

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 22 日現在

機関番号：20101
 研究種目：基礎研究（C）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22591665
 研究課題名（和文） ロボットシステムを用いた足関節-距骨下関節複合体の生体力学的研究

研究課題名（英文）
 Biomechanical study of the ankle-hindfoot complex using robotic system

研究代表者
 札幌医科大学・医学部・講師
 渡邊 耕太（WATANABE KOTA）
 研究者番号：50404629

研究成果の概要（和文）：本研究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足関節-距骨下関節複合体の安定性を解明することを目的とした。本研究より、踵腓靭帯単独の生体力学的機能が明らかになった。これらのデータは足関節外側靭帯損傷の受傷機序や再建術における踵腓靭帯再建の必要性を考える際に有用な基礎データとなることが考えられた。特に靭帯再建手術時の底背屈角度・固定張力の決定に応用することで、治療成績の向上に寄与可能である。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to evaluate mechanical property of the lateral ligament of the ankle and kinematics of the intact and ligament insufficient ankle model using cadaveric specimens. A 6-DOF robotic system consisting of a custom made 6-axis manipulator with a 6-DOF universal force/moment sensor was used. This study provided important baseline information such as injury mechanism or reconstruction surgeries of the ankle lateral ligament. This information is applicable for decision of the ankle position and tension of the graft during reconstructive surgeries, which will contribute improvement of outcome following surgical treatment of the lateral ligament injury of the ankle joint.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：外科系臨床医学、整形外科

キーワード：バイオメカニクス、整形外科

1. 研究開始当初の背景

(1) 足関節の靭帯損傷は日常よく遭遇する外傷である。重度靭帯損傷ではその20%から40%は痛みや活動制限などの障害を残すといわれている。治療には装具やギプス固定

などの保存治療と、靭帯再建術などの手術治療がある。どちらを選択してもリハビリテーションを要する。受傷メカニズムや治療方法を考える際には、関節や靭帯の機能をよく知ることが必要である。

(2) 足関節と距骨下関節は連動して運動する複合体であるが、これらの関節安定性を複合体として研究した基礎研究はその複雑性(多軸関節、複雑な関節面形状)の故にまだ行われていなかった。

(3) ロボット工学を応用した三次元力学試験機は、膝関節においてはこれを用いた研究が各国で進んでおり、靭帯の機能・役割や、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。

2. 研究の目的

以下の二つの目的を設定した。(1) 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足関節-距骨下関節複合体の生体力学的研究方法を確立すること。(2) 確立した方法を用いて、足関節-距骨下関節複合体の安定性と、各靭帯の関節安定性における役割を研究すること。

3. 研究の方法

(1) 未固定凍結足関節標本を用いてまず予備実験を行った。ここではロボットシステムが足関節-距骨下関節複合体の研究に適用できるように、標本固定方法、運動軸の設定、荷重の条件を決定した。

(2) (1) で確立した条件を適用し、ロボットシステムの力制御機能を用いて前方力、内がえしモーメント、外旋モーメントを作用させ、まず正常足関節-距骨下関節の三次元軌道を記録した。

(3) 次に踵腓靭帯を切離し、正常時と同方向の力・モーメントを与え、踵腓靭帯不全足関節-距骨下関節の三次元軌道を記録した。

(4) また位置制御機能を用いて、踵腓靭帯切離条件で、先に記録した正常足関節-距骨下関節の運動軌跡を再現した。

(5) 靭帯切離前後の6軸力の差から、正常足において踵腓靭帯に作用していた荷重を求めた。

(6) 次に前距腓靭帯を切離し同様の試験を行った。

(7) 得られたデータを統計学的に解析した。

4. 研究成果

(1) 前方力荷重をかけたとき、踵腓靭帯単独不全状態ではどの方向の変位も有意な変化を認めなかった。前距腓靭帯切離を加えると、前方と内旋方向の変位量が有意に増大した(図1)。

