

研究報告



ショートフットエクササイズによる運動介入が 動的内側縦アーチ高に及ぼす影響*

野嶋 治¹⁾・細井雄一郎³⁾・本山 雅^{2) 4)}山田紘章⁵⁾・金井 章^{1) 2)}

【要 旨】

【目的】本研究の目的は、ショートフットエクササイズによる運動介入が足部の内側縦アーチ高に及ぼす影響を検討することである。【方法】健康若年女性 11 名に対し 4 週間の運動介入を行い、三次元動作解析装置を用いた歩行解析と足趾把持力の計測を介入前後に実施した。t 検定を用いて介入前後における足趾把持力と内側縦アーチ高低下量を比較し、ピアソンの相関係数を用いて内側縦アーチ高低下量の介入前後における変化量と足趾把持力の関係性を検討した。【結果】介入前後における内側縦アーチ高低下量の変化量と足趾把持力 0° の変化量に有意な相関関係は認められなかったが ($r = -0.467$)、介入前後における内側縦アーチ高低下量の変化量と足趾把持力 30° の変化量には有意な負の相関関係が認められた ($r = -0.772$, $p < 0.01$)。【結論】ショートフットエクササイズによる運動介入後の足趾把持力向上は、歩行中における内側縦アーチ高の落ち込みを減少させる可能性があることが示唆された。

キーワード：ショートフットエクササイズ、内側縦アーチ、足部内在筋

はじめに

足部は、多数の骨とそれを連結する靱帯、さらに複雑な関節運動を可能にする多くの筋により構成されている。これらは下腿と足関節を形成し他関節と連動することで、荷重支持や推進力の発揮、姿勢制御などヒトの運動において非常に重要な役割を担っている。なかでも、内側縦アーチは動作時の衝撃吸収や推進力の発揮に非常に重要な役割を担っており^{1) 2)}、この構造の破綻は単に足部の機能障害を引き起こすだけでなく、運動能力の低下や他関節の障害を引き起こす可能性もある^{3) 4)}。そのため運動療法として、タオルギャザーなどの足趾屈曲運動が、

扁平足や足関節捻挫などの足部疾患だけでなく青少年におけるスポーツ障害や高齢者に対する介護予防法として実施されている^{5) 6)}。

内側縦アーチは骨や関節、靱帯による静的支持機構と足部周囲筋による動的支持機構によって支持されており、動的支持機構である足部周囲筋は後脛骨筋などの外在筋と母趾外転筋などの内在筋に分類される。Suzuki ら⁷⁾ は、歩行中の立脚期など荷重がかかった状態で内在筋の筋活動が増すと報告しており、内在筋が動的な内側縦アーチ高に重要な役割を果たす可能性があることを示唆している。

* Influence of exercise intervention by short foot exercise on dynamic medial longitudinal arch height

- 1) 豊橋創造大学保健医療学部理学療法学科
(〒 440-8511 愛知県豊橋市牛川町松下 20-1)
Osamu Nojima, RPT, MS, Akira Kanai, PT, PhD:
Department of Physical Therapy, School of Health
Sciences, Toyohashi SOZO University
- 2) 豊橋創造大学大学院健康科学研究科
Masashi Motoyama, RPT, Akira Kanai, PT, PhD: Graduate
School of Health Sciences, Toyohashi Sozo University

- 3) 豊川さくら病院 リハビリテーション部
Yuichiro Hosoi, PT, MS: Department of Rehabilitation,
Toyokawa Sakura Hospital

- 4) かんべ整形外科リハビリクリニック
Masashi Motoyama, PT: Kanbe Orthopedics and
Rehabilitation Clinic

- 5) はしら整形外科リハビリクリニック
Hiroaki Yamada, PT: Hashira Orthopedics and
Rehabilitation Clinic

E-mail: o-nojima@sozo.ac.jp

そのような背景から、近年、内在筋を選択的にトレーニングできるショートフットエクササイズが注目されている。ショートフットエクササイズは足趾を屈曲させずに「足を短く」するように動かすことで、タオルギャザーのような足趾屈曲運動よりも内在筋強化に効果的であるとされている。また、Mulligan ら⁸⁾は4週間のトレーニングで静止立位における荷重時の舟状骨の落ち込みが減少し、静的な内側縦アーチの支持に有効であったと報告している。しかし、歩行中は自重の他に床反力が加わり、多くの負荷が各関節にかかるため、内側縦アーチの支持には動的支持機構の貢献がより重要となるにもかかわらず、歩行中などの動的な内側縦アーチ高の支持に効果的か検討した報告はない。よって本研究では、単一群に4週間の運動介入を行い、ショートフットエクササイズが動的な内側縦アーチ高に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

