

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 9 月 18 日現在

機関番号：32619

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25560266

研究課題名(和文) 免荷式歩行訓練のための下腿筋固有受容器の機能評価システムの開発

研究課題名(英文) Development of non-invasive measurement system of lower leg proprioception for gait training with body weight support

研究代表者

山本 紳一郎 (Yamamoto, Shin-ichiroh)

芝浦工業大学・システム工学部・教授

研究者番号：30327762

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：アキレス腱張力をはじめとする下腿筋群の固有受容器の機能評価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し、かつ伸張反射感受性を推定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、歩行立脚期中のアキレス腱張力を計測できるようになったが、伸張反射感受性計測と組み合わせることはできなかった。しかしながら、それらの開発基盤は整ったといえる。

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 and stretch reflex sensitivity in gait training with body weight support. It seemed in this study that it was almost completed the measurement system of Achilles tendon tension, but the measurement system of stretch reflex sensitivity was not completed. From this research project, the development of infrastructure is well equipped.

研究分野：リハビリテーション工学

キーワード：理学療法学 歩行訓練 バイオメカニクス スティフネス 伸張反射

1. 研究開始当初の背景

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重要ポイントであることが提唱されてきた。申請者らは、平成 23 年度から「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」(H23-24 挑戦的萌芽研究)により、脊損者の免荷式歩行訓練中のアキレス腱張力を非侵襲に計測できるシステムの開発を目指してきた。アキレス腱張力を歩行訓練中に計測できるデバイスはなく、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。また、脳卒中片麻痺者等の痙性を伴う場合には伸張反射感受性とその機能指標となるが、簡便に計測できるシステムは未だ存在しない。

申請者らは、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 B)により、脊損者や片麻痺者等の運動機能障害者のための歩行訓練システムの開発を進めてきた。Dietz and Harkema (J.Applied Physiol. 2004)は、神経生理学的研究の知見から脊髄損傷者の歩行機能回復訓練に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)が重要であると提唱している。このニューロリハに基づく訓練ポイントは、開発している免荷式歩行訓練システムでも実現すべき重要な課題である。股関節可動域は容易に計測可能であるが、アキレス腱張力の計測はできていなかった。床反力計と 3 次元動作解析を用いて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り、間接的に推定可能であるが、大がかりな装置が必要であり容易に計測することはできなかった。脊損者や片麻痺者等の痙性の

客観的指標は、伸張反射感受性の計測であるが、申請者の知る限り、世界で唯一デンマークの研究グループが動的運動中の伸張反射計測システムを開発している。このシステムは非常に大がかりなシステムであるだけでなく、研究用システムのため市販されておらず、入手困難である。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張力を推定するデバイスを開発するとともに、新たに開発する伸張反射感受性計測システムと統合し、下腿筋固有受容器の機能評価システムとして開発することを発案した。この研究課題は、前述の基盤研究 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、相乗効果が期待できる。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、高価な設備や労力が必要なく、商品的な価値も大きいにある。また、中高年者のアキレス腱断裂や肉離れの事故は、依然として頻繁に起こっており、その原因の解明や筋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

本研究課題では、アキレス腱張力計測に加えて、下腿筋群の伸張反射感受性を計測できるシステムを開発し、アキレス腱張力と伸張反射感受性の 2 つの情報から、下腿筋固有受容器の機能評価システムを開発することを目的とした。

2 年間の研究期間内に以下の事項を目標とした。

- 1) これまで開発を続けてきた非侵襲アキレス腱張力計測デバイスを完成させる。
- 2) 1) による立位姿勢および歩行運動時の腱張力推定をできるようにする。
- 3) 空気圧人工筋をアクチュエータとする伸

張反射感受性計測システムを開発する。

4) 3) による立位姿勢および歩行運動時の伸張反射感受性を計測できるようにする。

5) 1) と 3) を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し、実験評価する。

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できるシステムの開発を目指すとともに、下腿筋群の伸張反射感受性計測ができるシステムと統合し下腿筋固有受容器機能評価システムとして完成させることを最終目標とした。着手した平成25年当初は、以下の実施計画を立てた。

平成25年度前期

1) アキレス腱張力の経皮的計測システムの製作(山本担当)

前年度までに設計を進めていた設計案をもとに、アキレス腱張力計測デバイスの製作を開始する。現在の案では、クランプ型のデバイスとし、アキレス腱を挟み込んで、クランプ部にかかる力とひずみを計測できるデバイスを製作する。試作機完成後、挟み込む部位の素材を選定し、平成25年度前期中に評価実験を実施し、評価検討する。

2) 下腿筋群伸張反射計測システムの検討・設計(山本および大塚担当)

伸張反射計測システムのベースとなる装具部は、この計測システムの評価を決める非常に重要なポイントである。例えば、短下肢装具の足底部に固定用の部材を入れなければならないので、できる限り歩行時の邪魔にならないような配慮が必要である。また、空気圧人工筋をどのように配置するかについて

