

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K10676

研究課題名(和文) 踵腓靭帯は腓骨筋腱のテンショナーとして機能し得るか？

研究課題名(英文) Does the calcaneofibular ligament work as a tensioner of the peroneal tendons?

研究代表者

倉岡 晃夫 (KURAOKA, AKIO)

佐賀大学・医学部・教授

研究者番号：30253412

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：解剖実習体から作製した標本18肢と非接触型3Dスキャナを用い、踵腓靭帯(CFL)の緊張が腓骨筋腱をリフトアップするか否かを検討した。CFLの緊張を生じる肢位において、統計学的有意差( $p < 0.001$ )を伴う腓骨筋腱の外側方向への移動が認められ、実際のリフトアップ量の平均値(範囲)は、長腓骨筋腱で $2.0 \pm 0.8$  mm (0.8~3.5 mm)、短腓骨筋腱で $1.9 \pm 1.0$  mm (0.5~3.8 mm)であった。また、CFL特有の形態のバリエーションとの相関は認められなかった。以上の結果より、CFLが腓骨筋腱のテンショナーとして長・短腓骨筋の収縮活動を補助している可能性が強く示唆される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、踵腓靭帯が腓骨筋群のテンショナーとして長・短腓骨筋の収縮活動を補助している可能性を強く示唆し、靭帯の新たな機能に関する世界初の知見として意義あるものと考えられる。長・短腓骨筋はリハビリテーション医療の臨床において注目を集めており、腓骨筋腱に最も緊張が生じる肢位を見出せれば、より効率的なリハビリテーションプログラムの開発等につながることを期待される。また、踵腓靭帯の損傷により、腓骨筋腱のリフトアップが十分に行われないことが足関節捻挫後の不安定性残存のメカニズムとなり得ることから、靭帯再建術の適応を含めた治療方法の検討を通して、多くのスポーツ競技者に対し貢献できる可能性もある。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this cadaveric study was to investigate whether the peroneal longus tendon (PLT) and peroneal brevis tendon (PBT) were lifted up when the calcaneofibular ligament (CFL) became taut. Using a contactless three-dimensional optical scan system, analyses on 18 samples have revealed that, with the increased tension of the CFL, the tendons moved toward lateral direction with statistical significance ( $p < 0.001$ ). The mean values (range) of the actual lift amount (LA) reached  $2.0 \pm 0.8$  mm (0.8-3.5 mm) for PLT and  $1.9 \pm 1.0$  mm (0.5-3.8 mm) for PBT. No significant correlation was detected between the LA and variable parameters of CFL dimensions. These results strongly suggest that the CFL enhances the contractile activities of peroneal muscles as a mechanical tensioner.

研究分野：解剖学

キーワード：踵腓靭帯 足部外側靭帯群 臨床解剖学 機能解剖学

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 骨格筋、腱、靭帯は円滑な関節運動の基本構成要素であり、筋と腱については筋-腱複合体として、相互作用が継続的に研究されている。しかし、靭帯の機能に関しては、関節の安定化や関節運動の制御といった教科書的知識を越える知見は得られていないのが現状である。

(2) 足部外側靭帯群の1つである踵腓靭帯(CFL)は「内がえし」を制動し、後足部の安定性に貢献するとされている。先行研究により、CFLの形態的なバリエーションの存在が明らかにされており(Yoshizuka et al., 2018)、同靭帯に緊張をもたらす足部の肢位にも個体差があることが指摘されている。このような機能的個体差は、CFLの形態のバリエーションに由来するものと解釈される。

(3) 「外がえし」の主動筋である長・短腓骨筋の腱は、腓骨筋腱鞘を介してCFLの表層を走行する。篠原ら(2007)はこの解剖学的な位置関係から、緊張したCFLによって腓骨筋腱が外側にリフトアップされる可能性に言及しているが、同靭帯の機能解剖学的検討はほとんどなされていない。