対象および方法

1. 対象

本研究では、下肢に急性の外傷や疼痛がなく足関節靭帯損傷の既往が無い健常若年女性11名11肢（平均年齢 21.4 ± 1.5 歳、平均身長 157.6 ± 4.4 cm、平均体重 51.2 ± 7.4 kg）を対象とした。測定側は左側とした。なお、本研究は豊橋創造大学生命倫理委員会の承認を受け実施した（承認番号：H2015003）。また、被験者には口頭及び文書で研究内容について十分な説明をした後、書面にて同意を得た。

2. 計測

本研究では、ショートフットエクササイズによる運動介入効果を検討するため、三次元動作解析装置を用いた歩行解析と足趾把持力の計測を介入前後に実施した。

歩行解析には3枚の床反力計（AMTI 社製、OR 6-7、サンプリング周波数 960 Hz）と三次元動作解析装置（VICON MX、VICON 社製 MX カメラ 8 台 サンプリング周波数 120 Hz）を用いた。赤外線反射マーカー（直径 9 mm）は Plug in gait model と Oxford foot model⁹⁾ に準じて貼付し、さらに内側縦アーチ高を算出するため舟状骨粗面にマーカーを追加した。歩行路には 50 cm 毎にカラーテープを貼り、歩行中は電子メトロノームを 120 回 / 分に設定し電子音を流し続けた。被験者には、カラーテープを踵で踏むことと電子音と左右の踵接地を一致させることを要求した。また、3枚のフォー

スプレート上を計測区間とし前後 3 m に予備路を設けた。歩行計測は数回の練習試行の後に 5 回実施した。足趾把持力は足趾把持力計（竹井機器製、足指筋力測定器 II）を用いて計測した。足趾にかける棒が各被験者の基節骨の直下にくるよう固定位置を調節した。足趾把持力は足関節を底屈位にすることで、外在筋の関与を最小限にすることができると報告されている¹⁰⁾。よって本研究では、計測肢位を足関節底背屈 0° （足趾把持力 0° ）と底屈 30° （足趾把持力 30° ）の2つとした。計測は座位で行い、それぞれ 3 回ずつ計測した。

3. 運動介入

介入期間は 4 週間とした。被験者には介入前にエクササイズの方法を以下の要領に従って約 10 分間指導した。肢位：足底を床面に付け足関節は底背屈 0° とし、初めの 3 日間は座位で、次の 4 日間は立位で、2 週目以降は片脚立ち（上肢による補助可）で実施する。動作は、踵骨と中足骨頭を近づけるように動かすこととし、その際、近位趾節間関節の屈曲を伴わないように注意する。検者は正確な動作ができるよう被験者の母趾外転筋と短趾屈筋を触診し、筋収縮の有無を被験者にフィードバックした。頻度については、1 回の動作は 5 秒間の最大等尺性収縮とし、30 回で 1 セットとした。被験者には 1 日 1 セット実施するように要求した。尚、エクササイズの方法は Mulligan ら⁸⁾らの方法に準じた。また、各被験者にトレーニング日誌を配布し、実施の有無、エクササイズの姿勢、筋痙攣の有無、筋肉痛の有無について毎日記録させ最終日に回収した。エクササイズ中やその前後に筋痙攣や疼痛が生じた場合はエクササイズを中止するよう説明した。

4. 解析

動的な内側縦アーチ高を解析するため、プログラミングソフトウェア（VICON 社製、BODYBUILDER）を用いて歩行中の足底面から舟状骨マーカーまでの高さを算出した。足底面は踵マーカー、第 1 中足骨頭マーカー、第 5 中足骨頭マーカーを含む面と定義した。また、立脚期を解析対象区間とし、解析用ソフトウェア（VICON 社製、POLYGON）を用いて初期接地から同側足趾離地までを 100% として正規化した。これらの処理をした後、歩行動作 5 回中 3 回の平均値を算出した。各被験者において、立脚期中の内側縦アーチ高は荷重応答期（立脚期 10%）から立脚中期（立脚期 50%）にかけて低下する傾向にあったた

