

令和 4 年 9 月 6 日現在

機関番号：37130

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K23307

研究課題名（和文）踵腓靭帯に個人レベルの機能差は存在するのか？：解剖体を用いた機能解剖学的検討

研究課題名（英文）Does the function of calcaneofibular ligament differ among individuals? : A functional analysis using cadavers

研究代表者

吉塚 久記 (YOSHIZUKA, Hisayoshi)

福岡国際医療福祉大学・医療学部・講師

研究者番号：00879942

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：踵腓靭帯（CFL）の走行角度の違いが靭帯機能に及ぼす影響を検討するために、解剖体、慣性センサ、および伸縮性ひずみセンサを用いた機能解析を実施した。対象とした33肢のCFLの走行角度は15～60度であったため、20・30・40・50・60度の標本を抽出し、関節角度を3軸で正確にモニターしながらCFLの緊張度を計測した。

走行角度とは無関係に、全ての標本に共通してCFLは背屈位と内がえし位では緊張し、外がえし位と内転位では弛緩した。一方、底屈位では、走行角度20・30・40度のCFLは弛緩したのに対し、50・60度のCFLは緊張したことから、走行角度の違いが異なる機能をもたらすことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CFLの走行角度の違いが靭帯機能に影響を及ぼすことは、靭帯が制動できる関節運動が異なるだけでなく、靭帯損傷のリスクを高める肢位にも個体差が存在することを示唆する。この知見は、靭帯損傷メカニズムのさらなる理解、靭帯再建術、あるいは損傷予防のリハビリテーション医学に貢献する有用な基礎データとなり得るものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：Functional analyses were performed using cadaveric specimens, inertial sensors, and a stretchable strain sensor to examine the functional significance of different running angles of calcaneofibular ligament (CFL). Thirty-three specimens showed varying CFL running angles ranging from 15° to 60°. The tensing behavior of the CFL was quantitatively measured using selected specimens with running angles of 20°, 30°, 40°, 50°, and 60° through accurate monitoring of the joint angles in three axes. Results showed that regardless of running angle, all CFLs tensed at dorsiflexion 20° and inversion 10°, and relaxed at eversion 10° and adduction 10°. However, in plantar flexion from 10° to 30°, the CFL with running angles of 20°, 30°, and 40° relaxed, while the CFL with running angles of 50° and 60° tensed. These results suggest that the function of CFL is affected by running angles and differs among individuals.

研究分野：肉眼解剖学

キーワード：踵腓靭帯 足関節外側靭帯 肉眼解剖学 機能解剖学 臨床解剖学

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 足関節捻挫に伴う外側靭帯損傷は若年層に好発する一般的な外傷であるが、踵腓靭帯(CFL)の損傷を伴う場合、関節不安定性が残存し、治療に難渋するケースも多い(Samoto et al., 2007)。

(2) CFLの先行研究では様々な形態的多様性が指摘されているが、特に走行角度については、腓骨長軸に対して0度から90度までのバリエーションが存在し(Ruth, 1961)、個体間および個体内の左右差も報告されている(Yoshizuka et al., 2018)。この機能的意義に関しては、唯一、解剖体と3D デジタイザを用いた機能解剖学的研究(Edama et al., 2017)で、CFLに緊張をもたらす肢位がCFLの走行角度によって異なることが示されている。しかし、張力の変動等をモニターした定量的な検討はなされていない。

(3) 解剖体を用いた機能解剖学的研究では、治具に標本を固定した状態で肢位等を変化させ、計測を実施する手法が一般的である。しかし複数の標本を対象とする場合、再現性の高い精密計測を行うためにはセッティングに細心の注意を払う必要があり、誤差が生じる可能性を否定できない。

2. 研究の目的

本研究では伸縮性ひずみセンサを用い、解剖体の肢位変化に伴ってCFLにかかる負荷の変動を定量的に計測することで、CFLの走行角度の違いが靭帯機能に及ぼす影響について検討することを目的とした。また、一般的な動作解析研究において豊富な使用実績がある慣性センサを標本固定治具に代えて用いることで、足関節・足部の関節角度を3軸で精密にモニターすることが可能となり、より高精度な解析結果が期待される。

