

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：21102

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K19557

研究課題名（和文）超音波エコーを使用した足部の「バネ機能」の解明と運動パフォーマンスとの関連性

研究課題名（英文）Elucidation of the "spring function" of the foot using ultrasound echo and its relationship to athletic performance

研究代表者

篠原 博（Shinohara, Hiroshi）

青森県立保健大学・健康科学部・准教授

研究者番号：30785506

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は以下の3つのテーマを挙げ、順次実施した。研究1は足部アーチと荷重との関連性の検討であり、以前より実施した足部アーチ機能の低下するメカニズムに焦点を当て、立位などの荷重によりどのようにアーチが低下するのかを検証した。研究2では足部アーチ機能と運動パフォーマンスの関連性を検証した。運動パフォーマンスは「垂直跳び」、「15秒間連続ジャンプ」、「15秒間ホップジャンプ」した。研究3は足部内在筋筋力を高める効果的な足趾屈筋群のトレーニング方法の開発に焦点を当て実施した。これらの結果、足部アーチと運動パフォーマンスの関連性について、一定の見解を得ることができると考える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の結果から扁平足を有する者であれば足部アーチは荷重により下降するだけでなく、足根骨が回内し、アーチの下降量と相関することが分かった。また足根骨の回内は従来であればCTスキャンのみでしか測定できなかったが、本研究では超音波エコーでも測定できる可能性を見いだした。またアーチが低下している者は連続ホップジャンプなどのパフォーマンスにおいてエネルギー効率が低い可能性が示唆された。結果として足部内在筋群の活動が持続しないことから、大腿四頭筋などで補償している可能性がある。これらの点から学術的意義、社会的意義を有していると考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study was conducted under the following three themes. Study 1 was an examination of the relationship between the foot arch and loading, focusing on the mechanism by which foot arch function declines, which had been conducted previously, and examining how the arch declines with loading, such as in the standing position. Study 2 examined the relationship between foot arch function and exercise performance. Exercise performance consisted of "vertical jump", "continuous jump for 15 seconds", and "hop jump for 15 seconds". Study 3 focused on developing an effective method of training the flexor digitorum longus muscle group to increase intrinsic foot muscle strength. The results of this study provide some insight into the relationship between the foot arch and athletic performance.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：足部アーチ 超音波エコー ジャンプパフォーマンス 足部内在筋群 足部外在筋群

1. 研究開始当初の背景

足部の内側縦アーチ、いわゆる「つちふまず」にはウィンドラス機能「巻き上げ機構」というものがある¹。このウィンドラス機能は足趾を伸展することで足部内側縦アーチが持ち上がる現象として知られており、歩行時やジャンプ動作時に「バネ」のような働きをすることで動作時のエネルギーの効率性に寄与する足部の重要な機能とされている (Ker et al. 1987)。しかし、バネ機能を高めるためにどのようなトレーニングをすべきなのかという点については不明である。スポーツ選手のジャンプ動作などのパフォーマンス向上として意義があるとともに、足底腱膜炎などを有する者はこれらの機能が低下しているという報告もある。そのため、本研究課題は臨床的にも重要な課題であるといえる。

足部の内側縦アーチは臨床ではノギスやフットプリントを使用し、測定することが多い。また X 線などを使用して第一中足骨と踵骨が成す角度を計測することでアーチをより正確に測定する方法もある。非侵襲的には三次元動作解析システムにてマーカー等を足部に貼付することも実施されているが、マーカーは皮膚の上に貼付するものであり、アーチの変化を骨の位置変化として検証できないという指摘もある。そのため骨の高さをある程度測定することは可能であるが、足根骨の回内運動などは測定することが困難である。足根骨の回内運動を測定した先行研究では CT スキャンを使用しており、簡便とは言い難い。そこで我々は以前より超音波画像診断装置 (以下、超音波エコー) を用いて足部の内側縦アーチを安全かつ正確に測定する方法の開発に取り組んでいた。この方法であれば足部を超音波エコーにて内側より撮影するという方法上の特性から足根骨の回内運動を測定することが可能だと考える。またウィンドラス機能を正確に評価することも可能であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究は我々が考案した足部の内側縦アーチの測定方法を応用し、「荷重による足部内側縦アーチの降下に関する検証」や「足部内側縦アーチと運動パフォーマンスとの関連性の検証」などを行うことを目的とする。足部の「バネ」と動作パフォーマンスを科学的に検証することは学術的独自性および創造性は高いといえる。

