

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：20101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25462345

研究課題名(和文) 三次元関節運動ロボットシステムを用いた距骨下関節の生体力学的研究

研究課題名(英文) Biomechanical study of the subtalar joint using a three-dimensional robotic joint simulator

研究代表者

渡邊 耕太 (watanabe, kota)

札幌医科大学・保健医療学部・教授

研究者番号：50404629

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本プロジェクトでは、ロボット工学を応用した三次元力学試験機により未固定凍結人体標本を用いた距骨下関節の生体力学的特性を研究すること、より良い靭帯再建術の開発を目的とした。実験は首都大学東京のエンジニアと共同で作業した。距骨下関節の安定性に関する踵腓靭帯の機能について、in situ forceとその貢献度を算出した。このデータを利用し、より生体に近い状態を再現する靭帯再建術の開発を行った。再建靭帯固定時の初期張力条件を変えて関節力学試験を行った結果、初期張力30Nが最も生体に近い関節安定性と関節運動を再現することがわかった。本研究成果は足関節部靭帯損傷後の治療成績向上に貢献可能である。

研究成果の概要(英文)：The purposes of this study were to investigate biomechanical characteristics of the subtalar joint and to develop a new ligament reconstruction procedure reproducing normal joint stability and kinematics. A three-dimensional robotic joint simulator was used to repeat joint motion in cadaveric foot specimens. The calcaneofibular ligament has a role to stabilize the subtalar joint. We acquired the data of in situ force and stabilizing contribution of the ligament during joint motion. Using the data we investigated appropriate initial tension of the grafted ligament to achieve normal hindfoot function. As a result, condition of 30 N of the initial tension reproduced joint stability and kinematics closest to the normal condition. These results will contribute to acquire better outcome following treatment of ankle ligament injury by understanding biomechanical characteristics of the ligament and improving operative procedures.

研究分野：整形外科

キーワード：生体工学 未固定人体標本 足関節 距骨下関節 関節安定性 靭帯再建術

1. 研究開始当初の背景

(1)足関節捻挫は、最も多い外傷の一つである。その中で踵腓靭帯の損傷を合併する重症例は、手術治療が必要となることが多い。踵腓靭帯は足関節と距骨下関節の安定性を担う重要な靭帯である。

標準的手術治療としては靭帯再建術があるが、術後成績が不良な例も存在する。そのため、より正常に近い動きをする足を再現できる手術方法の検討が必要である。

(2)再建手術において、再建部位、再建材料などを検討した報告はみられるが、再建靭帯を固定する際の張力について検討した報告はない。また、正常足における靭帯張力についての基礎データは少ない。

(3)ロボット工学を応用した三次元関節力学試験機は、膝関節や肩関節において生体力学研究に応用されてきた。この試験機は、コンピュータ制御によって6自由度をもった生理的な関節運動を繰り返し再現可能である。また運動中の変位量と力を経時的に測定可能である。これを用いて正常靭帯の機能・役割のほか、靭帯再建術後の効果や術式間の比較がなされ、多くの成果が得られてきた。近年は足関節にも適用されている。

2. 研究の目的

(1)正常足における運動中の踵腓靭帯にかかる張力を解明すること。

(2)踵腓靭帯再建時の靭帯初期固定張力が、足の動きや安定性に対する影響を調べること。

(3)適切な初期靭帯固定張力を再現できる新たな手術方法を開発すること。

3. 研究の方法

(1)未固定凍結人体足標本を用い、関節力学ロボットシステムで足関節と距骨下関節を含む後足部の関節運動を繰り返し再現した。

(2)再現された関節運動パターンと関節安定性、踵腓靭帯にかかる張力を計測した。関節力学ロボットシステムの運用は、本システム開発者である首都大学東京のエンジニアと連携して行った(文献1)。