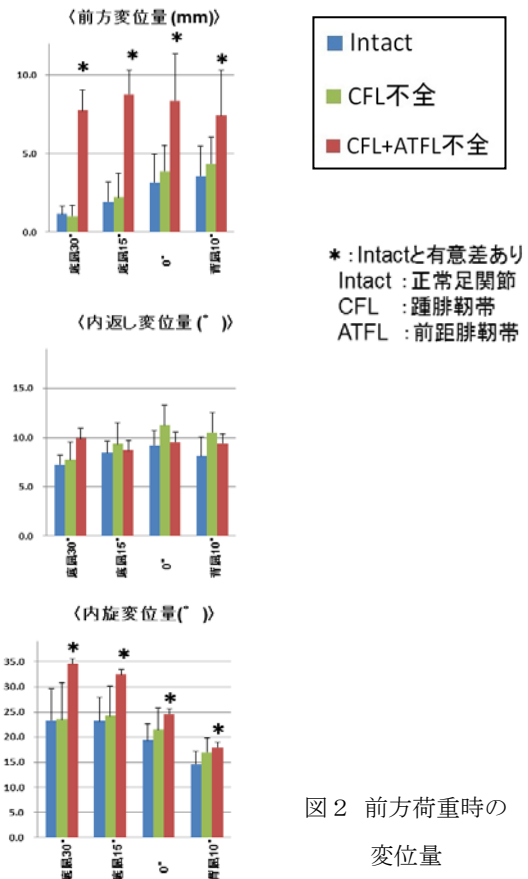


図2 前方荷重時の変位量

(2) 内返しモーメント荷重をかけたとき、踵腓靭帯不全状態では内がえし方向の変位は増大する傾向を認めた。前距腓靭帯切離追加後には内がえし方向の変位に加え前方方向の変位も有意に増大した(図2)。

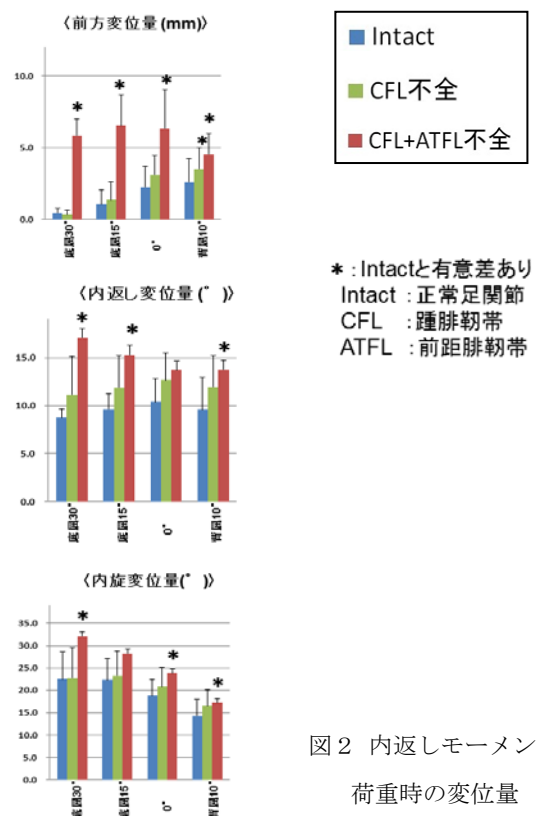


図2 内返しモーメント荷重時の変位量

(3) 足関節-距骨下関節複合体に4つの肢位で多様な荷重をかけ、その際に踵腓靭帯にかかっている力を算出した。その結果、踵腓靭帯にかかる張力は、どの方向の荷重でも底屈位から背屈位に変化するにつれて大きくなった(図3)。