3. 研究の方法

(1) 測定課題

足部内側縦アーチ、内側楔状骨の運動角度の測定

超音波画像診断装置 (Noblus、HITACHI ALOKA)、超音波エコーのプローブ (EUP-L53L、HITACHI ALOKA)、プローブを固定する特製の器具を使用して測定する (図 1)。プローブを固定する器具を用いて第一中足骨、内側楔状骨、舟状骨の画像を測定する。第一中足骨の高さに対する内側楔状骨の高さ (内側楔状骨高)、第一中足骨に対する舟状骨の高さ (舟状骨高) を算出する (図 2 参照)。算出した高さ (アーチ高) をプローブの移動距離で除すことでアーチ高率を算出する。

$$\text{アーチ高率} = (\text{内側楔状骨高 or 舟状骨高} / \text{プローブの移動距離}) \times 100$$

内側楔状骨部の画像から内側楔状骨の角度は図 3 のように測定した。

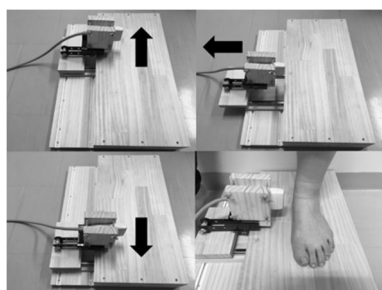


図 1 超音波エコーのプローブを固定する台
矢印はプローブが移動する方向を示す

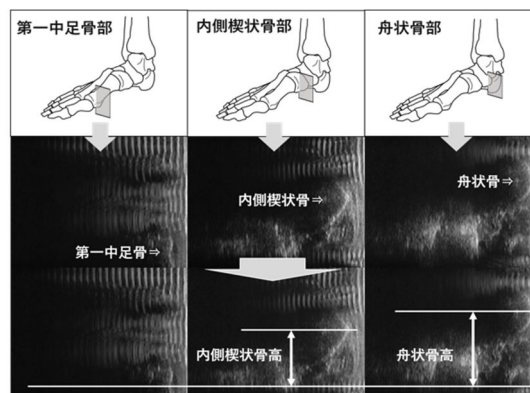


図 2 足部の内側縦アーチ高の計測方法

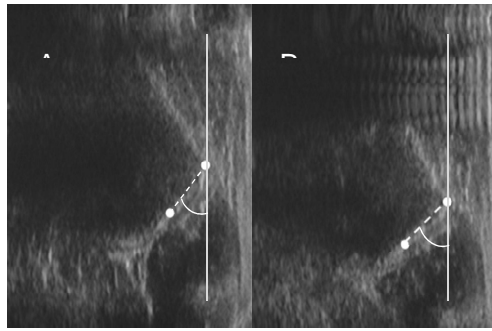


図3 内側楔状骨の角度

A は荷重無し、B は荷重時を示す。 が大きくなれば内側楔状骨の回内運動を示す。

ジャンプパフォーマンスの測定

片脚ジャンプ (Single Leg Hop Jump : SLHJ) をその場で連続 20 回行ってもらうこととした。上肢によるバランス保持の影響を排除するため、前胸部で両上肢を組ませた。極端にジャンプの速度が遅くならないようにするために、ジャンプのタイミングはメトロノームを 2.2Hz にセットし、実施した。SLHJ のパフォーマンス指標として用いる地面接地時間、ジャンプ高を測定するために OptoJumpNext (MICROGATE 社製、イタリア) を使用した。また、ジャンプパフォーマンスの効率性の指標として Reactive Strength Index (RSI) を算出した。この指標は以下の式より算出され、短い地面接地時間でどれだけ高く跳べるかを表す。

