

地域在住高齢者が自宅で取り組める足部の形態改善と転倒予防を  
目指した運動介入  
—足趾把持筋力トレーニングによる足趾・扁平足の接地状態の改善と  
転倒予防効果の関連からの考察—

小橋 拓真<sup>1</sup> 正野 知基<sup>2</sup>

Exercise intervention that community-dwelling elderly individuals can  
perform at home to improve foot morphology and prevent falls  
—Discussion Based on The Relationship between Improvement of Toe and  
Flat Foot Grounding with Toe Flexor Muscle Strength Training and Fall  
Prevention Effects—

Takuma KOHASHI, Tomoki SHONO

要 旨

本研究は、足趾把持筋力トレーニングによって足趾・扁平足の接地状態の改善を図ることが、転倒予防に与える効果について検討することを目的とした。対象は、要介護認定非該当の健常な高齢者142名(平均年齢74.6±4.5歳)とした。対象者142名中、浮き趾である者80名を抽出し、これを浮き趾群、それ以外の者62名を接地群とした。さらに両群において無作為に運動群とコントロール群に振り分けた。運動群には足趾把持筋力トレーニングを3ヶ月間実施し、コントロール群は普段通りの生活を行った。浮き趾群と接地群の各運動群には、足趾の荷重量増加や足アーチ高率、Functional Reach Testの到達距離の有意な上昇が見られた。また、外周面積や短形面積ならびに総軌跡長の有意な減少があった。したがって、足趾把持筋力トレーニングによって足趾・扁平足の接地状態が改善され、足部に関連した下肢全体の関節アライメントが改善し、重心位置も調整されることから、安定した歩行が期待でき、転倒予防につながることを示唆された。

Abstract

This study aimed to investigate how improvement in floating toe and flat foot grounding state by means of toe flexor muscle strength training affects fall prevention. The subjects comprised 142 healthy elderly individuals (mean age: 74.6±4.5 years) who did not require long-term care. Out of the 142 subjects, 80 individuals, who exhibited floating toe, were identified. These subjects were placed in the floating toe group and the remaining 62 subjects were placed in the normal toe group. Subjects in both groups were also randomly assigned to an exercise group or control group. The exercise group underwent toe flexor muscle strength training for 3 months, while the control group subjects went about their lifestyles as usual. Significant increases were noted in increased pressure in each toe, foot arch ratio, and the reach in Functional Reach Test in the

2018年8月31日受付／2019年2月1日受理

1 九州保健福祉大学 大学院(通信制)連合社会福祉学研究所 博士(後期)課程

2 九州保健福祉大学

exercise groups in the floating toe and normal toe groups. Significant reductions were also noted in the environmental area, rectangle area and total length. Consequently, toe flexor muscle strength training improved touchdown by reforming conditions such as floating toe and flat foot, improved joint alignment of the leg as a whole in relation to the foot, and regulated the position of the center of gravity. Thus, a stable gait could be achieved, and it was suggested that this could help in fall prevention.

キーワード: 転倒予防, 浮き趾, 扁平足

Keywords: fall prevention, floating toe, flat foot

## I. 緒言

立位姿勢保持や歩行運動をする際に、床面と唯一接している身体部位は足底部である。この足底部において、姿勢制御に重要な役割をもっているものの1つに足趾がある(藤原ら, 1982; 馬場ら, 2000; 木藤ら, 2000; 加辺ら, 2002)。足趾は、床面を把持する機能があり(村田・忽那, 2002)、高齢者の動的姿勢制御や転倒との関連が報告されてきた(木藤ら, 2000; 小林ら, 1997)。短母趾屈筋, 長母趾屈筋, 中様筋, 短趾屈筋, 長趾屈筋の作用により起こる運動を、足趾把持力という(村田・忽那, 2004)。山口ら(1989)は、足趾把持力が高いほど、片脚立位時の前方重心動揺制御が小さいことを報告した。また金子ら(2009)は足趾把持力の改善に伴い、歩行時の足の運びが適正化されたと報告しており、足趾把持力は歩行の安定性に関わっていることが推測される。

近年、この足趾把持力が低いといわれる浮き趾者の動向について、小児(松田ら, 2009)や成人(恒屋・白井, 2006)、高齢者(岡村, 2014)を対象とした報告が散見されている。ここで、浮き趾の定義について、統一した見解はない(福山ら, 2009; 長谷川ら, 2013)が、長谷川ら(2013)は、静止立位時において左右足趾のいずれかが地面に接地していない状態と述べている。本研究もこれと同様にとらえる。浮き趾について、小児や成人では、屋外活動の有無や履き物の違いなど生活様式や生活習慣が背景にあると報告されている(原田, 2002; 内田ら, 2001; 矢作ら, 2004)。一方、高齢者では、股関節や膝関節の拘縮、脊柱の変形などにより、重心が後方へ移動し、足趾への荷重が低下することも浮き趾の原因であると報告されている(矢作ら, 2004; 平松ら, 2005)。このように浮き趾という接地不良の状態は、これまでの生活習慣や加齢

変化による足部の形態変化が関与している。

浮き趾により足趾把持力が低下すると、日常のあらゆる動作や立位姿勢保持などに不安定な状態をもたらす可能性があることが報告されている(恒屋・白井, 2006; 内田ら, 2002; 原田, 2002)。特に高齢者は、転倒との関連から、浮き趾に関する研究が行われており、足趾の形態異常が転倒に影響することや(Helfand, 2007)、足趾把持力の低下が転倒リスクを増大させることについて報告されており(木藤ら, 2001)、足趾接地状態の改善を行い、転倒予防を図ることは極めて意義深い。長谷川ら(2013)は、地域在住高齢者30名を対象に足趾接地状態の評価を実施した結果、足趾把持力や運動機能が低下している浮き趾者は、重心前方移動時に足趾を床面方向へ押圧する力が低下するために、支持基底面の狭小化等から Functional Reach Test(以下, FRT)到達距離や足底圧中心(Center of Foot Pressure: COFP)の前方移動距離が短縮することを報告している。その他、20歳代前半の成人を対象とした先行研究においても、足趾把持力の低下や重心前方移動能力の低下、運動の正確性を示す足趾運動効率の低下などの報告が散見される(福山ら, 2009; 福山, 2014; 長谷川ら, 2010; 辻野・田中, 2007; 加辺ら, 2002)。さらに半田ら(2004)は、足趾把持力は加齢とともに低下することも指摘しており、高齢者における立位姿勢保持や前傾への耐性が困難なことによる転倒危険も予測される。このように浮き趾は、高齢者にとって転倒予防に関わる因子として非常に注目されるべきものと考えられる。また、これまでの研究により、足趾把持力が低下している者は前傾への耐性が低下し、FRT到達距離やCOFPの前方移動距離が短縮されていることが報告されていることから、本研究での姿勢制御機能を、FRT到達距離や重心動揺計を用いてCOFPの前方移動距離を計