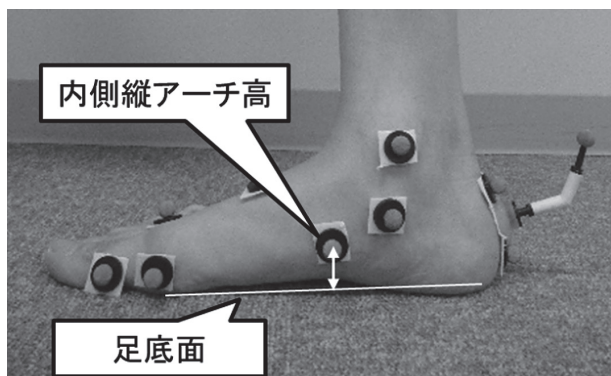


図 1. 内側縦アーチ高

内側縦アーチ高＝舟状骨マーカーから足底面に下ろした垂直線の長さ

足底面＝踵マーカー，第 1 中足骨頭マーカー，第 5 中足骨頭マーカーの 3 点でなる面

表 1. 被験者情報

	平均±標準偏差	範囲
年齢（歳）	21.4 ± 1.5	20 - 25
身長（cm）	157.6 ± 4.4	151.7 - 168.3
体重（kg）	51.2 ± 7.4	42.0 - 67.7
実施率（%）	61.7 ± 14.5	35.7 - 89.3

実施率＝トレーニング実施日数 / 28（介入日数）

表 2. 足趾把持力と内側縦アーチ高低下量の介入前後における比較

	介入前	介入後	差（後－前）	p 値
足趾把持力 0°（%）	35.4 ± 13.3	35.9 ± 10.1	0.5	NS
足趾把持力 30°（%）	25.0 ± 9.4	23.6 ± 7.5	1.4	NS
内側縦アーチ高低下量（mm）	8.4 ± 3.5	7.1 ± 6.4	-1.3	NS

平均 ± 標準偏差，NS＝有意差なし

め，立脚期 10% の地点での内側縦アーチ高から立脚期 50% の地点での内側縦アーチ高を減じ，低下量を算出した．さらに，介入前後における内側縦アーチ高低下量の変化量を算出するため，介入後における内側縦アーチ高低下量から介入前における内側縦アーチ高低下量を減じた．

足趾把持力は各被験者それぞれの体重で除し，体重比（%）とした．また，介入後から介入前の値を減じ変化量を算出した．

5. 統計

足趾把持力と内側縦アーチ高低下量の介入前後の比較には対応のある t 検定を用いた．内側縦アーチ高低下量の介入前後における変化量と足趾把持力の関係性の検討にはピアソンの相関係数を用いた．

結果

運動介入期間中のショートフットエクササイズの実施率は 61.7 ± 14.5% であり，最高値は 89.3%，最低値は 35.7% であった（表 1）．

介入前の足趾把持力 0° は 35.4 ± 13.3 kg，足趾把持力 30° は 25.0 ± 9.4 kg，介入後の足趾把持力

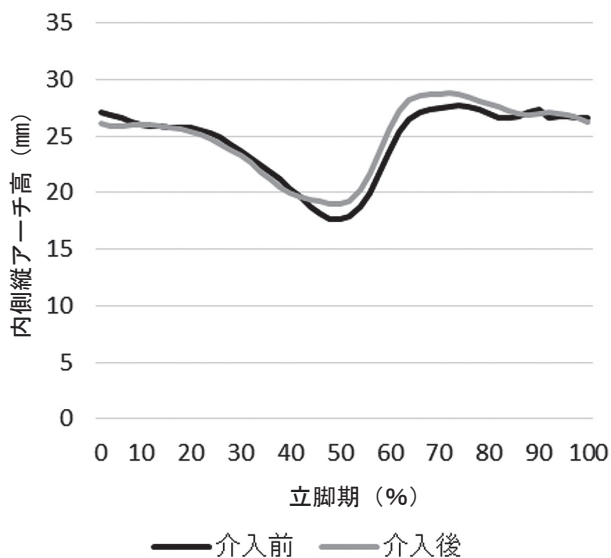


図 2. 介入前後における立脚期中の内側縦アーチ高

0° は 35.9 ± 10.1 kg，足趾把持力 30° は 23.6 ± 7.5 kg であり，ともに介入前後で有意な変化は認められなかった（表 2）．また，内側縦アーチ高の低下量は介入前が 8.4 ± 3.5 mm，介入後が 7.1 ± 6.4 mm であり，介入前後で有意な変化が認められなかった（表 2，図 2）．一方，介入前後における

