システム理工学部・教授

研究者番号 : 30327762

研究成果の概要 (和文) :

アキレス腱張力を歩行訓練中に計測することは困難であり、安価で非侵襲な方法で計測できれば、今後の運動機能障害者の歩行訓練に有益な計測手法となる。本研究では、免荷式歩行訓練において、皮膚上からアキレス腱張力を推定することができる計測システムを開発することを目的とした。本研究では、最終年度までに実際の歩行運動中の筋張力を正確精密に計測できるには至らなかったが、その開発基盤は整ったといえる。今後はより正確に精密に計測できるデバイス開発を目指し、研究開発を続ける予定である。

研究成果の概要 (英文) :

The purpose of this study is to develop the non-invasive measurement system of Achilles tendon tension in gait training with body weight support. It seemed that in this study, it is failed to develop the accurate and precise measurement system of Achilles tendon tension, but the development of infrastructure is well equipped. It is expected that the more precise and accurate measurement system is developed in the future.

交付決定額

(金額単位 : 円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野 : 総合領域

科研費の分科・細目 : 人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード : 理学療法学

1. 研究開始当初の背景

申請者らは、平成 18 年度からの「ロボット型免荷式歩行訓練システムの開発」(基盤研究 B) を終了し、続いて平成 21 年度から「ニューロリハビリテーションに着目した水陸両用歩行訓練システムの開発」(基盤研究 B) が採択され、脊髄損傷者や脳卒中片麻痺者等の運動機能障害者の歩行機能回復訓練システムの開発を進めてきた。Dietz and Harkema (J. Applied Physiol. 2004) は、これまでの多くの神経生理学的研究に裏付けら

れた知見から脊髄損傷者の歩行機能回復訓練には、股関節可動域の増大(特に股関節伸展)と下肢抗重力筋への負荷刺激(特にアキレス腱への刺激)が最も重要であると報告している。申請者らは、これらの神経生理学的知見に基づく訓練ポイントは、基盤研究 B で開発している免荷式歩行訓練システムで実現すべき重要な課題であると考えている。股関節可動域は容易に計測可能であるが、アキレス腱への負荷(腱張力)を計測することは

容易ではない。床反力計と3次元動作解析から足関節トルクを算出し、超音波画像診断装置からモーメントアームを算出することによって、間接的に推定できるが、実際の歩行時に計測することはできない。さらに、以下にあげるような問題点がある。

1) 足関節トルク計測には床反力と下肢セグメント動作の計測時間に制約がある。床反力計(約300万円/枚)、動作解析システム(数百万円-数千万円:ほぼ精密さに比例)は、限定された空間しか計測できない。また、多くの免荷式歩行訓練は、トレッドミルで行われるため、床反力計内蔵タイプのトレッドミル(2,000万円以上)が必要となる。

2) 歩行訓練システムでは、足関節部に装具をつけるため、屍体から得られる下肢の各セグメントの質量および質量中心のデータからでは、正確な関節トルクが算出できない。

3) 超音波画像診断装置は、予算の制約上、容易に購入できない。また、MRIやX線を用いる方法、屍体を用いる方法では、個体差の問題を解決できない。

これらのことから、アキレス腱の張力を計測することは、技術的問題および予算的制約が大きく、容易ではない。

そこで、申請者らは、できる限り安価で簡易かつ非侵襲な方法でアキレス腱にかかる張力を推定できないかと考え、本研究申請を立案した。この挑戦的萌芽研究は、前述のように基盤研究Bの内容とリンクしており、成功すれば新しいニューロリハビリテーション手法確立の一助となり、相乗効果が得られる。この開発が実現できれば、申請者らの研究だけではなく、ヒトを対象とする他の多くの研究や臨床的な応用性も極めて高い。また、アキレス腱に挟むだけで腱張力が推定できれば、これまでの高価な設備や労力が必要なく、新たな商品としての価値も大いにある。

また、中高年者のアキレス腱の断裂事故は、依然として頻繁に起こっており、その原因の解明やストレッチ効果などを検証する研究にも有用である。

2. 研究の目的

これまでの神経生理学的研究の知見から、脊髄損傷の歩行機能回復訓練には股関節可動域増大とアキレス腱への負荷刺激が最も重要であることが提唱されている。申請者らは、H18年度から「ロボット型免荷式歩行訓練システムの開発」(基盤研究B)、平成21年度から「ニューロリハビリテーションに着目した水陸両用歩行訓練システムの開発」(基盤研究B)を進めてきた。いずれも脊髄損傷者や脳卒中片麻痺者等の運動機能障害者の歩行機能回復訓練のためのシステム構築を目指しているが、免荷式歩行訓練中のアキレス腱張力を計測できないことが問題である。アキレス腱にかかる負荷(腱張力)を歩行訓練中に計測することは困難であり、安価で非侵襲な方法でアキレス腱張力を計測できれば、今後の運動機能障害者の歩行訓練に有益な計測手法となる。したがって、本研究の目的は、免荷式歩行訓練において、皮膚上からアキレス腱張力を推定することができる計測システムを開発することであった。

本研究では、2年間の研究期間内に以下の事項を目標とした。

- 1) 腱張力を皮膚上から推定できるかどうか検証する。
- 2) 検証実験をもとにデバイスの設計製作を行う。
- 3) 開発したデバイスの較正方法を確立する。
- 4) 立位姿勢等の静的運動時の腱張力推定をできるようにする。
- 5) 歩行運動等の動的運動時の腱張力推定をできるようにする。