測し、各測定値の短縮や延長を確認することで評価する。

足趾把持力は、足部のアーチ高率と関連があり、アーチ高率が高いほど足趾把持力が強い傾向があると報告されている(村田ら, 2005)。足底部はアーチ構造によって体重を効率的に支えているが、年齢による腱の変性や体重などの負荷によって足部の骨格構成が正位に保てないために、内側縦アーチが低下する。特に高齢者にみられる「扁平足」は、運動不足による筋力低下や脂肪の蓄積によって内側縦アーチが崩れた状態とされ、後天的なものと言われている(鈴木, 1976)。この内側縦アーチが低下する原因には後脛骨筋、長腓骨筋、長母趾屈筋、足趾の屈筋群などの足内在筋の低下がある。内側縦アーチが低下すると下肢運動連鎖から膝関節に捻れが生じるなど動的マアライメントが生じたり、下腿三頭筋の筋力が前足部に十分に伝えられなかったり(山崎, 1996)、股関節伸展減少や体幹の回旋の減少が起きたりなどにより不安定な歩行状態を引き起こす。したがって、歩行を安定させるためにはアーチ挙上筋を中心とした活発な筋活動が必要である。そして、内側縦アーチの向上や足趾把持力強化のための転倒予防の介入として、足趾把持筋力トレーニングがある。足趾把持筋力トレーニングの介入により、静的立位保持での足圧中心動揺が有意に改善し(小林ら, 1997; 福山ら, 2002)、動的姿勢制御においても有意な向上が認められている(木藤ら, 2001)。

以上のように、足趾把持筋力トレーニングは、自主訓練として簡易に取り組み、転倒予防のためのトレーニングとして有効な運動とされているものの、地域在住高齢者が足趾把持筋力トレーニングを継続するための方法については今後の課題とされているが、具体的な取り組みはなされていない。地域在住高齢者が、継続的に運動に取り組むためには、運動や体力の向上を実感することや、運動教室などに通い仲間同士で労うなど情緒的なサポートや、運動を促してくれる人がいるなどのソーシャルサポートが良好な健康行動につながると広く言われている(重松ら, 2007; 高橋ら, 2008)。しかし、先行研究では、運動など身体活動量は自宅周辺の影響を及ぼすことが言われており(尼崎ら, 2014)、運動教室への通いやすさが、運動継続に関わっていることも考えられる。

喜多ら(2012)は目的地への行きやすさとして、地形の影響や手すりの有無、天候など環境的な事情に加え、加齢変化等による身体機能低下、移動に対する時間的余裕、運賃支払い能力など移動に対する個人属性を挙げており、高齢者特有のアクセシビリティの問題を挙げていた。また藤原ら(1996)も、60代で7.7%、70代で14%の者が手すりなしで階段を上ることができないと述べており、高齢化が進展する地域では、加齢変化による身体的機能低下に加えて、段差や急な傾斜のある環境や、列車やバスの便数減少など公共交通の利用可能性を制約する要因などが考えられる。さらに、このような運動教室などの通いを困難にするアクセシビリティの問題に加え、人が健康的な行動へ改善するために役立つ環境条件として、運動施設など身体活動促進のための物理的環境や、ソーシャルサポートを担う組織体の形成などの社会的環境があるが十分に整備されていないこともあり(荒尾, 2013)、高齢者の運動実践に地域差が生じているとも考えられている(李ら, 2013)。このように地域における施設環境によっても身体活動や運動の取り組みやすさの違いが生じてくる。また、仮に近隣に運動教室などの場があったとしても、運動のために一日の時間をどれだけ配分できるのかという視点でみることも、運動継続に関わる課題である。重松ら(2007)は、「運動していない者」、もしくは「ほとんど運動をしていない者」は運動に対する肯定的なピルーフが弱いため、運動する時間が無いと感じていると報告している。さらに運動をするにしても個人での実践を望んでいることからホームエクササイズプログラムを提供し、まずは一過性の運動効果に気づいてもらうことが大切であると述べている。そこで本研究では、自宅で取り組める足趾把持筋力トレーニングが、地域在住高齢者の足趾および扁平足の接地状態に及ぼす影響について検証し、地域における転倒予防策としての有効性を検討することを目的とした。

## II. 方法

### 1. 対象

地区担当民生委員の紹介により、各老人クラブ参加者から研究参加の承諾を得た地域在住高齢者142名(71.8±7.3歳、男性34名、女性108名)を対象とした。対象者の身体的特性を表1に示した。対象者142

名中、浮き趾群は80名、接地群は62名であった。浮き趾群80名の内、タオルギャザー体操を実施した運動群を40名、コントロール群を40名とした。また接地群62名の内、タオルギャザー体操を実施した運動群を31名、コントロール群を31名とした。対象者は要介護認定非該当であり、変形性膝関節症や腰痛症、パーキンソン病や心不全などの既往がなく、杖など体幹を支持する補助具を要せず、歩行が自立している者であった。対象者に対して、紙面および口頭によるインフォームドコンセントを行い、署名にて同意を得た。基本情報として、年齢、性別、身長、体重を聴取した。本研究は、九州保健福祉大学倫理委員会の承認(承認番号17-042)を得て実施した。

2. 測定項目

1) 足型で測定した項目

① 足型の測定方法

足型の測定については、フットプリント測定法を用いた。浮き趾がある者を浮き趾群、足趾がすべて接地している者を接地群とした。

② 扁平足の測定方法

扁平足の判定には、Hライン判定法を用いた(大塚ら, 2003; 新宅ら, 2000; 原田ら, 1997)。この判別法は、図1(大塚ら, 2003)で示すように、内足部接線と外足部接線の交点から、第二趾の先端部までの直線をHラインとし、土踏まずの窪みがHラインより内側にある場合を扁平足とするものである。

2) 足アーチ高率

足アーチ高率は、図2(山本, 2004)で示すように、舟状骨の隆起部から床面までの高さの舟状骨高を、足アーチ長で除して算出した。

3) Functional Reach Test(FRT)

FRTは、自然立位において左右の肩関節を90度挙上させ、肘関節および手関節、手掌を伸展させて、両側の第三指先端を開始点とし、30秒間ゆっくりと最大前方リーチまでの水平距離を測定した。動作中は自然立位時の前方における目線の高さを維持するよう注視を促した。測定は3回実施し、最大値を採用した。

表1. 対象者の身体的特性

	浮き趾群		接地群	
	運動群 : N=40 平均値 (標準偏差)	コントロール群 : N=40 平均値 (標準偏差)	運動群 : N=31 平均値 (標準偏差)	コントロール群 : N=31 平均値 (標準偏差)
年齢 (歳)	74.1 (4.9)	75.6 (3.0)	74.1 (6.6)	74.3 (2.5)
身長 (m)	1.63 (0.07)	1.60 (0.06)	1.63 (0.09)	1.64 (0.07)
体重 (kg)	66.4 (13.3)	55.7 (8.3)	67.6 (16.5)	65.5 (15.2)
BMI	24.8 (4.0)	21.9 (3.0)	25.2 (3.9)	24.0 (4.3)