3. 研究の方法

(1) [対象] 佐賀大学医学部で系統解剖学実習に供された20体40肢(男性11体・女性9体)につき事前評価を行い、2つの除外基準(足部の外傷や手術痕、足底部の変形)をもって試料の適否を判断した。その結果、18体33肢(男性11体・女性7体、死亡時平均年齢 85 ± 8 歳)を計測対象とした。なお、本研究の実施にあたっては、事前に佐賀大学医学部倫理委員会の承認を得ている。

(2) [標本作製] 解剖実習では下腿と足部の皮膚・皮下組織・深部筋膜が除去され、CFLを含む足関節外側・内側靭帯は intact な状態であった。まず、解剖体の膝関節を離断し、下腿と足部の標本作製した。次に、外側靭帯である前距腓靭帯、後距腓靭帯、CFL、そして内側靭帯である三角靭帯を丁寧に剖出した後、足関節・足部の3方向の関節可動域(底屈30度~背屈20度、内がえし10度~外がえし10度、内転・外転0度~内転10度)を確保するため、可動性を確認しながら関節周辺組織を除去し、後距腓靭帯と三角靭帯の一部を切離した。

(3) [CFL 走行角度の計測] Ruth (1961) の方法に従い、距腿関節・距骨下関節0度肢位にて、腓骨とCFLの各々の長軸が成す角度をゴニオメーターで計測した。計測値の信頼性については、計測を3回繰り返すことで確認した。

(4) [実験準備] 3つの運動方向(底屈・背屈、内がえし・外がえし、内転・外転)における標本の正確な関節角度をリアルタイムに可視化するため、下腿前面と中足部に3軸性のワイヤレス慣性センサ(Cometa srl, Milano, Italia)をテープで固定した(図A)。また、CFLにかかる負荷を定量的に計測するため、CFLの腓骨下端付着部および踵骨付着部の直上に伸縮性ひずみセンサ(Bando Chemical Industries, Ltd., Hyogo, Japan)を貼付した(図B, C)。

(5) [解析方法] 伸縮性ひずみセンサの静電容量値(pF値)から算出される Strain 値(%)は、標本の関節角度変化に伴って変動し、CFLの張力変化を反映する。各肢位の計測は3秒間以上行い、サンプリング周波数10Hzで記録されたpF値の最初の3秒間の平均値を採用した。各肢位のpF値は、距腿関節・距骨下関節0度肢位の値にて正規化し、Strain 値を算出した。

(6) [再現性の確認] 1標本について、各肢位におけるpF値の計測後に全てのセンサを取り外して再設置し、2回目の計測を実施した。計測値の再現性を確認するために、SPSS Statistics version 26 (IBM Corporation, Armonk, NY, USA)を用いてデータの正規分布を確認した後、Intraclass correlation coefficient (ICC)を算出した。ICCの値は、0.50未満を“poor”、0.50~0.74を“moderate”、0.75~0.90を“good”、0.90を超えた場合を“excellent”と判断した(Koo and Li, 2016)。