$$RSI (m/sec) = SLHJ \text{ のジャンプ高} (cm) / \text{地面接地時間} (sec)$$

ジャンプパフォーマンス中の足部内側縦アーチの変化

SLHJ 中の足部内側縦アーチ (以下、MLA) の変化の解析は標点位置計測装置 (PrimeX 13、Optitrack 社製、米国) を使用し、測定した。6 台の赤外線カメラをサンプリング周波数 100Hz にて設定し、測定するマーカーの貼付位置は、足背と踵部の 2 点とした。足背部のマーカーは高い信頼性が得られている McPoi 1² の方法を参考にし、足長の 50% 地点での足背の位置とし、アーチ高は床面から反射マーカーの位置までの距離とした。また、シューズのアウトソールの高さを排除するため、測定値から 19mm 差し引いて値を用いた。MLA の変化は全足底が接地した瞬間から再度踵が離地する直前までとし、踵が接地した瞬間の MLA 高 (接地時 MLA 高)、全足底接地している間の MLA 最低点、踵離地直前 MLA 高 (離地時 MLA 高) を抽出した。なお、踵が接地したかどうかの判断には開始肢位である片脚立位保持中の地面から踵部のマーカーの高さの最大値を基にし、最大値以下であれば踵接地しているとみなした。

足部内在筋群および足部外在筋群の筋活動の測定

筋活動の測定には表面筋電計 (TeleMyo DTS EM-801、Noraxon 社製、米国) を使用し、測定対象は足部外在筋として足関節内反筋群 (後脛骨筋・長母趾屈筋・長趾屈筋)、足部内在筋として短指屈筋および母趾外転筋、その他の筋として大腿直筋、腓腹筋内側頭を対象とした。皮膚処理後に直径 34mm の銀・塩化銀型ディスポーザブル表面電極 (Blue Sensor P-00S、Ambu 社製) を貼付した。筋電データはサンプリング周波数 1500Hz で記録し、解析ソフト (MyoResearch、Noraxon 社製、米国) を用いた。全ての電極を貼り終えた後、各筋の最大随意性等尺性収縮 (Maximal Voluntary Contraction : 以下、MVC) を徒手筋力検査の方法に準じて測定した。

4. 研究成果

(1) 「荷重時における足部内側縦アーチの下降に関する研究」

被験者は女子大学生 19 名 (合計 38 足) であった。対象を MLA の高さによって、高アーチ群 (HAG) と低アーチ群 (LAG) の 2 つのグループに分けた。上記方法の により超音波エコーを使用し、立位と座位の両方で舟状骨と内側楔状骨の高さを測定した。同時に、アーチ高と内側楔状骨の角度を測定した。その結果、両群とも荷重によりアーチ高が低下した。LAG では、座位から立位までの内側楔状骨の高さの変化と、内側楔状骨角度の変化に有意な相関関係がありました ($r = -0.74, p < 0.001$)。HAG 群は有意な相関を示さなかった ($r = -0.12, p = 0.596$)。この結果からアーチが高い者は荷重によりアーチが低下するものの、足根骨の回内は行われず、反対にアーチが低い者は荷重によりアーチが低下すると共に足根骨の回内が行われることを示した。本研究結果はアーチの高さの違いにより、荷重によるアーチ降下の運動が異なることを示しており、興味深いと考える。