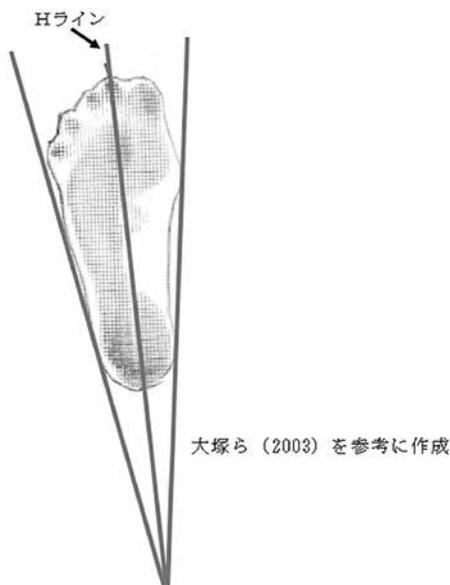


図1. フットプリントによる測定

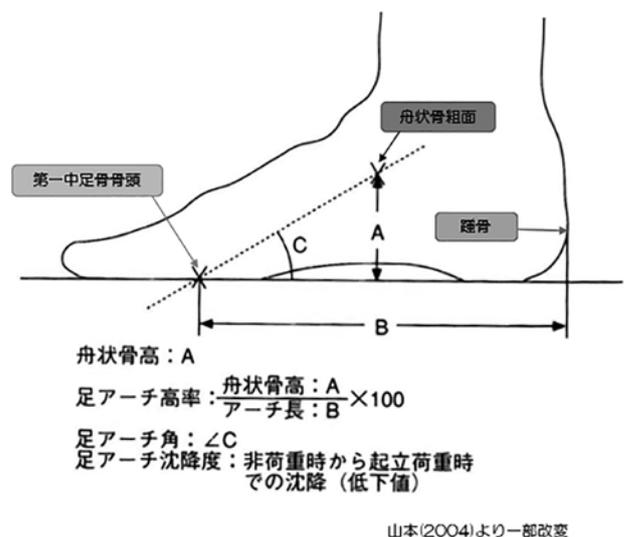


図2. 足アーチ高率

4)重心動揺計で測定した項目

①足底圧中心(Center of Foot Pressure:COFP)

COFPは、FRT測定時に重心動揺計(バランスコーダBW-6000MD, アニマ株式会社)を用いて計測した。身体動揺性を示す指標として総軌跡長, 外周面積, 短形面積を用いた。

②COFPの分類「到達型」と「止まり型」

COFPの分類については、長谷川ら(2013)の報告を参考に、第2~3中足骨頭のライン上において足趾まで到達する到達型および中足骨頭部で止まる止まり型に分類した(図3参照)。

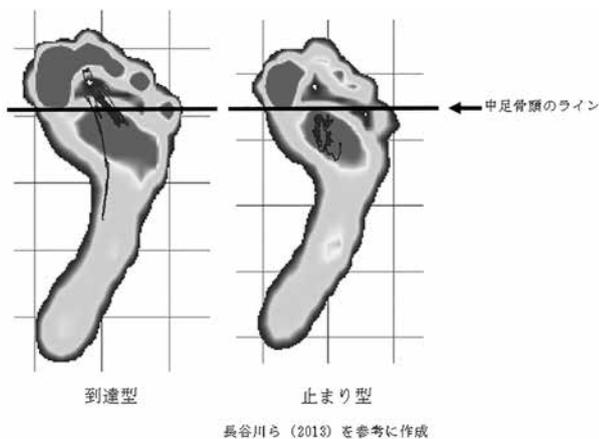


図3. COFPの到達位置の分類

③総軌跡長

総軌跡長(cm)はFRT測定時のCOFPの移動距離の総和を示すものである。

④外周面積

外周面積( $\text{cm}^2$ )は重心図の最外周の面積を示す。

⑤短形面積

短形面積( $\text{cm}^2$ )は重心の前後最大振幅値と左右の最大振幅値の積を示す。

⑥足趾荷重量

足趾荷重量(kg)の抽出範囲は、長谷川ら(2013)の報告を参考に、第1~2中足骨以遠の足趾の周辺とした(図4参照)。長谷川ら(2013)は、FRT測定時の足底圧データから足趾部の荷重量への影響について検討したところ、完全接地群に比べて浮き趾群はCOFPの距離と足趾荷重量がともに小さく、接地不良が姿勢制御能力の低下を引き起こす可能性を報告している。したがって、本研究においても、介入前後での足趾荷重量の変化を、姿勢制御能の指標の1つとして計測した。

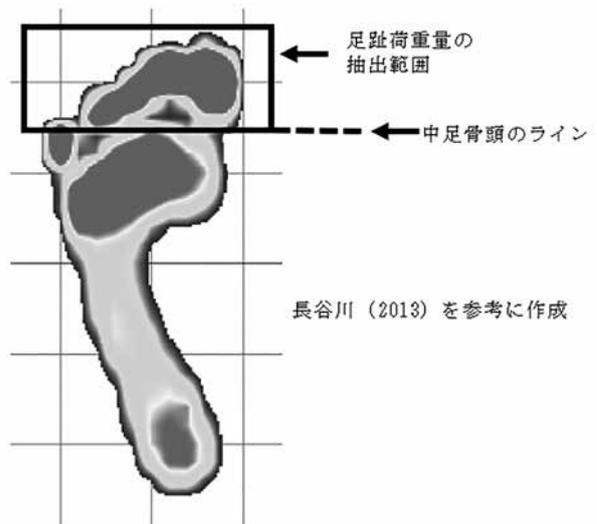


図4. 足趾荷重量の抽出範囲

3. 足趾把持筋カトレーニング

足趾把持筋カトレーニングには、竹井ら(2011)の手法を参考に、無負荷でのタオルギャザー体操を実施した。椅子坐位にて足趾でタオルを1mたぐり寄せる運動を左右3回ずつ行うタオルギャザー体操を用い、浮き趾群と接地群それぞれの運動群に対して実施した。タオルギャザー体操は週3回のペースで実施した。以上のトレーニングは、普段の生活に運動の機会を新たに設定するのではなく、食事やテレビ鑑賞、読書など、椅子坐位での日常的な活動時に実施した(図5参照)。運動強度や頻度については上記の内容を上限とし、参加者が身体的疲労等をもて任意で調整した。浮き趾群と接地群それぞれのコントロール群は普段通りの生活を行った。



図5. 自宅で新聞を読みながらタオルギャザー体操をしている様子

1)3ヶ月間の足趾把持筋力トレーニングを進める上での手順

本研究では、対象者を浮き趾群と接地群に分け、さらにそれぞれ運動群とコントロール群に分類して前記1)~10)測定項目を、初回と介入3ヶ月後の2回測定した。

4. 統計処理

各測定項目を足趾把持筋力のトレーニングによる運動介入前と運動実施3ヶ月後に測定した。浮き趾群および接地群それぞれの運動実施群とコントロール群の介入前後の足アーチ高率、FRT、総軌跡長、外周面積、短形面積、足趾荷重量の値を表2に示した。浮き趾群の運動群とコントロール群の間(2要因)と接地群ともに運動群とコントロール群の間(2要因)におい

