

## 原著

# 足趾踵荷重立位は成人男性の動的バランスを向上させるか

佐野徳雄<sup>1)</sup>, 有馬未来<sup>1)</sup>, 飯村亮汰<sup>1)</sup>, 佐々木和優<sup>1)</sup>, 柴田悠大<sup>1)</sup>, 高橋梨子<sup>1)</sup>,  
浜野舜太郎<sup>1)</sup>, 嶋田裕司<sup>2)</sup>, 渡邊修司<sup>1)</sup>, 平賀篤<sup>1)</sup>, 昇寛<sup>3)</sup>

**要旨:** [目的] 本研究の目的は, 足趾踵荷重立位を三週間継続することによる, 動的バランス機能への影響を検証することとした。[対象] 対象は健康成人男性 38 名とし, 介入群とコントロール群に 19 名ずつ振り分けた。[方法] 介入群の運動課題は足趾踵荷重立位とし, 週三回の介入を三週間行なった。測定は足趾把持筋力と動的バランス項目とし, 初日と三週間後の 2 回行なった。課題前後の比較を各群で行い, 変化率の比較を両群間で行なった。[結果] 介入群では FRT, コントロール群は IPS に有意差を認めた。両群間では IPS, FRT に有意差を認めた。[結語] 足趾踵荷重立位は, 動的バランス機能を向上させる運動課題であることが示唆された。

**キーワード:** 足趾踵荷重立位, 動的バランス, 足趾把持筋力

## I. はじめに

足部は, 足根骨と足関節より遠位の関節のすべての構造を示し, 後足部, 中足部, 前足部の三つの領域がある。後足部は距骨, 踵骨, 距骨下関節からなり, 中足部は足根骨と横足根関節と遠位の足根間関節から構成されている。前足部は中足骨と趾節関節からなり, 足根中足関節とその遠位のすべての関節を含む<sup>1)</sup>。後足部は足部全体の可動性と固定性に関与し, 中足部はほとんど可動性がないため剛体とし

て捉えることができる。前足部は, 可動性を有しながら身体の土台としての機能を持っている他, 歩行時には下腿三頭筋の筋力の作用点として地面を蹴ることにより身体を前方へ推進させる機能を有するとされている<sup>2)</sup>。また, 前足部は身体の静的および動的な身体制御機能に影響を及ぼすことが考えられており, 二足歩行を行うヒトにとって, 支持面である床と唯一の接地部である足底, 特に足趾が立位姿勢制御に関与していることは先行研究により報告されている<sup>3-6)</sup>。

足趾把持筋力は加齢とともに減少することが分か

1) 帝京科学大学医療科学部理学療法学科: 〒409-0193 山梨県上野原市八ツ沢 2525 TEL:0554-63-4411  
E-mail: n-sano@ntu.ac.jp

2) 聖母病院リハビリテーション室

3) 帝京科学大学医療科学部柔道整復学科

受付日 2017 年 11 月 16 日 受理日 2017 年 12 月 22 日

っており<sup>7-9)</sup>、特に転倒経験者では非転倒経験者と比較して有意に減少するため<sup>10)</sup>、転倒発生の要因であることが明らかとなっている<sup>11-13)</sup>。これらのことから、足趾把持筋力と下肢運動機能、姿勢制御機能の改善が転倒予防として有効であることが示唆されており<sup>10-14-15)</sup>、施設高齢者や地域での転倒予防プログラムの一部として足趾把持筋力トレーニングが取り入れられ<sup>16-17)</sup>、その結果、転倒数が減少したとの報告もなされている<sup>13-17-18)</sup>。また、足趾把持筋力と片脚立位バランスとの関係性についての報告<sup>19-22)</sup>や、足趾把持筋力トレーニングによる動的バランスの向上<sup>14-23)</sup>、膝・足関節の粗大筋力や50m走、垂直跳びなどの全身運動能力への効果が明らかとなり、早期からの足趾把持筋力トレーニングが推奨されている<sup>15)</sup>。また、健常成人においても足趾把持力トレーニングを実施した結果、足趾把持筋力、最大歩行速度、Functional reach test(以下、FRT)、最大一歩幅が有意に改善し、足関節捻挫の発生数が低下したと報告されており、スポーツ障害や整形外科の下肢疾患に対する予防の観点からも、足趾機能が注目をされている<sup>24-25)</sup>。これらの報告から、足趾機能が身体機能や姿勢制御機能に関与していることが考えられ、年齢に関わらず足趾把持筋力トレーニングを行なうことによって機能向上が図れることが報告されている。