(2)「足部形態の違いによる Single Leg Hop Jump 時の筋活動跳躍戦略の違い」

被験者は男子大学生 10 名 (合計 20 足) であった。上記方法の および を実施した。ジャンプ高、最大筋活動は SLHJ2 回目～8 回目を前半、9 回目～14 回目を中盤、15 回目～20 回目を後半とし、各期での平均値を算出した。MLA の変化については 1 回目の着地～19 回目の着地までを解析対象とし、1 回目～7 回目を前半、8 回目～13 回目を中盤、14 回目～19 回目を後半とし、各期での平均値を算出した。二元配置分散分析の結果、各項目において足部形態と時間経過による有意な交互作用は認めなかった ($p < 0.05$)。各項目における全 19 回の平均値を足部形態間での比較した結果を表 1 に示す。地面接地時間及び RSI の値において有意な主効果を認めた (地面接地時間: $p < 0.05$ 、RSI: $p < 0.01$)。また両群を合わせた全 15 肢の各項目の時間経過による平均値の変化を表 2 に示す。大腿直筋において前半に対し、中盤から有意な筋活動量の増加を認めた ($p < 0.05$)。腓骨筋群、短趾屈筋においては前半に対し後半から有意な筋活動量の増加を認めた ($p < 0.05$)。ジャンプ高及び RSI では前半に対し中盤から有意な低下を認めた (ジャンプ高: $p < 0.05$ 、RSI: $p < 0.01$)。RSI は短い地面接地時間でどれだけ高く跳べるかを示す指標であり、ジャンプ着地時に MLA と各下肢関節筋の遠心性収縮によって効率的に衝撃吸収し、衝撃した吸収を離地局面で推進力に変化させることによってジャンプパフォーマンスを効率的にするとされている。本研究の結果から扁平足群は、非効率なジャンプを行い、大腿四頭筋の筋活動など何らかの補償によってジャンプ高を維持していることが示唆された。

表 1 ジャンプパフォーマンスである Reactive Strength Index (RSI) の結果

RSI (m/sec)	前半	中盤	後半
扁平足群	0.41 ± 0.06	0.39 ± 0.05	0.37 ± 0.05
正常足群	0.52 ± 0.07	0.49 ± 0.06	0.48 ± 0.06
全体	0.47 ± 0.09	0.44 ± 0.08*	0.43 ± 0.08**

(3)「タオルギャザーエクササイズの再考を目的とした足関節運動の有無による足趾屈曲時の足関節周囲筋筋活動の比較」



図 4 タオルギャザーとゆびだし法の説明

被験者は男子大学生 12 名 (合計 24 足) であった。測定課題は、立位での足趾最大屈曲時の筋活動を測定した。条件は、従来のタオルギャザー動作のように足趾まで接地して立位姿勢をとる場合 (従来法) および MP 関節部より遠位の足趾を台から出して立位姿勢をとる場合 (ゆびだし法: 図 4) とした。上記方法の を使用し、測定した。足関節内反筋群の筋活動量は従来法において、40.0 ± 20.1% MVC、ゆびだし法では、47.5 ± 18.5% MVC となり、ゆびだし法の方が有意に高かった ($p < 0.05$)。短趾屈筋において従来法では、55.7 ± 23.3% MVC、ゆびだし法では、54.0 ± 17.2% MVC、母趾外転筋において従来法では、22.0 ± 17.7% MVC、ゆびだし法では、18.5 ± 15.6% MVC であり、足部内在筋はともに有意な差は認めなかった。本研究からはゆびだし法が足部内在筋群