て、介入前後の足アーチ高率、FRT、総軌跡長、外周面積、短形面積、足趾荷重量を比較するため、二元配置反復測定分散分析を行い、さらに Bonferroni法による多重比較を行った。有意水準は5%未満とした。また、介入前後の扁平足や、到達型あるいは止まり型の分類については、 $\chi^2$ 検定(マクネマー検定)を行った。有意水準は5%未満とした。

Ⅲ. 結果

浮き趾群の介入前後の足アーチ高率、FRT、総軌跡長、外周面積、短形面積、足趾荷重量の分散分析の結果を表3に示した。すべての項目において有意な交互作用が認められた。多重比較検定の結果、介入前後の比較では介入前には、すべての項目において有意な

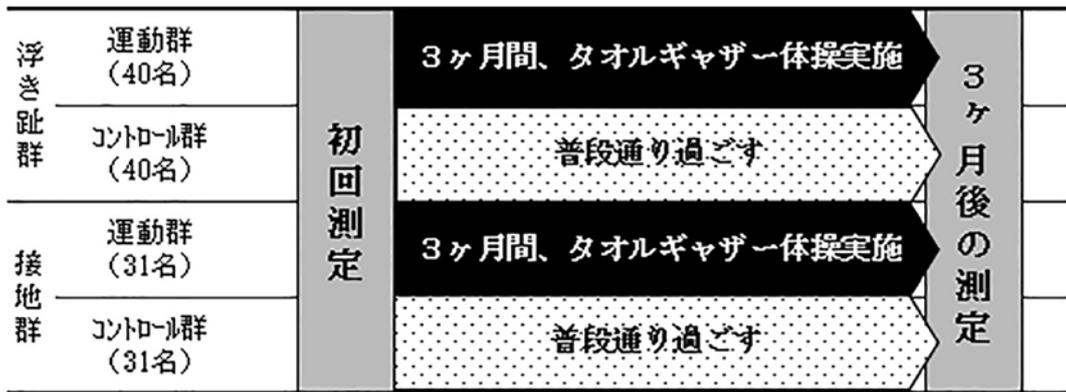


図6. 浮き趾群の運動群とコントロール群, 接地群の運動群とコントロール群の分類と測定のタイミングについて

表2. 浮き趾群および接地群それぞれの運動実施群とコントロール群の介入前後の各測定項目の値

	浮き趾群		接地群	
	運動群：N=40 平均値 (標準偏差)	コントロール群：N=40 平均値 (標準偏差)	運動群：N=31 平均値 (標準偏差)	コントロール群：N=31 平均値 (標準偏差)
介入前				
右足アーチ高率	21.5 (1.87)	21.9 (0.77)	23.3 (1.13)	23.3 (0.89)
左足アーチ高率	21.6 (1.85)	22.0 (0.75)	23.2 (1.35)	23.3 (1.12)
FRT (cm)	18.9 (3.69)	17.2 (1.90)	23.2 (4.20)	21.3 (2.33)
総軌跡長 (cm)	82.9 (4.56)	88.4 (5.50)	75.2 (5.07)	78.3 (8.22)
外周面積 (cm <sup>2</sup> )	13.6 (1.44)	13.5 (1.29)	12.0 (1.26)	12.1 (1.28)
短形面積 (cm <sup>2</sup> )	17.5 (1.10)	17.8 (0.89)	15.6 (0.91)	15.8 (0.93)
足趾荷重量 (kg)	1.92 (0.19)	1.89 (0.32)	3.13 (0.31)	2.83 (0.27)
介入後				
右足アーチ高率	22.2 (1.61)	21.6 (0.86)	24.0 (0.88)	23.3 (0.91)
左足アーチ高率	22.3 (1.74)	21.8 (0.84)	23.9 (1.03)	23.2 (1.17)
FRT (cm)	20.0 (4.20)	17.1 (2.08)	24.9 (3.89)	21.0 (2.18)
総軌跡長 (cm)	81.1 (4.43)	88.6 (5.55)	73.6 (5.06)	78.2 (8.32)
外周面積 (cm <sup>2</sup> )	12.1 (1.35)	13.5 (1.35)	10.8 (1.28)	12.4 (1.26)
短形面積 (cm <sup>2</sup> )	16.4 (1.11)	17.8 (1.05)	14.6 (0.95)	15.9 (0.95)
足趾荷重量 (kg)	2.04 (0.22)	1.89 (0.34)	3.25 (0.30)	2.77 (0.35)

差が認められなかったが、介入後では、すべての項目において運動群がコントロール群よりも有意に高い値を示した。一方、運動の有無に関しては、運動群においてのみ介入後が介入前よりも有意に高い値を示した。これらの結果から、浮き趾群においては、タオルギャザー体操を行った運動群においてのみ、すべての測定項目に明らかな変化が見られた。

表4に接地群における介入前後の分散分析の結果を示した。分析の結果、浮き趾群と同様にすべての項目において有意な交互作用が認められた。多重比較検定の結果についても、浮き趾群と同様に介入後では、すべての項目において運動群がコントロール群よりも有意に高い値を示し、運動群においてのみ介入後が介入前よりも有意に高い値を示した。これらの結果から、接地群においても浮き趾群と同様に、タオルギャザー体操を行った運動群すべての測定項目に明らかな変化が見られた。

表5に、浮き趾群および接地群それぞれの運動群とコントロール群の介入前後の扁平足の割合についての分析結果を示した。接地群の運動群においては、運動介入前と比べて扁平足は25.8%から6.5%と19.3%減少し、有意な変化が認められた( $\chi^2=4.167$ ,

$df=1, p<0.05$ )。しかし、浮き趾群の運動群( $\chi^2=0.800, df=1, ns$ )とコントロール群( $\chi^2=0.000, df=1, ns$ )、接地群のコントロール群( $\chi^2=0.000, df=1, ns$ )では運動介入前後の扁平足の割合について有意差は認められなかった。

浮き趾群および接地群それぞれの運動群とコントロール群の介入前後の到達型と止まり型の割合についての分析結果を表6に示した。接地群の運動群においては、到達型は48.4%から87.1%と38.7%増加し、止まり型は51.6%から12.9%と38.7%減少しており、分析の結果、有意な変化が認められた( $\chi^2=10.083, df=1, p<0.05$ )。一方、扁平足と同様に浮き趾群の運動群( $\chi^2=0.800, df=1, ns$ )とコントロール群( $\chi^2=0.000, df=1, ns$ )、接地群のコントロール群( $\chi^2=0.000, df=1, ns$ )では運動介入前後の到達型と止まり型の割合について有意な差は認められなかった。