足趾機能のトレーニングにはタオルギャザーなどが一般的に行われているが<sup>26-27)</sup>、近年では荷重下で様々な姿勢制御課題を実施することが、足趾機能の改善により効果的であるとの報告もされている<sup>28)</sup>。昇ら<sup>29)</sup>は、荷重下での足趾機能トレーニングを目的とした、足指・踵荷重起立台(実用新案登録第3201544号、竹井機器工業株式会社)を考案、作製した。この起立台は、足趾と踵部のみが接地した立位姿勢(以下、足趾踵荷重立位)を取らせることで、足趾屈曲筋群の等尺性収縮を誘発させ、足趾把持筋力やバランス機能の向上に効果があるとされる運動機器である(図1)。足指・踵荷重起立台は、基盤、足指荷重台、踵荷重台の三部品からなり、基盤は横360mm、縦330mm、厚さ10mm、足指荷重台と踵荷

重台は横135mm、縦30mm、厚さ15mm、足指荷重台と踵荷重台の位置は磁石により固定、調整することが可能である。先行研究によると、足趾踵荷重立位は足底内在筋に強度な負荷をかけることができ<sup>30)</sup>、即時的に足趾把持筋力が増強する運動課題であることが明らかとなっている<sup>31)</sup>。しかし、足趾踵荷重立位の継続的な介入による効果については検証がされていない。そこで本研究では、足趾踵荷重立位を三週間継続して行うことが身体機能に与える影響について明らかにすることを目的とした。

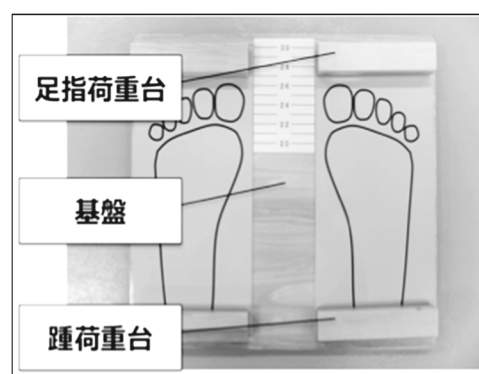


図1 足指・踵荷重起立台

## II. 対象と方法

### 1. 対象

対象は、整形外科の疾患がなく、足趾や足関節に関節可動域制限のない健常成人男性38名とし、無作為に介入群19名、コントロール群19名の二群に振り分けた。介入群の属性は、年齢 $21.2 \pm 0.4$ 歳、身長 $170.4 \pm 7.2$ cm、体重 $63.3 \pm 8.2$ kg、足長 $24.4 \pm 1.2$ cm(平均値 $\pm$ 標準偏差)であった。コントロール群の属性は年齢 $20.3 \pm 1.7$ 歳、身長 $170.7 \pm 6.2$ cm、体重 $67.3 \pm 10.5$ kg、足長 $25.5 \pm 1.1$ cm(平均値 $\pm$ 標準偏差)であった。対象者には口頭と書面にて、研究の趣旨と内容、得られたデータは研究目的以外で使用しないこと、個人情報の漏洩に注意することを説明し、研究参加の同意を得た。尚、本研究は帝京科学大学倫理審査委員会の承認を得て実施した(承認番号第16053号)。

## 2. 方法

実施手順は、最初に介入群とコントロール群の測定をした後、三週間の介入期間を設けた。その後、再度両群の測定を行い、課題前後の比較をそれぞれの群で行い、変化率の比較を両群間で行なった。