表3. 足趾把持力の変化量と内側縦アーチ高低下量の変化量の相関関係

	足趾把持力 0° の変化量	足趾把持力 30° の変化量
内側縦アーチ高低下量の変化量	-0.467	-0.772**
足趾把持力の変化量：＋＝介入後に足趾把持力が向上，－＝介入後に足趾把持力が低下		
内側縦アーチ高低下量の変化量：＋＝低下量が介入後に増加，－＝低下量が介入後に減少		

**：p < 0.01

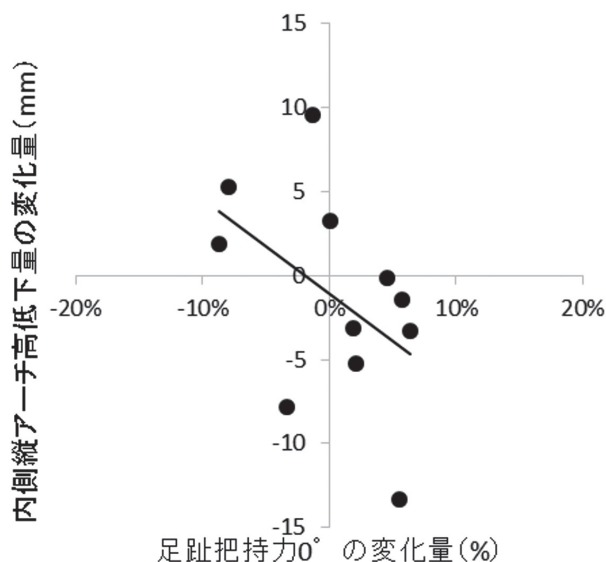


図3. 足趾把持力 0° の変化量と内側縦アーチ高低下量の変化量の散布図

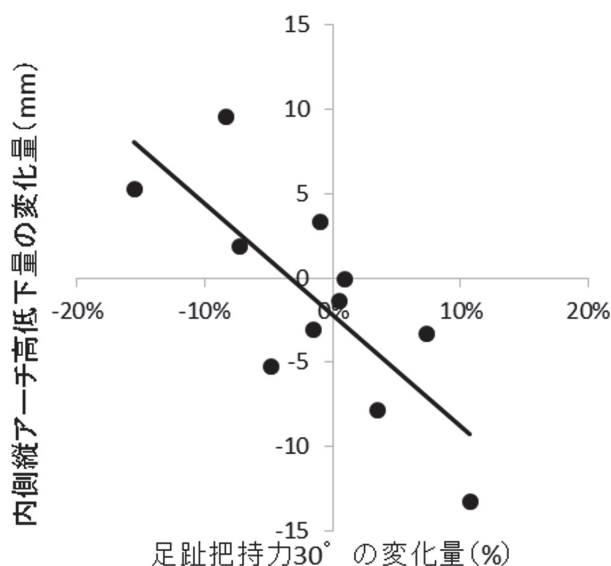


図4. 足趾把持力 30° の変化量と内側縦アーチ高低下量の変化量の散布図

内側縦アーチ高低下量の変化量と足趾把持力 0° の変化量に有意な相関関係は認められなかったが ($r = -0.467$)，介入前後における内側縦アーチ高低下量の変化量と足趾把持力 30° の変化量には有意な負の相関関係が認められた ($r = -0.772$, $p < 0.01$) (表3, 図3, 図4)。

考察

内側縦アーチは立脚初期から立脚中期にかけてアーチ構造を低下させることで下肢にかかる衝撃を吸収する役割がある。本研究では，立脚初期から立脚中期にかけての内側縦アーチ高の低下量を算出し，ショートフットエクササイズによる介入前の低下量と介入後の低下量を比較した。内側縦アーチ高の低下量は介入前後で有意な変化は認められなかったものの，足関節 30° 底屈位での足趾把持力が向上した者ほど内側縦アーチ高の低下量が減少する傾向にあった。足関節底屈 30° での足趾屈曲運動は底背屈 0° での計測よりも外在筋の影響を受けにくく，内在筋の筋力を反映するとされている¹⁰⁾。また Suzuki ら⁷⁾ は，立脚初期にて第1中足骨頭が床面に接地した直後に母趾外転筋が活