以上の結果、接地群の運動群においてのみ扁平足と止まり型は減少し、到達型は増加していることから、タオルギャザー体操によって足型が変化したことが推測される。

表3. 浮き趾群の二元配置反復測定分散分析結果

測定項目	要因	分散分析						多重比較検定	
		SS	df	MS	F	P	偽 $\eta^2$		
右足アーチ高率	介入前後	19.182	1	19.182	46.149	0.00	**	0.11	介入前: ns, 介入後: 運動群>コントロール群 運動群: 介入後>介入前, コントロール群: ns
	運動有無	2.256	1	2.256	5.428	0.02	*	0.20	
	介入前後×運動有無	8.649	1	8.649	41.616	0.00	**	0.35	
	誤差	16.211	78	0.208					
左足アーチ高率	介入前後	17.689	1	17.689	45.855	0.00	**	0.11	介入前: ns, 介入後: 運動群>コントロール群 運動群: 介入後>介入前, コントロール群: ns
	運動有無	2.355	1	2.355	6.097	0.02	*	0.24	
	介入前後×運動有無	8.236	1	8.236	42.699	0.00	**	0.35	
	誤差	15.044	78	0.193					
FRT (cm)	介入前後	46.856	1	46.856	31.284	0.00	**	0.14	介入前: ns, 介入後: 運動群>コントロール群 運動群: 介入後>介入前, コントロール群: ns
	運動有無	209.746	1	209.746	11.051	0.01	*	0.12	
	介入前後×運動有無	13.924	1	13.924	18.673	0.00	**	0.19	
	誤差	58.162	78	0.746					
総軌跡長 (cm)	介入前後	122.920	1	122.920	86.080	0.00	**	0.50	介入前: ns, 介入後: 運動群<コントロール群 運動群: 介入後<介入前, コントロール群: ns
	運動有無	1682.079	1	1682.079	33.344	0.00	**	0.30	
	介入前後×運動有無	36.691	1	36.691	111.089	0.00	**	0.59	
	誤差	25.762	78	0.330					
外周面積 (cm <sup>2</sup> )	介入前後	92.324	1	92.324	34.714	0.00	**	0.72	介入前: ns, 介入後: 運動群<コントロール群 運動群: 介入後<介入前, コントロール群: ns
	運動有無	14.726	1	14.726	4.114	0.046	*	0.05	
	介入前後×運動有無	24.539	1	24.539	231.087	0.00	**	0.75	
	誤差	8.283	78	0.106					
短形面積 (cm <sup>2</sup> )	介入前後	42.621	1	42.621	16.200	0.00	**	0.85	介入前: ns, 介入後: 運動群<コントロール群 運動群: 介入後<介入前, コントロール群: ns
	運動有無	24.445	1	24.445	11.424	0.00	**	0.13	
	介入前後×運動有無	9.900	1	9.900	379.181	0.00	**	0.83	
	誤差	2.037	78	0.026					
足趾荷重量 (kg)	介入前後	0.625	1	0.625	61.397	0.00	**	0.20	介入前: ns, 介入後: 運動群>コントロール群 運動群: 介入後>介入前, コントロール群: ns
	運動有無	0.144	1	0.144	20.099	0.00	**	0.20	
	介入前後×運動有無	0.169	1	0.169	33.204	0.03	*	0.12	
	誤差	0.566	78	0.007					

\*\*p<0.01, \*p<0.05

表4. 接地群の二元配置反復測定分散分析結果

測定項目	要因	分散分析						多重比較検定	
		SS	df	MS	F	P	偏 $\eta^2$		
右足アーチ高率	介入前後	14.498	1	14.498	98.957	0.00	**	0.42	介入前: ns, 介入後: 運動群>コントロール群 運動群: 介入後>介入前, コントロール群: ns
	運動有無	3.130	1	3.130	42.682	0.00	**	0.20	
	介入前後×運動有無	4.156	1	4.156	56.671	0.00	**	0.49	
	誤差	4.400	60	0.730					
左足アーチ高率	介入前後	18.272	1	18.272	66.493	0.00	**	0.30	介入前: ns, 介入後: 運動群>コントロール群 運動群: 介入後>介入前, コントロール群: ns
	運動有無	3.456	1	3.456	25.150	0.00	**	0.30	
	介入前後×運動有無	5.836	1	5.836	42.472	0.00	**	0.41	
	誤差	8.244	60	0.137					
FRT (cm)	介入前後	92.676	1	92.676	146.119	0.00	**	0.47	介入前: ns, 介入後: 運動群>コントロール群 運動群: 介入後>介入前, コントロール群: ns
	運動有無	257.818	1	257.818	12.153	0.00	**	0.17	
	介入前後×運動有無	30.800	1	30.800	97.124	0.00	**	0.62	
	誤差	19.027	60	0.317					
総軌跡長 (cm)	介入前後	82.657	1	82.657	82.336	0.00	**	0.42	介入前: ns, 介入後: 運動群<コントロール群 運動群: 介入後<介入前, コントロール群: ns
	運動有無	1682.079	1	1682.079	33.344	0.00	**	0.30	
	介入前後×運動有無	19.936	1	19.936	39.717	0.00	**	0.40	
	誤差	30.117	60	0.502					
外周面積 (cm <sup>2</sup> )	介入前後	44.784	1	44.784	39.569	0.00	**	0.52	介入前: ns, 介入後: 運動群<コントロール群 運動群: 介入後<介入前, コントロール群: ns
	運動有無	24.841	1	24.841	7.944	0.007	**	0.12	
	介入前後×運動有無	17.875	1	17.875	191.244	0.00	**	0.76	
	誤差	5.608	60	0.093					
矩形面積 (cm <sup>2</sup> )	介入前後	31.401	1	31.401	95.833	0.00	**	0.88	介入前: ns, 介入後: 運動群<コントロール群 運動群: 介入後<介入前, コントロール群: ns
	運動有無	18.853	1	18.853	10.924	0.00	**	0.15	
	介入前後×運動有無	9.317	1	9.317	650.291	0.00	**	0.92	
	誤差	0.880	60	0.014					
足趾荷重量 (kg)	介入前後	0.491	1	0.491	29.823	0.00	**	0.10	介入前: ns, 介入後: 運動群>コントロール群 運動群: 介入後>介入前, コントロール群: ns
	運動有無	4.723	1	4.723	25.470	0.00	**	0.30	
	介入前後×運動有無	0.290	1	0.290	35.294	0.00	**	0.37	
	誤差	0.494	60	0.008					

\*\*p&lt;0.01, \*p&lt;0.05

表5. 介入前後の扁平足の割合

	介入前	介入後		$\chi^2$ (df=1)	p
		扁平足	扁平足でない		
浮き趾群 運動群	扁平足	26	4	0.800	0.375
	扁平足でない	1	9		
n=40					
浮き趾群 コントロール群	扁平足	32	1	0.000	1.000
	扁平足でない	0	7		
n=40					
接地群 運動群	扁平足	2	6	4.167*	0.031
	扁平足でない	0	23		
n=31					
接地群 コントロール群	扁平足	10	0	0.000	1.000
	扁平足でない	1	20		
n=31					