は、接続箇所の検討が必要であり、必要仕様である伸張刺激強度(200deg/s)を達成できるようにシミュレーションによって決定する。これらの事項は、義肢装具学を専門分野とする大塚博先生と連携して開発を目指す。

平成25年度後期

1) 皮膚接触部の素材選定と設計(山本担当)
アキレス腱を挟み込む皮膚に触れる部材は、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。

2) 下腿筋群伸張反射計測システムの開発(山本および大塚担当)

平成25年度前期のシミュレーションによる検討によって決定された短下肢装具部の形状および空気圧人工筋の配置案をもとに詳細設計し、製作に着手する。平成25年度中の試作機完成を目指し、可能であれば、動作実験まで実施する。

平成26年度

1) アキレス腱張力の計測(山本担当)

申請者らは、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。この実験システムを用いて、アキレス腱張力を較正し推定することができる。計測方法は、以下の通りである。

i) 足関節回転軸をトルク計軸に合わせ、底背屈できるようにペダルに固定する。

ii) 超音波装置によって、下腿三頭筋の筋腹上で筋束（筋線維）および腱膜を追従できるマーカを探索し、プローブを固定する。プローブの固定には、申請者らの研究室で開発した装具デバイスを用いる。

iii) 被検者に関節トルクをモニターさせ、一定の足関節トルクを発揮させながら、最大底屈位から最大背屈位までの可動範囲を動かす。発揮する一定の足関節トルクは、数種類の条件を設ける。足関節軸とアキレス腱からなるモーメントアームを An et al.(1983)の方法をもとに算出する。

iv) 被検者が発揮したトルクを算出されたモーメントアームで除し、アキレス腱にかかった張力を算出する。

v) 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 iii)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。

上記の実験により、較正式が確立できれば、それを使用して、静的な力発揮および動的な力発揮で得られるアキレス腱張力の精度について検討する。最終的には、歩行中のアキレス腱張力の推定ができるかどうか検討する。

2) 下腿筋群伸張反射計測システムの開発 (山本および大塚担当)

前年度までに完成した試作機の評価実験を行い、改良点について検討し修正する。完成度が高くなった時点で、まずは座位姿勢で実際にヒト下腿筋群を急速に伸張させ、伸張反射が誘発されるか否かについて検討し、その後、うまく刺激できるようであれば、立位姿勢や動的な歩行運動中の伸張反射も十分に誘発できるか検討する。

3) システムの統合(山本担当)

これまで開発を進めてきた免荷式歩行訓練システムにおいて、アキレス腱張力計測デバイスと下腿筋群伸張反射計測システムを組み込み、計測システムを統合し、同時計測ができるようにすることが最終目標であった。

4. 研究成果

上記の実実施計画内容に沿って、研究を進めた。

アキレス腱張力計測デバイスは、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とした。開発したデバイスによって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、デバイスを軽量化できた分、強度に問題が生じた。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、個々人に合わせた較正が必要となることが明らかになった。

また、下腿三頭筋の伸張反射感受性計測システムは、本研究室で開発中の空気圧人工筋を用いた免荷式歩行訓練システムと同様に空気圧人工筋を用いた伸張反射計測デバイスとして開発を進めてきた。伸張反射を計測することはできるようになったが、アキレス腱張力デバイスとの統合はできていない状態で、本研究課題期間を終了することとなった。

結果として最終年度までにアキレス腱張力デバイスと伸張反射計測デバイスの統合システムの構築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、両デバイスとも本研究室で開発中である免荷式歩行訓練システムに統合することを目指して、研

究開発を継続していくこととする。

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)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計6件)

- 1) 今出亘彦, 赤木亮太, 山本紳一郎: アキレス腱張力の非侵襲計測デバイスの開発, ライフサポート学会フロンティア講演会 2014, 東京, 2014.3
- 2) 吉川知博, 瀬谷泰我, M.A.Mat Dzahir, 小林亘, 伊藤和寿, 柴田芳幸, 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 ~ 空気圧人工筋の開発と評価 ~, ライフサポート学会フロンティア講演会 2014, 東京, 2014.3
- 3) 原周平, 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 ~, 第 27 回日本機械学会バイオエンジニアリング講演会, 新潟, 2015.1
- 4) 諫山敦成, 渡邊健一, 檜崎将, 大島達也, Tran Van Thuc, 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, ~ 空気圧人工筋の開発評価 ~, ライフサポート学会フロンティア講演会 2015, 東京, 2015.3
- 5) 原周平, 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 ~ (第 2 報), ライフサポート学会フロンティア講演会 2015, 東京, 2015.3
- 6) 中村久美, 山本紳一郎: アキレス腱張力の非侵襲計測デバイスの開発及び評価, ライフサポート学会フロンティア講演

会 2015, 東京, 2015.3

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計0件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

大塚 博 (OHTSUKA HIROSHI)
人間総合科学大学・保健医療学部・教授
研究者番号: 70349306