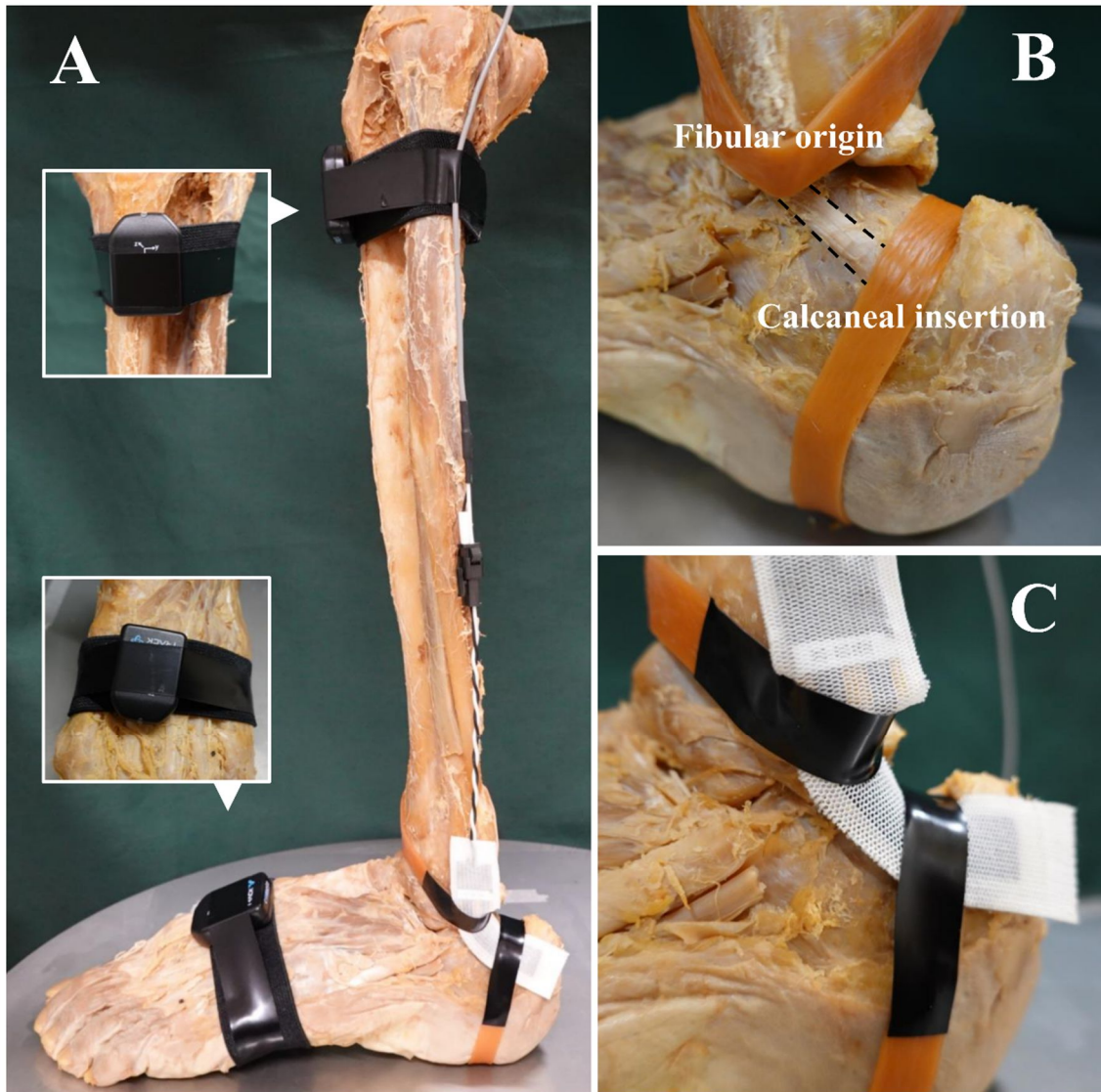


図 計測用センサの設置方法

(A) 慣性センサを標本の下腿前面と中足部にテープで固定した。(B) CFL (破線) の両附着部に伸縮性ひずみセンサを設置するための土台となるゴムバンドを取り付けた。(C) CFL と伸縮性ひずみセンサの各々の長軸が重なるように、同センサをゴムバンド上に注意深く固定した。

4. 研究成果

(1) 全 33 肢の CFL 走行角度は平均 35.8 ± 14.2 度、その範囲は 15 度~60 度であった。そのため、走行角度が 20・30・40・50・60 度の各 1 肢を抽出し、機能解析を実施した。

(2) 走行角度とは無関係に、全ての標本に共通して CFL が緊張する肢位、ならびに弛緩する肢位が明らかとなった。前者は背屈 20 度位 (2.0~10.2 %) と内がえし 10 度位 (0.1~10.9 %) であり、後者は外がえし 10 度位 (-11.9~-2.6 %) と内転 10 度位 (-10.1~-5.9 %) であった。

(3) 底屈 10~30 度位においては、走行角度 20・30・40 度の CFL は弛緩したのに対し (-6.0~-2.0 %)、走行角度 50・60 度の CFL は緊張したことから (0.4~8.4 %)、走行角度の違いが異なる機能をもたらすことが示唆された。実際の Strain 値は、走行角度 50 度の場合、0.4 % (底屈 10 度)、2.4 % (底屈 20 度)、4.2 % (底屈 30 度)、走行角度 60 度では、1.7 % (底屈 10 度)、4.6 % (底屈 20 度)、8.4 % (底屈 30 度) であり、底屈角度が増すと靭帯の緊張度が上昇する傾向が認められた。