\*: p&lt;.05

表6. 介入前後の到達型・止まり型の割合

	介入前	介入後		$\chi^2$ (df=1)	p
		到達型	止まり型		
浮き趾群	到達型	0	1	0.800	0.375
運動群	止まり型	4	35		
n=40					
浮き趾群	到達型	1	0	0.000	1.000
コントロール群	止まり型	1	38		
n=40					
接地群	到達型	15	0	10.083*	0.000
運動群	止まり型	12	4		
n=31					
接地群	到達型	19	1	0.000	1.000
コントロール群	止まり型	0	11		
n=31					

\* : p < .05

#### IV. 考察

1. 地域在住高齢者が自宅での椅子坐位の活動中に、タオルギャザー体操を取り入れ3ヶ月経過した後の足部形態の変化と転倒予防について

本研究の結果、3ヶ月の足趾把持筋力トレーニングを椅子坐位の活動中に取り入れた介入をしたのち、浮き趾群と接地群の各運動群において総軌跡長や外周面積、短形面積の有意な減少、足アーチ高率やFRT距離、足趾の荷重量の有意な向上が認められた。

先行研究では、足趾把持筋力トレーニングによって、総軌跡長や外周面積、短形面積の減少が認められたことが報告されており(木藤ら, 2001; 井原ら, 1997), 本研究でも同様の結果を得た。これは、前方リーチ時に、足趾把持力の協調性が改善したことで、重心動揺制御能が向上したのではないかと推察される。そして、藤原ら(1982)は足関節の背屈力と底屈力、母趾屈筋力と前方リーチ時のCOFPとの関係について、COFPの前方移動では母趾屈筋力が強く関与すると述べている。また、辻野・田中(2007)は、第2～5趾の圧迫力とCOFPの前方移動に有意な正の相関関係があったと報告している。本研究では、足趾荷重量は第1～2中足骨以遠の足趾の周辺としており、母趾と第2～5趾の荷重量に相当する値を示している。

接地群の運動群においてのみ、COFPが第2～3中足骨頭のラインまで到達した「到達型」の向上と足趾荷重量の向上が見られるため、先行研究と同様に、母趾と第2～5趾の圧迫力の向上とCOFPの前方移動がされたと推察される。前方リーチ時のような前方動的姿勢制御において、母趾は重心前方に支持する作用があり、第2～5趾は前方に偏移した重心を中心に戻す作用があると報告されており(加辺ら, 2002), 足趾荷重量が向上してCOFPが前方へ延長した者は、重心移動のスムーズな移動を補助する機能があると推察される。また、足趾把持力と前方リーチ時の動的姿勢制御について、健常成人を対象とした先行研究では、辻野・田中(2007)は、前方リーチ保持時には足趾の底屈方向への力が前方へのCOFP位置と正の相関があると報告しており、相馬ら(2012)も足趾把持トレーニングにより、FRTの有意な向上を報告している。本研究では、運動群を、浮き趾群と接地群に分類し、足趾把持トレーニングによって、足趾圧迫力やCOFPの前方への移動、到達型について浮き趾の有無による差異はないかについても検討した。結果として、浮き趾群の運動群では、到達型の有意な向上は認められなかった。高齢者の浮き趾は、股関節や膝関節の拘縮、脊柱の変形などにより、重心が後方へ移動し、足趾への荷重が低下することも考えられる(矢作

ら, 2004; 平松ら, 2005). したがって, 足趾把持力が向上したとしても, 高齢者は股関節や膝関節の変形などの影響によりCOFPの前方移動距離の延長に必ずしもつながるものではないとも考えられる.

また, 足アーチ高率は, 浮き趾群と接地群ともに運動群において有意な向上が認められた. これらの変化が生じた理由として, 石坂ら(2007)が述べているように, 足趾把持筋力トレーニングによって足趾屈筋群や後脛骨筋, 足底筋膜の筋活動が増大することや, それらの筋運動の連動性により舟状骨が頭側へ引き上げられたことが考えられる. 足底筋膜は足趾から踵骨まで付着しており, 収縮すると舟状骨周囲が引き上げられて内側縦アーチが高まると言われており(石坂ら, 2007), 接地群において扁平足の件数の有意な減少が認められたと考えられる. 浮き趾群の運動群に関しては, 扁平足の有意な減少は認められなかった. 接地群に比べて浮き趾群は, もともとの足趾把持力の違いにより, 3ヶ月間の足趾把持筋力トレーニングによって, 扁平足の減少をみることができなかった可能性も考えられる. あるいは, 本研究の足趾把持筋力トレーニングが, 運動のための会場に赴いたり, スケジュールを組んで時間制約が生じたりすることなく, 高齢者個人の普段の過ごし, 椅子坐位の活動の機会があった際に取り組むという性質上, 足趾把持力を向上するための十分な筋肥大を生じる負荷量ではなかったことや, 実施回数が十分ではないことも考えられる. また, 浮き趾群の運動群では外周面積・短形面積, 接地群の運動群では短形面積のみ効果量が中程度であり, その他の測定項目の効果量は小さい値であり, 効果としてはあっても十分な介入とは言い切れない.

しかし, 各個人の過ごし方を優先しながら, 無理なく足趾把持筋力トレーニングを日常生活に取り組みるように, 日常生活活動に付帯的な取り組みとして実践するだけでも, 足趾荷重量や足アーチ高率が改善されたことや, 前方重心動揺時のバランス能力の向上が推察されたことは, 転倒予防の観点から意義があると考えられる. 今後は, さらなる継続的な取り組みを行い, 足趾・扁平足の接地状態の改善について検証し, 転倒予防のための方策を検討していく.

2. 地域在住高齢者が自宅での椅子坐位の活動中に, タオルギャザー体操を取り入れ3ヶ月経過した後の転倒リスクについて

浮き趾群と接地群ともに運動群では, 足趾部の荷重量は3ヶ月間の運動介入後に向上し, COFPの前方移動距離も延長した. また両群の運動群において, 外周面積や短形面積の減少も見られた. トレーニング介入による足趾把持力の向上により, 動的バランス能力の向上が見られたと考えられる. また浮き趾群と接地群ともに運動群では, 足アーチ高率の向上が見られている. さらに, 接地群の運動群においては, 扁平足の有意な減少も見られた.