### 2. 研究の目的

(1) 解剖実習体と非接触型3Dスキャナを用い、CFLが緊張する肢位における長腓骨筋腱ならびに短腓骨筋腱のリフトアップの有無について、機能解剖学的検討を行う。

(2) リフトアップが確認できれば、CFLの形態に関連するパラメータと実際のリフトアップ量との相関を検討し、CFLのバリエーションが機能に及ぼす影響につき考察する。

### 3. 研究の方法

(1) [対象] 佐賀大学医学部における解剖実習体13体26肢(男性6体、女性7体)につき事前検討を行い、3つの除外基準(踵部の外傷や手術痕、足底部の変形、腓骨筋群の伸展性低下)をもって試料作製の適否を判断した。その結果、12体18肢(男性6体、女性6体、平均死亡時年齢 $78 \pm 9$ 歳)を対象とした。なお、本研究計画は、佐賀大学医学部倫理委員会の承認のもと実施している。

(2) [標本作製] 解剖実習において下腿および足部の皮膚、皮下組織、深筋膜は除去されているが、腓骨筋群とCFLはintactな状態である。まず、膝関節部で標本を離断した後、長腓骨筋腱(PLT)、短腓骨筋腱(PBT)、CFLにつき、相互あるいは前距腓靭帯との線維性連絡、腓骨筋腱鞘、外側距踵靭帯等を丁寧に除去しつつ剖出を行った。また、距腿関節ならびに距骨下関節の可動性を確保するために、前距腓靭帯、後距腓靭帯、三角靭帯を切離・除去し、3Dスキャンのx軸設定のために、第2および第3中足骨頭の間の中点と踵骨後面中央部にマーキングを施した。

(3) [標本のセッティング] 3Dスキャン解析の基準となるx,y,z軸を設定するために、一辺3cmの精密計測用木製キューブを用いた。まず、特注の計測用治具のアーム部分に標本の下腿部を固定し、踵骨部の背側に一面が接するようにキューブを設置した(図1A)。その際、治具の台座部分に貼付したシートのグリッド線を目印として、足部の2点のマーキングとキューブの一辺が直線上に並ぶようにセットし、x軸方向とみなしている。また、踵骨部のマーキングに接するキューブの一辺の下端を原点とし、足部の左右方向をy軸、垂直方向をz軸と定義した(図1B)。