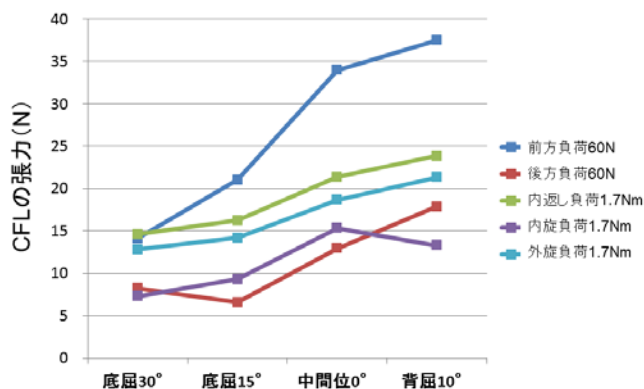


図3 各肢位・負荷における踵腓靭帯の張力

本研究によって、ロボットシステムを用いた足関節-距骨下関節複合体の生体力学的研究システムを確立しえた。

本研究の結果から、踵腓靭帯単独の不全状態では、足関節-距骨下関節複合体に不安定性は生じないことが分かった。これに前距腓靭帯不全が加わると、足関節-距骨下関節には多方向に不安定性が生じた。また、踵腓靭帯にかかる張力の肢位による変化が明らかとなった。本研究の結果は、足関節外側靭帯損傷の受傷機序や靭帯再建術における踵腓靭帯再建の必要性を考える際に有用な基礎データとなる。また、靭帯再建時の底背屈角度・固定張力の決定に応用できると考えられた。

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)

- ① Watanabe K, et al: The role of ankle ligaments and articular geometry in stabilizing the ankle. Clin Biomech, 査読あり, 27, 2012, 189-195. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2011.08.015
- ② Watanabe K, et al: Analysis of Ankle-Hindfoot Stability in Patients with Ankle Instability and Normals. Int Orthop 査読あり, 36, 2012, 89-94. DOI 10.1007/s00264-011-1376-6.

- ③ Kamiya T, Uchiyama E, Watanabe K, Suzuki D, et al: Dynamic effect of the tibialis posterior muscle on the arch of the foot during cyclic axial loading. Clin Biomech, 査読あり, 27, 2012, 962-966. DOI:10.1016/j.gaitpost.2012.07.01

[学会発表] (計7件)

- ① 小林拓馬、渡邊耕太 ほか. ロボットシステムを用いた足関節外側靭帯の生体力学的研究. 第86回日本整形外科学会学術総会 平成25年5月23-26日 於: 広島
- ② 小林拓馬、渡邊耕太 ほか. 関節力学試験ロボットシステムの生体力学的足関節研究への応用. 第124回北海道整形災害外科学会 平成25年1月26,27日 於: 札幌
- ③ Yamakawa S, Kobayashi T, Kimura, K, Otsubo H, Watanabe K, et al. The Use of a 6-DOF Robotic System for Biomechanical Tests of Ankle Joints. 59th Orthopaedic Research Society (ORS). Jan.26-29, 2013. San Antonio, TX, USA
- ④ Watanabe K, et al. CT analysis of rotation alignment in normal foot and hallux valgus. 4th meeting of international federation of foot & ankle societies. Sep.21-24.2011. Nara, Japan

[図書] (計2件)

- ① 渡邊耕太、鈴木大輔. 文光堂、足関節鏡視下手術. 2011, 11-18.

[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・医学部・講師
研究者番号：50404629

(2) 研究分担者

大坪 英則 (OTSUBO HIDENORI)
札幌医科大学・医学部・助教
研究者番号：10468085

鈴木 大輔 (SUZUKI DAISUKE)
研究者番号：40372817
札幌医科大学・医学部・助教

内山 英一 (UCHIYAMA EIICHI)
札幌医科大学・保健医療学部・教授
研究者番号：70221108

小林 拓馬 (KOBAYASHI TAKUMA)
札幌医科大学・医学部・研究員
研究者番号：20585418

(3) 連携研究者

()

研究者番号：