介入群の運動課題は、足指・踵荷重起立台を使用した、足趾踵荷重立位とした。足指荷重台には中足趾関節より末梢部、踵荷重台には踵骨部が乗るように、足指荷重台と踵荷重台の設置位置を対象者の足の大きさに合わせて調整した。台上での立位姿勢は、開眼で2m前方の目の高さに設定された目標点を注視させ、両上肢を体側に付けさせた。足趾と踵以外は基盤に接地させず、前足部と踵部が同程度の荷重となるように、「両手を体側に付け、背中を伸ばして自然体で立って下さい」、「足のアーチは浮くようにして下さい」、「右足と左足に均等に体重をかけて下さい」、「つま先と踵は同じように意識を置いて立って下さい」と対象者に教示し、指示通り実施できているか検査者が確認を行った。運動課題の実施時間は、運動強度から10秒間とし、二回の施行を1セットとして1日2セット実施した<sup>30-32</sup>。頻度と期間は、筋力増強効果が望めるとされる週三回、三週間とした<sup>33</sup>。コントロール群は最終測定まで普段通りの生活を送ることとした。

測定項目は、姿勢安定度評価指標(index of postural stability : 以下, IPS), 修正 IPS(modified index of postural stability : 以下, MIPS), FRT, 利き足と非利き足の足趾把持筋力とした。

IPSは望月らが考案した動的バランスの評価指標である<sup>34</sup>。天井効果を示すことなく測定が可能であり、Berg balance scaleとの相関関係も報告されている<sup>35</sup>。その基本的な考え方としては、一定の支持基底面内で随意的に重心移動できる範囲を安定性限界と定義し、安定性限界が大きく重心動揺が小さいほど姿勢保持の安定性は高くなるというものであり、安定性限界面積と重心動揺面積の比の対数値からIPSを算出する。また、MIPSは閉眼、軟面上条件下で測定するIPSであり、動的バランス能力における深部感覚の影響を検討できる評価指標である<sup>35</sup>。

IPSとMIPSの算出方法は、安定性限界面積を前後左右の重心移動位置における平均重心位置の距離を乗じた矩形面積とし、重心動揺面積を中央と前後左右に重心移動した位置における10秒間の矩形重心同様面積の平均値として、 $\log [(安定性限界面積 + 重心動揺面積) / 重心動揺面積]$ の式を用いるとされている。

IPSとMIPSの測定には、重心動揺計 Active Balancer EAB-100 (酒井医療株式会社製)を使用し、サンプリング周波数は20Hzとした。また、軟面マットはAIREX® Balance-pad (AIREX社製)を使用した。開眼し裸足、足底内側を平行に10cm離した軽度開脚立位を開始姿勢とし、初期の大きな動揺がおさまった時点から10秒間の重心動揺を測定。その後、対象者に「直立姿勢を変えないように体を傾けて下さい」と指示し、前方・後方・右側・左側の順に重心移動した位置における10秒間の重心動揺を測定した。測定終了後、検査台に軟面マットをセットし、IPSと同様に重心動揺を測定した。

FRTは、足幅を肩幅に開いた立位で、肩関節屈曲90度位、肘関節伸展位、前腕回内位、手関節中間位を開始肢位とし、第三指尖先端の位置を開始位置とした。前方へリーチする際は、視線は指先を見たまま上肢を肩の高さから上下させず、足底を床面から浮かさないように指示した。前方へリーチ動作をしていただいた時の第三指尖先端の位置を終了位置とし、開始位置と終了位置までの距離をメジャーで測定した。測定後、開始肢位に戻らせて測定終了とした。測定は二回実施し、最大値を代表値とした。

足趾把持筋力の測定には、足指筋力測定器II (竹井機器工業株式会社)を使用した。両下肢は肩幅に開脚させ、股関節膝関節屈曲90度、足関節を底背屈0度、両上肢は大腿中央部に置いた状態を開始姿勢とし、足底全面が機器に接地するよう調節した。測定器の設定は、測定用のバーが母趾の趾節間関節と示趾の遠位趾節間関節にかかるように設定した。左右三回ずつ測定し、それぞれの最大値を代表値とした。

各群から得られた測定値は、以下の(1)式にて

変化率を算出した。

変化率 (%) =

$$(課題後の測定値) / (課題前の測定値) \times 100 \dots (1)$$

統計学的解析は、各群の介入前後の比較に対応のある t 検定を適応し、両群間の変化率の比較に対応のない t 検定を適応した。統計処理は JSTAT13.0 for Windows を使用し、有意水準は 5% とした。

### Ⅲ. 結果

介入前後の比較では、介入群で FRT に有意な差を認め、コントロール群では IPS に有意な差を認めた (表 1)。両群間の変化率の比較では、IPS, FRT に有意な差を認めた (表 2)。