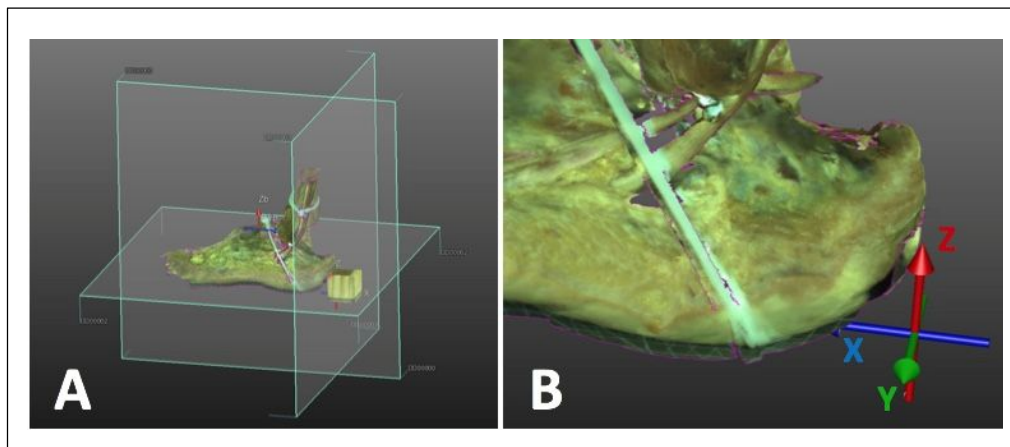


図1 3Dスキャンにおける座標系の設定

(4) [ 3D スキャン方法 ] 本研究では、非接触型 3D スキャンシステム (SCAN in a Box, Open Technologies Srl, Brescia, Italy)を用いた。1回のスキャンで標本を 360° 回転させる必要があるため、計測用治具の台座の下方にシステム付属のスキャンテーブルをあらかじめセットしている。すべての標本は、距腿関節ならびに距骨下関節 0° の肢位、CFL が intact な状態で、底屈 10°、内がえし 15° の肢位 (CFL の緊張を生じる)、CFL を切離した状態で、と同様の肢位、の 3 条件でスキャンを順次実施した。 においては、PLT、PBT の位置座標のマーカースとして、フラットな頭部を有する金属ピンを CFL との交叉部位の腱表面に刺入し、かつ PLT、PBT のずれを防ぐため、上下の腓骨筋支帯に相当する部位にプラスチック製のバンドを巻いて固定している。また、座標系のずれが生じる可能性があるため、 のスキャン終了後は治具から標本を脱着することなく CFL を切離した。

(5) [ 計測方法 ] IDEA 1.1 SR 8 Standard ver. (Open Technologies Srl, Brescia, Italy)を用いてスキャンデータから 3D モデルを作成し、WorkXPlore 2019 R1 (Vero Software, Cheltenham, England) で計測を行った (図 2A)。PLT、PBT の位置座標は金属ピン頭部の中央とし、上記 のスキャン結果に基づいて  $x$ ,  $y$ ,  $z$  軸方向の座標を同定した後、CFL の緊張によって生じた移動距離 ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) を独立して計測し、さらに下記の数式に基づいて、CFL の実際のリフトアップ量 (LA) を算出した。

$$LA = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

また本研究では、CFL の長さ、幅、走行角度を形態のパラメータとした。走行角度については、Ruth (1961) の方法に従って腓骨と CFL の各々の長軸がなす角とし、上記 のスキャン結果を用いて計測した (図 2B)。長さとは幅については、腓骨筋腱を外して CFL を露出した状態で計測する必要があるため、スキャンを行う前に距腿関節ならびに距骨下関節 0° の肢位で、キャリパー (最小計測単位 = 0.5 mm) を用いて 3 回ずつ計測を行っている。なお、長さは腓骨端から踵骨付着部の近位端まで、幅は腓骨筋腱との交叉部位と各々定義している。

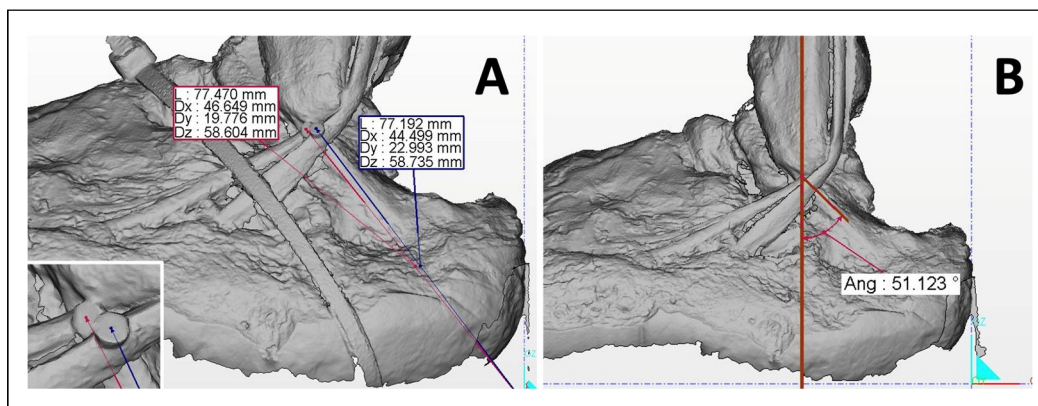


図 2 長・短腓骨筋腱の位置座標 (A) ならびに踵腓靭帯の走行角度 (B) の計測

(6) [ 統計解析 ] すべての統計解析には、JMP® Pro 15.2.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) を用い、統計学的有意性は  $p$  値=0.05 として判定した。