6) 実際の歩行訓練システムに組み込み、制御パラメータとして使用可能か検討する。

3. 研究の方法

本研究では経皮的にアキレス腱部位の歪み（伸縮）を測ることができるデバイスを考案し、アキレス腱にかかる張力を推定する計測システムを開発することを目指している。

着手した平成23年当初は、以下の実施計画を立てた。

1) アキレス腱のスティフネスの経皮的計測の検討（H23年度前期：山本担当）

はじめに、計測デバイスを製作する前に、アキレス腱の張力を経皮的に計測可能かどうかを確認するため、スティフネス計測を行えるデバイスを製作する。現在の案では、クランプ型のデバイスとし、腱を挟み込んで、力と変位を計測できるデバイスを設計開発する。平成23年度前期中に確認実験の完了を目指した。

2) デバイスの素材選定と設計（H23年度後期：山本および小山担当）

前述の研究目的の項では、アキレス腱に取り付けて、歩行や様々な運動中にできる限り負担にならない程度の軽い素材（アルミ、ジュラルミンやプラスチック素材など）でかつ超小型歪みゲージを取り付けて、歪みが十分に発生する素材とする。詳細な設計は、ヒトのアキレス腱の形態計測を行い、それに合わせていくつかのサイズを設計する。

3) 皮膚接触部の素材選定と設計（H23年度後期～24年度前期：山本および小山担当）

皮膚に触れる部分は、アキレス腱が伸縮した際、できる限り同じ皮膚表面部位に固定されなければ、正確なアキレス腱の歪みが測定できない。また、被検者が痛みを伴わない素材にする必要がある。この相反する条件を最大限に満たすことが本研究で最も困難な課

題である。現在のところ、ゴム系素材が考えられるが、いくつかの硬度のタイプを用意し、ヒトの痛みの実験やヒトのアキレス腱を模した歪みを測定できる実験機を製作し、基礎実験をもとにデバイスを詳細設計する。

4) アキレス腱張力の計測（H24年度：山本担当）

申請者の研究室では、これまで超音波画像診断装置を用いて、筋束（筋線維）の長さ変化や 腱の長さ変化を計測する実験を行ってきた。また、同時に足関節トルクを計測できるシステムも備えている。申請者らは、これらのシステムを用いて、伸張反射の感受性を用いる研究を進めている。この実験システムを用いて、アキレス腱にかかる張力を計測できるか検討する。

5) 試作された計測デバイスの較正実験（H24年度：山本担当）

試作された計測デバイスをアキレス腱に固定し、歪み計測を行いながら、上記の方法でアキレス腱にかかった張力を計測し、開発されたデバイスが正しく較正できるか検討する。また、ダイナミックな動きに対応できるかどうか検討するため、底背屈の速度を変えて、較正実験を試みる。

6) 運動時の計測実験（H24年度：山本担当）

基盤研究Bで開発されたロボット型免荷式歩行訓練システムにおいて、アキレス腱にかかる張力を計測できるかどうか検討し、その研究課題の評価に用いる。また、トレッドミル歩行ではなく、通常の陸上歩行や垂直跳びなどの動的運動中の張力が計測できるかどうか検討する。

4. 研究成果

上記の6項目の実実施計画内容に沿って、研究を進めた。

当初考えていたストレインゲージを装着したクリップ型のアキレス腱張力計測デバ

イスではなく、クランプ型でアキレス腱を挟み込み、3軸力覚センサで応力を計測し、ポテンショメータで腱の形状変化を計測し、両者からスティフネス(N/m)を算出できるようなデバイス設計に変更した。初年度にはプロトタイプを開発した。その結果、アキレス腱張力を皮膚上から推定することが可能であると認められた。しかしながら、デバイスが非常に大きくなり、座位姿勢等の動かない姿勢でないと計測できないシステムとなった。また、個々人のアキレス腱の形状や太さ等が異なるために、被検者の違いに合わせた仕様になっておらず、再現性が良い計測ができないことが明らかになった。

2年目で最終年度の平成24年度には、前年度に開発したデバイスにラック&ピニオン機構を用いて改良し、デバイスを小型化した。しかしながら、ラック&ピニオン機構によって生ずるバックラッシュにより、ポテンショメータの計測が誤差の大きな計測になってしまい、正確なスティフネスの算出が不可能となった。これらのデバイス設計の反省点から、歩行訓練システムの短下肢装具部に装着することを目標として、新たなアキレス腱張力計測デバイスの設計を始めたが、平成24年度末までに実際の製作・評価には至らなかった。

結果として最終年度までに実際の歩行運動中の筋張力を正確精密に計測できるには至らなかったが、その開発基盤は整ったといえる。今後はより正確に精密に計測できるデバイス開発を目指し、研究開発を続ける予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計2件)

- 1) 大塚一輝, 山本紳一郎: アキレス腱張力デバイスの開発 ライフサポート学会フロンティア講演会, 東京, 2012.3.3
- 2) 原周平, 今出亘彦, 信友達哉, 大塚博, 山本紳一郎: 空気圧人工筋を用いた免荷式歩行訓練システムの開発～短下肢装具部の開発～ ライフサポート学会フロンティア講演会, 東京, 2013.3.2

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 紳一郎 (YAMAMOTO SHINICHIRO)
芝浦工業大学・システム理工学部・教授
研究者番号: 30327762

(2) 連携研究者

小山 浩幸 (KOYAMA HIROYUKI)
芝浦工業大学・システム理工学部・教授
研究者番号: 40052881