### Ⅳ. 考察

まず、介入群の FRT について考察する。介入群の FRT は、介入の前後比較で有意に増加し、変化率においてもコントロール群と比較して有意に増加を示した。FRT は転倒との関連性や高齢者の歩行速度、歩行率、歩幅との有意な相関も報告されている<sup>36-38)</sup>。また、足圧中心 (center of pressure : 以下、

COP) の偏位と高い相関関係にあり、立位での安定性限界を反映するものであるとされているため<sup>39)</sup>、立位での姿勢制御機能が向上したと考えられる。FRT が増加した要因として、足趾踵荷重立位の運動課題特性による姿勢制御機能の向上を考えた。村田ら<sup>18)</sup>は、短期間での足趾トレーニングにより足底の固有感覚の賦活が望めると考察しており、島田ら<sup>38)</sup>は、平衡機能トレーニングは、練習内容に対応した課題特異性があると報告をしている。また、辻野ら<sup>40)</sup>は、前方に偏位した重心を保持するためには、足関節底屈筋力だけではなく、前足部や足趾の屈曲方向への圧力も重要であると報告している。足趾踵荷重立位は、立位姿勢で足趾屈曲筋群の等尺性収縮を促す運動課題であり、前方に移動した重心を制御する機能と同様の収縮動態であると考えられる。つまり、足趾踵荷重立位は足趾屈曲筋を賦活させることで、足底末梢部を有効支持基底面として姿勢制御に動員することを可能とし、前方制御機能を特異的に向上させた可能性が考えられる。前方の重心制御は、高齢者の転倒予防に重要な因子であることが報告されており<sup>41)</sup>、高齢者に足趾踵荷重立位を行わせることで、転倒予防にも効果があると考えられる。本研究においては、週に二分間を三週間、計六分間と非常に短時間の課題実施においても前方重心制御機能向上の効果が得られる運動課題であることが明らかとなった。

一方、介入群の IPS と MIPS, 足趾把持筋力に有

表1 介入前後の測定値

	介入群		コントロール群		
	初期	最終	初期	最終	
IPS	1.86±0.17	1.87±0.18	1.88±0.23	1.75±0.26	*
MIPS	0.51±0.20	0.52±0.18	0.38±0.14	0.36±0.14	
利き足の足指把持力(kg)	22.2±6.6	23.5±6.5	17.9±6.0	19.8±4.0	
非利き足の足指把持力(kg)	21.6±6.4	21.2±6.0	17.2±5.4	18.9±5.0	
FRT(cm)	16.9±2.6	21.0±3.4	17.4±4.1	18.6±4.4	*

平均値±標準偏差 \* : p<0.05

表2 両群の変化率

	介入群	コントロール群	
IPS	100.7±9.1	93.5±11.2	*
MIPS	111.8±47.2	103.6±52.2	
利き足の足指把持力(kg)	108.5±26.5	119.2±38.8	
非利き足の足指把持力(kg)	101.5±25.3	117.8±38.8	
FRT(cm)	125.7±19.3	111.0±28.9	*

平均値±標準偏差 \* : p<0.05

意差は認められなかった。IPS と MIPS は、中心と前後左右方向での総合的な動的姿勢制御能を評価する動的姿勢制御機能の評価指標である<sup>34)</sup>。そのため、前方向の重心制御機能に向上が認められたとしても、統計上の結果に反映されにくかったものと考えられる。

足趾把持筋力は、足趾踵荷重立位によって即時的に足趾把持筋力が増強するとの先行研究とは異なる結果を示した<sup>31)</sup>。その要因として、筋力増強に関する課題特異性が考えられる。足趾踵荷重立位は趾節間関節を中間位に保持したまま、中足趾節間関節の屈曲を促す運動課題であるため、足底外在筋よりも足底内在筋の筋収縮を促すと考えられる。しかし足趾把持筋力の測定は足趾で握り込む運動課題であるため、足底外在筋の収縮が優位であることが推察される。筋力増強トレーニングは、目的動作と同様のトレーニングを実施することが効果的とされており<sup>32,38)</sup>、本研究においては、足趾踵荷重立位は運動様式の違いから足趾把持筋力を有意に増強させることができなかつたものとする。また、IPS の変化率で両群間に有意差が認められたのは、コントロール群の最終測定値の低下が要因と考えられる。