#### 4. 研究成果

(1) CFL の緊張時における座標の平均値 ( $x, y, z$ ) は、PLT が ( $40.8 \pm 5.2, 22.9 \pm 4.6, 62.5 \pm 3.8$ )、PBT が ( $43.9 \pm 5.6, 21.1 \pm 5.6, 63.7 \pm 3.9$ ) であったのに対し、CFL の切離後は、各々 ( $41.0 \pm 5.6, 21.4 \pm 4.3, 62.3 \pm 3.9$ )、( $44.2 \pm 5.5, 19.6 \pm 5.4, 63.4 \pm 4.0$ ) に変化した。座標と原点間の距離を 2 群間 (CFL の有無) で比較したところ、PLT、PBT のいずれに関しても  $y$  軸上の座標変化のみに統計学的有意差 ( $p < 0.001$ ) が認められた。

(2) CFL の緊張に伴う  $x, y, z$  軸上の移動距離 ( $x, y, z$ ) の平均値は、PLT で  $-0.1 \pm 1.1$  mm,  $1.5 \pm 0.8$  mm,  $0.2 \pm 0.9$  mm、PBT で  $-0.4 \pm 0.9$  mm,  $1.5 \pm 0.9$  mm,  $0.3 \pm 0.8$  mm となり、平均的なリフトアップは後方、外側、上方に向かって生じることが示唆された。しかし、そのデータの分布範囲をみると、 $y$  は 18 例すべての標本において正の方向 (外側方向) に移動し、その範囲は PLT で 0.2~2.8 mm、PBT で 0.1~3.3 mm であったのに対し、 $x$  は PLT で  $-2.6$ ~ $1.8$  mm、PBT で  $-1.8$ ~ $0.8$  mm、 $z$  は PLT で  $-1.5$ ~ $1.6$  mm、PBT で  $-1.4$ ~ $2.1$  mm となり、移動の方向性に正負のばらつきが認められた (図 3)。

(3) 各標本における  $x, y, z$  より算出された LA の平均値 (範囲) は、PLT で  $2.0 \pm 0.8$  mm (0.8~3.5 mm)、PBT で  $1.9 \pm 1.0$  mm (0.5~3.8 mm) となった。

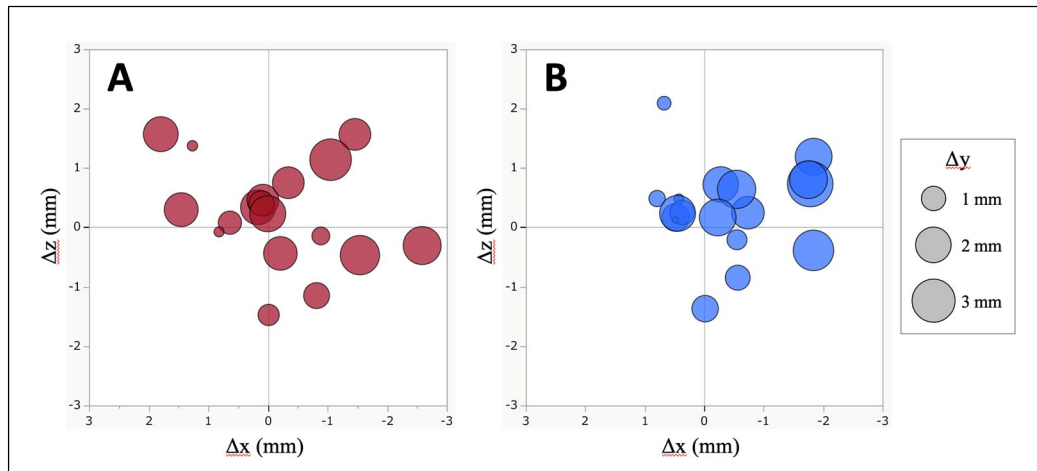


図3 踵腓靭帯の緊張に伴う腓骨筋腱のx軸ならびにz軸上の移動距離(  $x$ ,  $z$ )を、標本ごとのbubble plotで示す。A) 長腓骨筋腱、B) 短腓骨筋腱。