石坂ら(2007)は, 体重計に足趾を乗せて圧迫する「足趾圧迫練習」を行い, 内側縦アーチに及ぼす影響を調べた. 結果, 足趾の圧迫力が強化され, 舟状骨高の増加を確認している. これは, 内側縦アーチを高める効果を示しており, 足趾屈筋群や後脛骨筋, 足底筋膜の筋肉の活動が賦活化することで舟状骨が引き上げられたことが考えられる. 本研究においても, 足趾荷重量の増加や足アーチ効率の向上を確認しており同様の効果があると考えられ, 足趾からの運動の連動性から内側縦アーチの改善, そして足趾・扁平足の接地状態の改善が見られたと推察される. 足趾の接地状態が改善されると, 重心が前方へ移動する際に, 支持基底面を形成することに加え, 体性感覚からのフィードバック制御を通じて重心の位置を調整する機能があると言われている(加辺, 2003). フィードバック機構による姿勢制御は, 代償的姿勢制御と呼ばれ, 外乱刺激を受けた際に, 視覚・前庭感覚・体性感覚などの感覚系からの信号が中枢神経へ伝達されて姿勢調整する(梶浦ら, 2010). 本研究では, 足趾の接地状態の改善により, 床面からの刺激量が増え, 足趾の体性感覚が床面から受けた情報は, 中枢神経にて整理, 統合され運動企画へ移行し, 床面を蹴り出す歩行運動や姿勢の安定性を高め, 転倒予防につながると推察される.

このように足趾把持筋力トレーニングにより, 前動的姿勢制御や支持基底面の形成, 体性感覚からのバランス調整能力の改善による転倒予防の効果が期待されるが, 足部の姿勢制御のための一端を担っていることに過ぎない. なぜならば, COFPの移動を制御するには足趾把持力を含めた足部周囲の筋活動が必要であるためである. 山口ら(2005)は, 床反力計と筋電図を用い, COFP変化に伴う足部周囲筋の筋電図積分値について報告している. その中で, COFPが

後足部に移動した際に、後方へ転倒しないために、足関節の背屈筋群や前頸骨筋の筋活動が活動しているのではないかと報告している。さらに山口ら(2005)は、COFPが前足部の外側に移動したときは、足部外がえし方向へモーメントが働いているため後頸骨筋による拮抗する力が必要になり、この後頸骨筋の働きによって小趾側の荷重を安定させていると述べている。したがって、COFPの移動に伴い、足趾の機能も含めた足部全体の筋活動が作用して姿勢制御を行っており、足趾把持筋力トレーニングによることだけで、転倒予防の課題を達成しうるものではない。また、高齢者の転倒の危険因子には感覚系、視覚系、筋骨系、高次神経機能系の加齢変化と脳卒中や神経疾患等があり(折茂, 1999)、このような高齢者の身体的な条件も含め、より公益性ある転倒予防策の検討も必要と考えられる。

また、本研究での測定結果において、有意差がみられても効果量が小さいため、足趾把持筋力トレーニングによる介入効果について、6ヶ月あるいは1年などの長期間の継続的な介入も視野に入れ、今後のさらなる検証が必要である。

## V. 本研究の限界と課題

本研究の結果から、足趾把持筋力トレーニングにより足趾・扁平足の接地状態が改善され、前方動的姿勢制御や支持基底面の形成、足趾の体性感覚を介したバランス調整能力の改善が期待できる。しかし、測定結果の効果量が小さいために、今後、継続的な調査と検証を行っていく。

本研究の対象者は、健康づくり教室の参加者など比較的健康づくりに関心の高い集団へのアプローチであった。運動に対して無関心である地域在住高齢者へのアプローチは今後の課題である。また、健康づくり教室の参加者の中には、仲間同士の呼びかけ合いにより参加した準備期に相当する者もいた。運動に対する関心の程度においても階層に分けた介入方法も検討し、今後検証していく必要がある。

また、路面の凍結や雪道などから出歩く機会が少なくなる降雪時期でも、本研究の運動群が足趾把持力や内側縦アーチの改善した状態を維持して、歩きにくい路面状況でも転倒件数の増加はないかについても追跡する必要がある。

## VI. まとめ

本研究は、参加者の普段通りの過ごし方に、足趾把持筋力トレーニングを付带的に取り込むことで、継続的な転倒予防のアプローチのあり方を検証することを目的とした。その結果、足趾・扁平足の接地状態の改善、前方動的姿勢制御や支持基底面の形成、足趾の体性感覚を介したバランス機能の改善がみられ、転倒予防につながる効果が期待できた。しかし、得られた測定結果の効果量は小さく、より継続的な介入による効果の検証が必要と考えられた。また、本研究の取り組みを、無関心期にある高齢者に対して実施することで、運動動機のきっかけとなるかについても検証することや、出歩く機会が少なくなる降雪時期においても、転倒予防の効果が期待できるかについても検証していく必要がある。

## VII. 謝辞

本研究の実施に際して御協力を頂きました、札幌市の保健師である鍛冶紀美子先生、民生委員や町内会の皆様をはじめ、多くの高齢者の皆様に心よりお礼を申し上げます。

## VIII. 引用文献

- 青木宏樹・出村慎一・松田繁樹(2009)「青年男女の浮き趾と足裏形態の性差、左右差および体格との関係」『教育医学』54, 206-212.
- 尼崎光洋・煙山千尋・駒木伸比古(2014)「運動実施環境および居住地域環境に対する認知的評価が身体活動量に与える影響-愛知県豊橋市を対象として-」『地域政策ジャーナル』4(1), 81-97.
- 荒尾孝(2013)身体活動促進に関する集団戦略的研究. 日健教誌, 21(2), 154-164.
- 馬場八千代・有次智子・田口直彦(2000)「足趾・足底把握能と姿勢制御との関連」『理学療法学』27(2), 156.
- 半田幸子・堀内邦雄・青木和夫(2004)「足趾把握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』40(3), 139-147.
- 原田碩三・斎藤とみ子(1997)『足からの健康づくり』中央法規出版.
- 原田碩三(2002)幼児の1980年と2000年の足について. 靴の医学, 15, 14-18.