本研究では、対象者が少なく結果の解釈には限界がある。今後は対象者の属性による相違や、既存の足趾機能トレーニングとの効果検証も行うことで、足趾踵荷重立位の運動特性やトレーニング適応などが明らかとなり、足趾機能の向上に寄与することが可能であるとする。

本研究は、足趾踵荷重立位課題の介入効果を姿勢制御機能から検証した。その結果、足趾踵荷重立位は、短時間の実施時間において FRT を改善させるなど、動的姿勢制御機能向上に効果的な運動課題であることが明らかとなった。

## 文献

- 1) Donald A, Neumann : 筋骨格系のキネシオロジー原著第2版. 嶋田智明 : 他訳, 医歯薬出版株式会社, 東京, 2012, pp629-683
- 2) 橋本雅至, 中江徳彦 : 足部からみた身体運動の制御. 理学療法科学, 2001, 16 : 123-128
- 3) 浅井 仁, 奈良 勲, 立野勝彦・他 : 立位姿勢における足指の作用に関する研究. 理学療法ジャーナル, 1989, 23 : 137-141
- 4) 長谷川正哉, 島谷康司, 金井秀作・他 : 静止立位時の足趾接地状態が歩行に与える影響. 理学療法科学, 2010, 25 : 437-441
- 5) 加辺憲人, 黒澤和生, 西田裕介・他 : 足趾が動的姿勢制御に果たす役割に関する研究. 理学療法科学, 2002, 17 : 199-204
- 6) 加辺憲人 : 足趾の機能. 理学療法科学, 2003, 18 : 41-48
- 7) 半田幸子, 堀内邦雄, 青木和夫 : 足趾把持筋力の測定と立位姿勢調整に及ぼす影響の研究. 人間工学, 2004, 40 : 139-147
- 8) 村田 伸, 甲斐義浩, 田中真一・他 : 健常成人と高齢者における足把持機能の比較. 理学療法科学, 2007, 22 : 341-344
- 9) 村田 伸, 大山美智江, 大田尾浩・他 : 地域在住高齢者の足把持力に関する研究-性差および年代別の比較-. 理学療法科学, 2007, 22:499-503
- 10) 木藤伸宏, 土井秀俊, 三輪 恵・他 : 高齢者の易転倒性を予測する因子の抽出と, その予防の為の訓練法の開発. 健康医科学研究助成論文集, 2000, 15 : 25-36
- 11) 村田 伸, 津田 彰, 稲谷ふみ枝・他 : 在宅障害高齢者の転倒に影響を及ぼす身体及び認知的要因. 理学療法学, 2005, 32 : 88-95
- 12) 村田 伸, 津田 彰 : 在宅障害高齢者の身体機能・認知機能と転倒発生要因に関する前向き研究. 理学療法学, 2006, 33 : 97-104
- 13) 村田 伸, 津田 彰 : 在宅障害後期高齢者に対する足把持力トレーニングの転倒予防効果. 健康支援, 2005, 7 : 11-18
- 14) 木藤伸宏, 土井秀俊, 三輪 恵・他 : 高齢者の転倒予防としての足趾トレーニングの効果. 理学療法科学, 2001, 28 : 313-319
- 15) 宇佐波政輝, 中山彰一, 高柳清美 : 足趾屈筋群の