(4) CFLの長さ、幅、走行角度の平均値(範囲)は、各々 $15.1 \pm 2.6$  mm (10.0~20.0 mm)、 $4.8 \pm 0.6$  mm (4.0~6.0 mm)、 $50.9 \pm 9.8^\circ$  ( $22.9 \sim 61.6^\circ$ )であった。これらのパラメータと  $y$ 、LAとの関連性を検討したが、PLT、PBTいずれにおいても有意な相関は認められなかった。

(5) 上記(1)~(3)の結果より、CFLが緊張する肢位(底屈 $10^\circ$ 、内がえし $15^\circ$ )において、腓骨筋腱が平均で2 mm、最大で4 mm程度リフトアップされることが明らかとなった。本研究では、腓骨筋腱とCFLの間に介在する腓骨筋腱鞘や線維成分を除去していることから、生体ではさらに大きな変化が生じている可能性が高い。また(4)の結果から、この現象がCFL形態の個人差に影響されない普遍的現象であることも示唆されるが、本研究では単一の肢位で検討を行っているため、最大のリフトアップを生じる肢位に多少の個人差がある可能性は否定できない。

(6) [本研究の位置付け・インパクト] CFLによる腓骨筋腱のリフトアップは、CFLが同腱のテンスヨナーとして長・短腓骨筋の収縮活動を補助している可能性を強く示唆し、靭帯の新たな機能に関する世界初の知見として意義あるものと考えられる。

(7) [今後の展望1] 長・短腓骨筋は「外がえし」の主動作筋であり、歩行における荷重位置、および重心の推進方向のコントロールに寄与している。同筋の機能低下は足部の不安定性を招き、歩行時の十分な体重支持が困難となることが指摘されているため、同筋はリハビリテーション医療の臨床において、筋力増強運動や協調性運動の対象として注目されている。本研究成果に基づいて、腓骨筋腱に最もテンションがかかる肢位を見出せれば、より効率的なリハビリテーションプログラムやテーラーメイドの運動プログラムの開発につながることを期待される。

(8) [今後の展望2] 足関節捻挫後の不安定性残存は、長腓骨筋の反応時間の遅延が一つの要因と考えられている。本研究成果は、CFLの損傷により腓骨筋腱のリフトアップが十分に行われないうことが、このメカニズムとなり得ることを示唆し、靭帯再建術の適応を含めた治療方法の検討を通して、捻挫後の足関節不安定性に苛まれている多くのスポーツ競技者に対し貢献できる可能性がある。

#### <引用文献>

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.

Shinohara Y, Kumai T, Higashiyama I, Hayashi K, Takakura Y, Benjamin M: Functional anatomy of calcaneofibular ligament of the ankle. *J Jpn Soc Surg Foot* 28:71-75, 2007. (in Japanese with English summary)

Ruth CJ: The surgical treatment of injuries of the fibular collateral ligaments of the ankle. *J Bone Jt Surg Am* 43:229-239, 1961.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yoshizuka H, Shibata K, Kuraoka A
2. 発表標題 Analysis on angles formed by the calcaneofibular ligament and peroneal tendons in Japanese cadavers
3. 学会等名 7th Triennial Asian Federation of Foot and Ankle Surgeons (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshizuka H, Shibata K, Kuraoka A
2. 発表標題 Gender-specific laterality of the calcaneofibular ligament in cadavers
3. 学会等名 Asian Confederation for Physical Therapy Congress 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018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	吉塚 久記  (YOSHIZUKA HISAYOSHI)  (00879942)	福岡国際医療福祉大学・医療学部・講師    (37130)	
研究協力者	柴田 健太郎  (SHIBATA KENTARO)	国際医療福祉大学・福岡薬学部・助教    (32206)	

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
---------	---------