- 長谷川正哉・島谷康司・金井秀作・ほか(2010)「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』25(3), 437-441.
- 長谷川正哉・金井秀作・島谷康司・ほか(2013)「高齢者にみられる浮き趾と足趾運動機能および姿勢制御能力について」『理学療法の臨床と研究』22, 15-19.
- 橋本雅至・中江徳彦(2001)「足部からみた身体運動の制御」『理学療法科学』16(3), 123-128.
- Helfand A.E. (2007) Foot impairment: an etiologic factor in falls in the aged 1966, Journal of American Podiatric Medical Association, 97(4), 304-309.
- 平松知子・泉キヨ子・加藤真由美・ほか(2005)「転倒予防に関する地域高齢者の足部の実態-足趾の接地状態と足底, 姿勢, バランス, 筋力および転倒との関係-」『Journal of Japan Academy of Gerontological Nursing』9(2), 116-123.
- 藤原勝夫・池上晴夫・岡田守彦・ほか(1982)「立位姿勢の安定性における年齢および下肢筋力の関与」『人類誌』90(4), 385-400.
- 藤原勝夫・碓井外幸・立野勝彦編(1996)『身体機能の老化と運動訓練-リハビリテーションから健康増進まで-』, 日本出版サービス.
- 福山勝彦(2014)「フォースプレートを用いた浮き趾例における歩行の検討」『理学療法科学』29(4), 639-644.
- 福山勝彦・小山内正博・丸山仁司(2009)「成人における足趾接地の実態と浮き趾例の足趾機能」『理学療法科学』24(5), 683-687.
- 福山勝彦, 小山内正博, 二瓶隆一(2002)「扁平足例の重心移動能力」『理学療法科学』29, 282.
- Hwang, S., Agada, P., Kiemel, T. and Jeka, John J. (2014) Dynamic Reweighting of Three Modalities for Sensor Fusion, PLOS ONE, 9(1), 1-8.
- 井原秀俊・三輪恵・石橋敏郎・ほか(1997)「足趾訓練の持続効果-訓練中止3ヶ月後の検討-」『整形外科と災害外科』46(2), 393-397.
- 石坂正大・大好崇史・秋山純和(2007)「足趾圧迫練習が内側縦アーチに及ぼす影響」『理学療法科学』22(1), 139-143.
- 金子諒・藤澤真平・佐々木誠(2009)「足趾把持筋力トレーニングが最大速度歩行時の床反力に及ぼす影響」『理学療法科学』24(3), 411-416.
- Kapandji IA(1998) Physiologie articulaire; Schemas commentes de mecanique humaine (=2006, 萩島秀男監訳『カパンディの関節生理学II』医師薬出版.)
- 加辺憲人・黒澤和生・西田裕介・ほか(2002)「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』17(3), 199-204.
- 加辺憲人(2003)「足趾の機能」『理学療法科学』18, 41-48.
- 喜多秀行・小野祐資・岸野啓一(2012)「公共交通利用における身体的機能を考慮したアクセシビリティ指標の構築」『土木学会論文集D3』68(5), I\_983-I\_990.
- 木藤伸宏・井原秀俊・三輪恵・ほか(2000)「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」『健康医学研究助成論文集』15, 25-36.
- 木藤伸宏・井原秀俊・三輪恵・ほか(2001)「高齢者の転倒予防としての足指トレーニング効果」『理学療法科学』28(7), 313-319.
- 梶浦一郎・紀伊克昌・鈴木恒彦編(2010)『脳卒中の治療・実践神経リハビリテーション』市村出版.
- 健康・体力づくり事業財団(1997)『平成8年度健康づくりに関する意識調査報告書』(財)健康・体力づくり事業財団.
- 小林隆司・細田昌孝・峯松 亮・ほか(1997)「高齢者の足趾把握訓練が静的重心動揺に及ぼす影響」『日災医学会誌』47(10), 633-636.
- 松田繁樹・出村慎一・宮口和義(2009)「幼児の浮き趾の性差, 年齢差, 左右差および体格との関係」『教育医学』54, 198-205.
- 村田伸・忽那龍雄(2002)「足把持力測定の試み-測定器の作成と測定値の再現性の検討-」『理学療法科学』17, 243-247.
- 村田伸・忽那龍雄(2004)「在宅障害高齢者に対する転倒予防対策-足趾把持力トレーニング」『日本在宅ケア学会誌』7(2), 67-74.
- 村田伸・熊谷秋三・津田彰(2005)「足部柔軟性の再現性と妥当性に関する研究: 健常成人と障害高齢者における検討」『健康科学』27, 49-55.
- 岡浩一郎(2000)「行動変容のトランスセオレティカルモデルに基づく運動アドヒレンス研究の動向」『体育学研究』45, 543-561.

- 岡村絹代(2014)「運動習慣のある高齢者の足の形態とフットケアの現状」『愛媛県立医療技術大学紀要』11, 15-22.
- 大貫信子・鷲田孝保・成田麻美・ほか(2005)「幼児の浮き指の特徴」『作業療法ジャーナル』39, 261-268.
- 大塚礼・八谷寛・三浦弥生・ほか(2003)「地域在住高齢者における扁平足と足の自覚症状, および肥満との関連」『日本公衛誌』50(10), 988-998.
- 折茂肇編(1999)『新老年学』東京大学出版会.
- 李相侖・朴眩泰・新開省二(2013)「高齢者の社会活動および社会的ネットワークにおける地域差の検討: 健康度自己評価との関連をふまえて」『身体教育医学研究』14(1), 1-8.
- Saelens, W.L., Handy, S.L. (2008) Built environment correlates of walking: a review, Med.Sci.Sports Exerc., 40(7suppl), s550-556.
- Schepens B. and Drew T. (2004) Independent and convergent signals from the pontomedullary reticular formation contribute to the control of posture and movement during reaching in the cat, J Neurophysiol, 92(4), 2217-2238.
- 重松良祐・中垣内真樹・岩井浩一・ほか(2007)「運動実践の頻度別にみた高齢者の特徴と運動継続に向けた課題」『体育学研究』52, 173-186.
- 新宅幸憲・白井永男・野崎泰彰(2000)「運動発達が足蹠・重心動揺に及ぼす影響」『大阪成蹊女子短期大学研究紀要』37, 43-51.
- 相馬正之・五十嵐健文・工藤渉・ほか(2012)「足趾把持力トレーニングがFunctional Reach Testや最大1歩幅, 歩行能力に与える影響について」『Japanese Journal of Health Promotion and Physical Therapy』2(2), 59-63.
- 鈴木亮平(1976)『足の外科』金原出版.
- 高橋和子・工藤啓・山田嘉明・ほか(2008)「生活習慣病予防における健康行動とソーシャルサポートの関連」『日本公衛誌』55(8), 491-502.
- 竹井和人・村田伸・甲斐義浩・ほか(2011)「足把持力トレーニングの効果」『理学療法科学』26(1), 79-81.
- 辻野綾子・田中則子(2007)「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』22(2), 245-248.
- 恒屋昌一・白井永男(2006)「健常成人における直立時の足趾接地の実態」『理学療法科学』33, 30-37.
- 内田俊彦・藤原和朗・高岡淳・ほか(2001)「小学校5, 6年性の足型計測」『靴の医学』15, 19-23.
- 内田俊彦・藤原和朗・佐々木克則・ほか(2002)「幼稚園児の足型計測(第2報)」『靴の医学』17, 40-44.
- 矢作毅・根本光明・福山勝彦(2004)「草履を中心とした浮き趾の治療および腰痛の改善について」『靴の医学』18(2), 65-71.
- 山口光国・入谷誠・大野範夫・ほか(1989)「片足起立位時とでの足趾屈筋群の役割について」『運動生理』4(2), 65-69.
- 山口剛司, 高崎恭輔, 大工谷新一(2005)「足底圧中心変化に伴う足部周囲筋の筋積分値相対値変化」『関西理学』5, 103-108.
- 山本利春(2004)『スポーツ医学基礎講座 3 測定と評価 現場に活かすコンディショニングの科学』ブックハウス・エイチディ.
- 山崎勉編(1996)『整形外科理学療法の理論と技術』メジカルビュー社.