動し始め，続いて立脚中期に短趾屈筋が活動を開始すると報告している。本研究での内側縦アーチの落ち込み量は荷重応答期から立脚中期の間の現象であるため，母趾外転筋や短趾屈筋がアーチ構造の変化に関与していると推察される。従って，ショートフットエクササイズにより母趾外転筋や短趾屈筋などの内在筋の筋力が向上すると，荷重によるアーチ構造の変化に抵抗する張力が増すために，歩行中の内側縦アーチの落ち込みを軽減させる作用を有したのではないかと考えた。過度の内側縦アーチの落ち込みは，中足骨や足底腱膜への力学的ストレスの増加や回内足などのアライメント異常を引き起こす内的要因と成り得る³⁾。ショートフットエクササイズはこれらの問題を解決するための一手段となるかもしれない。

一方，介入前と介入後の比較では，足趾把持力と動的な内側縦アーチ高に有意な変化は認められなかった。足趾把持力が変化しなかった理由の一つとして実施率のばらつきが挙げられる。Mulligan ら⁸⁾ は 85% の実施率で立位時の舟状骨の落ち込みが減少したと報告しているが，本研究の実施率は平均 61.7% であり最も低い者は 35.7% であっ

た．先行研究と比較すると 20% 程度低値を示しており，十分な負荷量を確保できなかった可能性がある．また，ショートフットエクササイズは動作の難易度が高いため，初回の指導のみでは不十分であった可能性がある．よって，ショートフットエクササイズについては運動方法の正確なレクチャーと継続した介入が不可欠であり，今後の課題であると考ええる．

結論

ショートフットエクササイズによる運動介入効果を検討するため，三次元動作解析装置を用いた歩行解析と足趾把持力の計測を介入前後に実施した．ショートフットエクササイズにより底屈位での足趾把持力が向上すると，荷重応答期から立脚中期に起こる内側縦アーチ高の落ち込みが軽減する可能性があることが示唆された．

謝辞

本研究を行うにあたって，計測に協力してくださいました 11 名の被験者の方々に心より感謝の念を表します．

【文 献】

- 1) Tome J, Nawoczenski DA, et al. : Comparison of foot kinematics between subjects with posterior tibialis tendon dysfunction and healthy controls. J Orthop Sports Phys Ther. 2006; 36: 635-644.
- 2) Hunt AE, Smith RM: Mechanics and control of the flat versus normal foot during the stance phase of walking. Clin Biomech. 2004; 19: 391-397.
- 3) Matheson GO, Clement DB, et al. : Stress fractures in athlete: a study of 320 cases. Am J Sports Med. 1987; 15: 46-58.
- 4) 加賀谷善教, 西薊秀嗣・他 : 高校女子バスケットボール選手の股関節外転筋・後足部機能と Knee in および Hip out の関係について．体力科学. 2009 ; 58 : 55-62.
- 5) 福永亜希 : 変形性膝関節症患者の内側縦アーチ低下へのアプローチとその効果．理学療法福岡. 2007; 20: 113-115.
- 6) 高司博美, 大場俊二・他 : 足関節外側靱帯損傷のアスレティックリハビリテーション．九州・山口スポーツ医・科学研究会誌. 2016 ; 28 : 99-105.
- 7) Suzuki R: Functional of the leg and foot muscles from the viewpoint of the electromyogram. J Jap Orthop Surg Soc. 1956; 30: 67-78.
- 8) Edward PM, Patrick GC: Effect of plantar intrinsic muscle training on medial longitudinal arch morphology and dynamic function. Man Ther. 2013; 18: 425-430.
- 9) Stebbins J, Harrington M, et al. : Repeatability of a model for measuring multi-segment foot kinematics in children. Gait Posture. 2006; 23: 401-410.
- 10) Spink M, Fotoohabadia M, et al. : Foot and ankle strength assessment using hand-held dynamometry: Reliability and age-related differences. Gerontology. 2010; 56 (6) : 525-532.