- 筋力増強が粗大筋力や動的運動に及ぼす影響. 九州スポーツ学会誌, 1994, 6 : 81-85
- 16)北村隆子, 臼井キミカ : 地域サロンに参加する高齢者を対象とした転倒予防プログラム. 人間看護学研究, 2005, 2 : 71-76
- 17)加藤真由美, 小松佳江, 泉キヨ子・他 : 施設高齢者の転倒予防のための運動プログラム(全身版)の開発とその効果 : 日本看護研究学会雑誌, 2008, 31 : 47-54.
- 18)村田 伸, 忽那龍雄 : 在宅障害高齢者に対する転倒予防対策-足把持力トレーニング-. 日本在宅ケア学会誌, 2004, 7 : 67-74
- 19)村田 伸, 甲斐義浩, 田中真一・他 : 健常成人と高齢者における足把持機能の比較. 理学療法科学, 2007, 22 : 341-344
- 20)村田 伸 : 開眼片足立ち位での重心動揺と足部機能との関連-健常女性を対象とした検討. 理学療法科学, 2004, 19 : 245-249
- 21)村田 伸, 大山美智江, 大田尾浩・他 : 地域在住女性高齢者の開眼片足立ち保持時間と身体機能との関連. 理学療法科学, 2008, 23 : 79-83
- 22)山口光国, 入谷 誠, 大野範夫・他 : 片脚起立時での足趾屈筋群の役割について. 運動生理, 1989, 4 : 65-69
- 23)半田幸子, 山本良一, 吉本有希子・他 : 足趾把持筋力強化が立位・歩行に及ぼす影響. 日本私立医科大学理学療法学会誌, 2004, 22 : 77-80
- 24)相馬正之, 五十嵐健文, 工藤 渉・他 : 足趾把持力トレーニングが Functional Reach Test や最大歩幅, 歩行能力に与える影響について. ヘルスプロモーション理学療法研究, 2012, 2 : 59-63
- 25)藤高紘平, 藤竹俊輔, 来田晃幸 : 大学サッカー選手の足部・足関節損傷に対する足部アーチ保持筋力トレーニングの効果. 理学療法科学, 2012, 27 : 263-267
- 26)居村茂幸 : 筋骨格障害系理学療法学. 医歯薬出版株式会社, 東京, 2006, pp29-45
- 27)高倉義典 : 下腿と足疾患保存療法. 金原出版株式会社, 東京, 1997, pp42-50
- 28)Kelly LA, Kuitunen S, Racinais S, et al : Recruitment of the plantar intrinsic foot muscles with increasing postural demand. Clin Biomech, 2012, 27 : 46-51
- 29)昇 寛, 石川孝司, 松本泰章 : 足指・踵起立盤の考案と作製. 日本スポーツリハビリテーション学会誌, 2015, 4 : 35-37.
- 30)佐野徳雄, 中里愛未, 柳川大吾・他 : 足指把持筋力トレーニング時の短指屈筋と短母指屈筋の筋活動量. 日本スポーツリハビリテーション学会誌, 2017, 6 : 37-42
- 31)佐野徳雄, 昇 寛, 中山彰博・他 : 足指踵荷重での立位保持時間が足指把持筋力に与える影響. 理学療法科学, 2017, 32 : 377-380
- 32)市橋則明, 松原貴子, 神先秀人・他 : 運動療法学障害別アプローチの理論と実際 第2版. 文光堂, 東京, 2016 : p225
- 33)中道哲朗, 渡邊裕文 : 筋力低下に対するアプローチ. 関西理学, 2014, 14 : 11-15
- 34)望月 久, 峯島孝雄 : 重心動揺計を用いた姿勢安定度評価指標の信頼性および妥当性. 理学療法学, 2000, 27 : 199-203
- 35)鈴木康裕, 中田由夫, 加藤秀典・他 : 重心動揺計を用いた動的バランス能力と年齢の関係. 体力科学, 2015, 64 : 419-425
- 36)大淵修一, 小島基永, 柴喜 崇・他 : 地域在住高齢者を対象とした転倒刺激付きトレッドミルトレーニングのバランス機能改善効果-無作為化比較対照試験-. 日老医誌, 2004, 41 : 321-327
- 37)島田裕之, 加倉井周一 : 転倒により骨折した高齢者のバランス機能の特徴. 東北理学療法学, 2000, 12 : 13-18
- 38)島田裕之, 内山 靖 : 高齢者に対する3ヶ月間の異なる運動が静的・動的姿勢バランス機能に及ぼす影響. 理学療法学, 2001, 28 : 38-46
- 39)Duncan PW, Studenski S, Chandler J, et al : Functional Reach: Predictive validity in a sample of elderly male veterans. Journal of Gerontol, 1992, 47 : 93-98

- 40)辻野綾子, 田中則子:足趾圧迫力と前方リーチ動作時の足圧中心位置の関係. 理学療法科学, 2007, 22 : 245-248.
- 41)大淵修一,小島基永,柴喜 崇・他:地域在住高齢者を対象とした転倒刺激付きトレッドミルトレーニングのバランス機能改善効果-無作為化比較対照試験-. 日老医誌, 2004, 41 : 321-327