(3)踵腓靭帯切離モデルと、10N・30N・50N・70Nの異なる初期固定張力で踵腓靭帯を再建したモデルで関節運動を再現した。

(4)関節運動パターンの評価では、背屈15度から底屈30度までの他動底背屈運動中の踵骨の位置の変化を計測した。関節安定性の評価では前後方向に60N、内返し外返し方向に1.7Nm、内外旋方向に1.7Nmの負荷をかけた際の踵骨の移動量・移動角度を計測した。

(5)得られたデータを統計的に解析した。

4. 研究成果

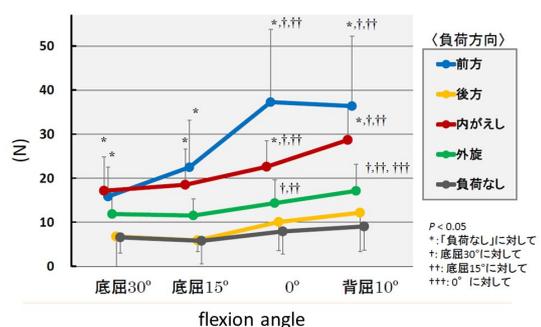
・正常足の踵腓靭帯張力：底背屈運動中には張力は10N未満であった。負荷の方向によってその値は変化した(図1)。

・再建靭帯モデル：靭帯再建時の初期固定張力の違いによって、関節運動と関節安定性は変化した。30Nの初期固定張力による再建モデルが最も正常足に近似した関節運動パターンと関節安定性を示した(図2)。また50N以上の初期固定張力で固定した再建術では、正常足と有意に異なる関節運動パターンと関節安定性を示した。

このことから、踵腓靭帯再建時の初期固定張力は、再建術後の後足部の関節運動パターンと関節安定性に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

本研究の結果から、後足部の単純な底背屈運動中には、踵腓靭帯にかかる張力は小さいことがわかった。関節に外力が加わった場合は、前方負荷と内がえし負荷で、踵腓靭帯の張力は増大し、特に背屈位で大きくなっていった。さらに踵腓靭帯再建術を行う場合には、初期固定張力が30Nの条件によって正常に近い関節運動パターンと関節安定性が得られることがわかった。本研究で得られた知見は、リハビリテーションを含む保存治療において、安全で効果的な治療を考えるうえで有用な情報となる。また靭帯再建術の改良につながる知見である。本知見を応用することで、足関節捻挫の治療成績向上に寄与しうると考えられた。

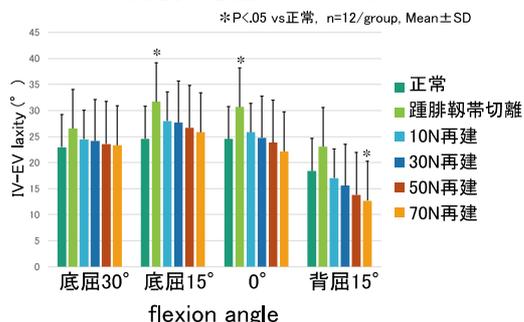
正常足における踵腓靭帯の張力



(図1)正常足における踵腓靭帯の張力

底背屈運動中に他の方向に負荷をかけない場合は、張力は10N未満であった。負荷をかけた場合、その種類によって張力は異なり、背屈位で張力が大きくなる傾向を認めた。

内外旋安定性 1.7Nm 負荷時



(図2)内外旋負荷時の後足部安定性
踵腓靭帯切離により安定性が低下し、靭帯再建術によって安定性は改善した。その中でも初期固定張力が30Nの条件で、最も正常足に近い安定性を示した。

<引用文献>

1. Fujie H, Mabuchi K, Woo SL, Livesay GA, Arai S, Tsukamoto Y. The use of robotics technology to study human joint kinematics: a new methodology. J Biomech Eng. 1993;115:211-7.