(4) pF 値の再現性に関して、検者内信頼性を示す ICC (1, 1) は 0.89 であり “good” と判定された。

(5) [本研究の位置づけ・インパクト] 走行角度の違いを考慮した CFL の機能解析において、慣性センサと伸縮性ひずみセンサを用いた精密な検討は世界初の試みである。本研究の結果から、CFL の走行角度のバリエーションが靭帯緊張度の個人差をもたらす可能性が示唆され、さらに、靭帯の緊張と弛緩の程度の評価につながる実際の pF 値も明らかとなった。これらの成果は、

靱帯損傷のメカニズムの理解、靱帯再建術の改良、損傷予防のリハビリテーション医学の進歩などに貢献する有用な基礎データとなり得る。

< 引用文献 >

- (1) Samoto N, Sugimoto K, Takaoka T, Fujita T, Kitada C, Takakura Y. Comparative results of conservative treatments for isolated anterior talofibular ligament (ATFL) injury and injury to both the ATFL and calcaneofibular ligament of the ankle as assessed by subtalar arthrography. *J Orthop Sci.* **12**, 49–54, 2007.
- (2) Ruth CJ. The surgical treatment of injuries of the fibular collateral ligaments of the ankle. *J Bone Jt Surg Am.* **43**, 229–239, 1961.
- (3) Yoshizuka H, Shibata K, Asami T, Kuraoka A. Anatomical variation in the form of inter- and intra-individual laterality of the calcaneofibular ligament. *Anat. Sci. Int.* **93**, 495–501, 2018.
- (4) Edama M, Kageyama I, Kikumoto T, Nakamura M, Ito W, Nakamura E, Hirabayashi R, Takabayashi T, Inai T, Onishi H. The effects on calcaneofibular ligament function of differences in the angle of the calcaneofibular ligament with respect to the long axis of the fibula: a simulation study. *J. Foot Ankle Res.* **10**, 60, 2017.
- (5) Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *J Chiropr Med.* **15**, 155–163, 2016.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yoshizuka H, Sato T, Murakami J, Mitsutake T, Hiromatsu M	4. 巻 16
2. 論文標題 Short-term changes in radiographic joint space width after jigging exercise as conservative treatment for hip osteoarthritis: A retrospective case series of nine patients	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0253643
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0253643	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 吉塚久記, 佐野伸之, 光武翼, 浅見豊子, 小坂克子	4. 巻 36
2. 論文標題 リハビリテーション専門職の学部教育における3D解剖教育システムの有用性に関する質的研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 理学療法科学	6. 最初と最後の頁 579～585
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1589/rika.36.579	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Asami S, Inamoto Y, Yoshizuka H, Saitoh E, Shibata S, Aihara K, Kagaya H, Kobayashi M, Asami T, Kuraoka A, Yamashita Y	4. 巻 112
2. 論文標題 Effect of respiration phases on the morphology of the laryngopharyngeal cavity: an investigation using 320-row area detector computed tomography	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Fukuoka Acta Medica	6. 最初と最後の頁 187-198
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15017/4742148	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Mitsutake T, Nakazono H, Yoshizuka H, Taniguchi T, Sakamoto M	4. 巻 31
2. 論文標題 Increased Trailing Limb Angle is Associated with Regular and Stable Trunk Movements in Patients with Hemiplegia	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases	6. 最初と最後の頁 106242～106242
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2021.106242	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉塚久記, 柴田健太郎, 倉岡晃夫
2. 発表標題 長・短腓骨筋腱は緊張した踵腓靭帯によりリフトアップされる：解剖体を用いた機能解析
3. 学会等名 第5回日本リハビリテーション医学会・秋季学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉塚久記, 佐野伸之, 光武翼, 小坂克子, 浅見豊子
2. 発表標題 多視点3D解剖教育システムを用いた実習の有用性：Steps for coding and theorizationによる質的研究
3. 学会等名 第58回日本リハビリテーション医学会学術集会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	倉岡 晃夫	佐賀大学・医学部・教授	
	(KURAOKA Akio)		
	(30253412)	(17201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------