のエクササイズとして効果的であるかどうかはまだ不明である。練習効果や超音波エコーを使用して筋の断面積から検討するなど課題があり、引き続き検討していきたい。

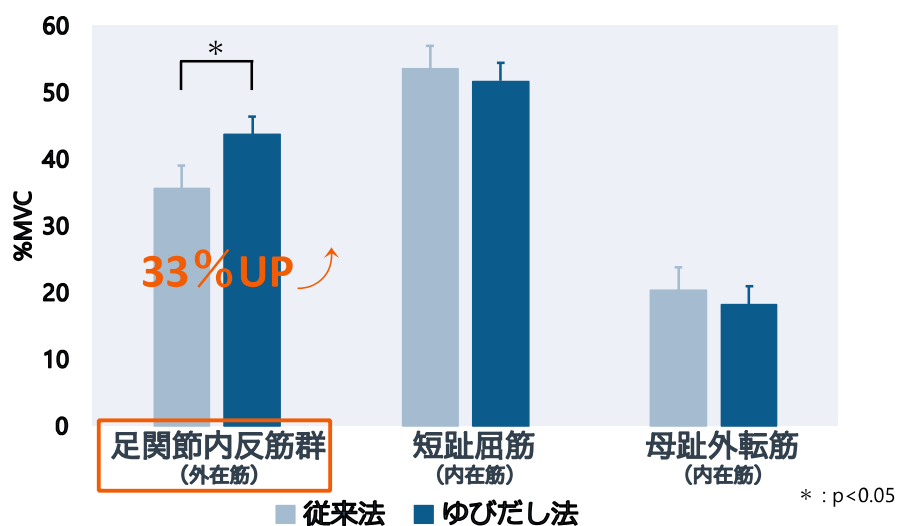


図5 研究(3)の結果

研究成果としては以上の点が挙げられる。(1)として扁平足を有する者の MLA の降下の仕方、(2)として扁平足を有する者のジャンプパフォーマンスの特異性、(3)は扁平足を有する者を含め、足部内在筋群の効果的なトレーニング方法の検討を実施した。本研究の内容から扁平足を有する者の効果的なトレーニングを検討する段階まで成果を挙げることができた。しかしながら介入効果など今後の検討課題が多くあり、これらについて引き続き取り組む所存である。

1. Hicks JH. The mechanics of the foot. II. The plantar aponeurosis and the arch. *J Anat* 1954; 88: 25-30. 1954/01/01.
2. McPoil TG and Cornwall MW. Use of the longitudinal arch angle to predict dynamic foot posture in walking. *J Am Podiatr Med Assoc* 2005; 95: 114-120. 2005/03/22. DOI: 10.7547/0950114.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 篠原博, 片山碧, 橘健, 内田啓介, 朝居白羽, 細見亮太, 松尾慎, 酒井孝文, 小幡太志	4. 巻 3(3)
2. 論文標題 足部内側縦アーチ機能が連続ホッピングジャンプに及ぼす影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 国際エクササイズサイエンス学会誌	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Shinohara H, Hori E, Kobayashi M, Obata F, Kobayashi S, Urabe Y	4. 巻 181
2. 論文標題 THE VALIDITY OF MEDIAL LONGITUDINAL ARCH MEASUREMENTS USING ULTRASONOGRAPHY CHARACTERISTICS ~COMPARED TO X-RAY MEASUREMENTS~	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Gazzetta Medica Italiana Archivio per le Scienze Mediche	6. 最初と最後の頁 66-71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23736/S0393-3660.19.04241-4	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 Hiroshi Shinohara, Futoshi Obata, Shigeru Kobayashi	4. 巻 1
2. 論文標題 The influence of load on the foot windlass mechanism: comparison between sitting and standing position	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of International Exercise Sciences	6. 最初と最後の頁 50-58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 篠原博, 片山碧, 橘健, 内田啓介, 朝居白羽, 細見亮太, 松尾慎, 酒井孝文, 小幡太志
2. 発表標題 足部内側縦アーチの柔軟性とジャンプパフォーマンスの関連について
3. 学会等名 日本ヒューマンケア科学学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroshi Shinohara, Futoshi Obata, Shigeru Kobayashi, Masanori Kobayashi, Yukio Urabe
2. 発表標題 Behavior of the medial longitudinal arch of the foot under loading conditions: Analysis using ultrasound
3. 学会等名 World Physiotherapy Congress 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 篠原博, 小幡太志, 浦辺幸夫
2. 発表標題 荷重時における足部内側縦アーチの下降に関する研究
3. 学会等名 日本リハビリテーション医学会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 梅崎泰侑, 篠原博, 川村大地, 新岡大和, 遠藤陽季, 川口徹
2. 発表標題 タオルギャザーエクササイズの再考に関する研究
3. 学会等名 2021 年度青森県保健医療福祉研究発表会・日本ヒューマンケア科学学会第 14 回学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川村大地, 篠原博, 梅崎泰侑, 新岡大和, 遠藤陽季, 川口徹
2. 発表標題 足部内在筋・外在筋活動と Single Leg Hop Jump 高の経時的変化との関連
3. 学会等名 2021 年度青森県保健医療福祉研究発表会・日本ヒューマンケア科学学会第 14 回学術集会
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
--	---------------------------	-----------------------	----

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