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4件)

Kobayashi Takuma, Yamakawa Satoshi, Watanabe Kota, Kimura Kei, Suzuki Daisuke, Otsubo Hidenori, Teramoto Atsushi, Fujimiya Mineko, Fujie Hiromichi, Yamashita Toshihiko. The in situ force in the calcaneofibular ligament and the contribution of this ligament to ankle joint stability. Clin Biomech 2016 Dec;40:8-13. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2016.10.009>

山川学志、小林拓馬、木村圭、渡邊耕太、鈴木大輔、山下敏彦、藤江裕道。足関節外側靭帯の力学的機能：関節力学試験ロボットシステムの応用。臨床バイオメカニクス 35: 265-269, 2014.

鈴木大輔、寺本篤史、渡邊耕太、名越智。足部・足関節捻挫の治療 遠位脛腓靭帯の解剖と機能。関節外科 33: 15-20, 2014.

寺本篤史、渡邊耕太、鈴木大輔、山下敏彦。足部・足関節捻挫の治療 新鮮遠位脛腓靭帯損傷の病態とスポーツ復帰までの治療。関節外科 33: 76-80, 2014.

[学会発表](計6件)

6th Triennial International Federation of Foot and Ankle Societies Scientific Meeting 平成 29 年 9 月 29-30 日 於: Lisbon (Portugal) Yuzuru Sakakibara, Atsushi Teramoto, Yohei Okada, Hiroaki Shoji, Takuma Kobayashi, Kota Watanabe, Toshihiko Yamashita. Effect of Initial Graft Tension at Calcaneofibular Ligament Reconstruction for Ankle Stability.

第 9 回 日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会 平成 29 年 6 月 22-24 日 札幌コンベンションセンター(北海道札幌市)榊原 醸、寺本篤史、岡田葉平、小路弘晃、小林拓馬、渡邊耕太、山下敏彦。踵腓靭帯再建術における初期固定張力が足関節キネマティクスと制動性に及ぼす影響

第 63 回 Orthopaedic Research Society.平成 29 年 3 月 19 - 22 日 San Diego(USA)Hirota K, Watanabe K, Saito Y, Katayose M. Toe Flexor Muscles Have Functional Compensatory Systems by the Tendinous Slip: a Cadaver Study.

第 87 回日本整形外科学会 平成 26 年 5 月 22-25 日 神戸ポートピアホテル(兵庫県神戸市)小林拓馬、渡邊耕太、山川学志、鈴木大輔、大坪英則、寺本篤史、藤江裕道、藤宮峯子、名越智、山下敏彦。ロボットシステムを用いた足関節外側靭帯修復術の生体力学的評価

60 回 Orthopaedic Research Society.平成 26 年 3 月 15 - 18 日 New Orleans(USA) Satoshi Yamakawa, Takuma Kobayashi, Kei Kimura, Hidenori Otsubo, Kota Watanabe, Daisuke Suzuki, Mineko Fujimiya, Toshihiko Yamashita, Hiromichi Fujie. Functional Analysis of Lateral Ligaments in the Human Ankle Joint.

60 回 Orthopaedic Research Society.平成 26 年 3 月 15 - 18 日 New Orleans(USA) Takuma Kobayashi, Satoshi Yamakawa, Kota Watanabe, Kei Kimura, Daisuke Suzuki, Hidenori Otsubo, Atsushi Teramoto, Mineko Fujimiya, Satoshi Nagoya, Hiromichi Fujie, Toshihiko Yamashita. In Situ Force of the Calcaneofibular Ligament and the Contribution of the ligament to Ankle Joint Stability.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 耕太 (WATANABE, Kota)

札幌医科大学保健医療学部理学療法学第二
講座・教授

研究者番号：50404629

(2) 研究分担者

鈴木 大輔 (SUZUKI, Daisuke)

札幌医科大学学生体工学・運動器治療開発講
座・研究員

研究者番号：40372817

(3) 連携研究者

藤江 裕道 (FUJIE, Hiromichi)

首都大学東京・システムデザイン学部・教授

研究者番号：20199300

(4) 研究協力者

()