

## 足趾屈曲力と重心前方・後方移動時の足圧中心位置の関係

### Relationship Between Toe Flexion Strength and Center of Foot Pressure by Moving Center of Gravity in Anteroposterior Direction

田中 勇治\* 鈴木 善紀\*\*  
春名 弘一\* 細谷 志帆\*

Yuji Tanaka, Yoshiki Suzuki  
Hirokazu Haruna and Shiho Hosoya

#### Abstract

Accidental falls in the elderly are often caused by their acting in standing position, standing up or sitting down, and in these case, there might be reduced abilities of weight shifts in them. Therefore, it is thought that stable standing position by moving center of gravity is important for elderly people to prevent from accidental falls. Center of gravity of human moves frequency backward or forward in standing postural control. It is necessary to support his weight by forefoot and toe in forward reach task. It is thought that there is requirement of toe flexion strength. And then Purpose of this study was investigate relationship between toe flexion strength and center of foot pressure by moving center of gravity in anteroposterior direction. Participants were 10 males, aged 18 to 22. Toe flexion strength of them was measured using the push-type toe flexion strength meter, designed and manufactured by Horiuchi K et al. Center of pressure of them was measured using forceplate as follows: they stood still on the forceplate in the usual, anterior and posterior position in which they moved center of gravity voluntarily and maintained on the base of support. The results showed that toe flexion strength had significant correlation coefficients with length of anteroposterior direction and location of center of pressure. It was suggested that the toe flexion strength related to the function of dynamic postural control at standing position with the movements of higher weight shift indirectly. Strength of toe flexors would be one of factors for the prevention of accidental falls of the elderly.

#### 1. はじめに

高齢者の転倒頻度は一般の成人より高く<sup>(1)</sup>, 転倒により骨折などの外傷を招き, 転倒事故後の不安感から活動性が低下することも少なくない。さらに, ”要介護状態”の原因となり, 死に至ることもまれではない。平成25年度に要介護者等について, 介護が必要になった主な原因としては, 転倒・骨折が全体の12.2%を占め, 脳血管障害(17.2%), 認知症(16.4%), 高齢による衰弱(13.9%)に次いで4番目に多い<sup>(2)</sup>。平成19年度と比較すると, 脳血管障害は順位こそ変わらないが23.3%からかなり比率が下がっているのに対し, 転倒・骨折が5番目

から4番目となり9.3%から比率が上昇している<sup>(3)</sup>。

現在, 本格的な超高齢社会を迎えるにあたり, 高齢者の日常生活活動の能力やquality of lifeをいかに維持するかが重要となり, その中で転倒を予防することは必要不可欠な課題である。

高齢者の転倒の危険因子は多岐にわたり, 身体機能に起因する内的因子と環境などの外的因子とに大別される。内的因子には反射の減弱, 筋力・姿勢制御能の低下, 歩容の変化, 視力の低下, 認知力の低下および内服薬の使用等があるが, とくに下肢機能や姿勢制御能の低下が大きく関与する。転倒の相対的な危険度は, 筋力低下(4.4), 転倒歴

\* 北海道科学大学理学療法学科

\*\* 第一病院

(3.0), バランス障害(2.9), 歩行障害(2.9)が高いことが指摘されており<sup>(4)</sup>, 下肢運動機能や姿勢制御能の維持・向上を図ることが有効と考えられる。なお, この報告で示されている各項目の( )内の数値は, 前向き研究から得られた相対的危険度と後ろ向き研究で得られたオッズ比の平均値として示されている。

静止立位時の重心動揺の軌跡長や矩形面積は加齢に伴い大きくなるとの報告がある<sup>(5,6)</sup>。しかしながら高齢者の測定値には個人差が大きく<sup>(7)</sup>, 若年者と高齢者の矩形面積で差がみられない<sup>(8)</sup>, 軌跡長や矩形面積は転倒歴の有無による差がみられない<sup>(9,10)</sup>など, 静止立位時の重心動揺は転倒や歩行能力とは関連がみられないとする報告が多い。

定量的な静止立位姿勢の安定性については, これまで重心動揺計を用いた検査が使用されているが<sup>(11)</sup>, パーキンソン病患者では大きな重心動揺面積の増加を認めないこと<sup>(12)</sup>, また高度なバランス能力を要求される体操競技の選手と一般大学生の間に立位時の動揺軌跡長に差が認められないこと<sup>(13)</sup>など, 重心動揺による姿勢の安定性と対象者が実際に示すバランス能力や姿勢の安定性とが一致しないなどの報告が散見される。

これに対して動的な状態を反映させた検査として, 支持基底面の傾斜や上下移動, あるいは水平移動などの外乱刺激を加えて, その反応をみる方法も行われている<sup>(14)</sup>。クロステストのような最大随意重心移動距離の測定では, 静止立位よりも加齢に伴い早期に低下が見られる<sup>(15,16)</sup>との報告がされている。

動作中の転倒については, 立位中の動作時, 立ち上がり及び座り動作時の転倒報告があり<sup>(17)</sup>, 立位姿勢が不安定であることが推測される。このような動作時には重心が移動していると推測されるが, 重心を移動する能力が十分でない場合, 転倒に至る可能性が高くなると考えられる。また広い重心移動域を有していれば, 立位でのリーチ動作, 振り向き動作また歩行開始時に安定した状態から動き出すことを可能にしていると推測できる。

これらのことから高齢者の転倒予防や移動能力を考慮すると, 静止立位保持能力よりも重心位置を移動・制御するなどの動きを伴う不安定な状況下での立位保持能力が重要と考えられる。

近年, 身体的な要因で立位姿勢の安定性に深く関与することとして, 足趾屈曲力の研究が進めら

れている。足趾屈曲力は重心の位置を積極的に移動させるような場面で立位調節に関与しているとされ, 加齢とともに低下し 70 歳以上では 20 歳代の 50%に低下するとの報告がある<sup>(18)</sup>。加齢はこの姿勢制御能の重要な因子として足趾屈曲力が, 姿勢制御の際に重心を前方, 後方へと移動するのに重要な役割を果たしていることを報告している<sup>(19)</sup>。幸田は足趾把持力がリーチ動作時の足圧中心前方移動と関連性があることを報告しており<sup>(20)</sup>, 足趾屈曲力が強い者ほど, 足圧中心位置をより大きく移動することができ, 十分な姿勢制御が可能ではないかと考えられる。

本研究ではこれらのことを確認するため, 随意的重心移動時の足圧中心位置及び移動距離と足趾屈曲力の関係を健康成人で測定し考察を加えた。

## 2. 対象と方法

### 2.1 対象

対象は健常男子大学生 10 名とした。いずれも下肢に整形外科疾患はなく, 疼痛や不安感などの既往はなかった。年齢は 18~22 歳であった。参加者には事前に測定に関する説明を行い, 参加意志決定後であっても辞退することが可能であることを伝えた上で参加の同意を得た。

### 2.2 足趾屈曲力の測定

足趾屈曲力は, 堀内らの開発した push タイプ足趾屈曲力計(図 1)<sup>(21)</sup>を用いて測定した。被験者は, 図 2 に示すように, 椅子に座り膝関節 90° 屈曲位, 足関節中間位として測定器に足を乗せて上体を動かさないようにして, 足趾を屈曲させ, その押す力を測定した。測定していない側の足は高さを合わせるために, もう一方の測定器に乗せるように指示した。測定回数は左右各 2 回ずつ, 右足趾ついで左足趾の順に行い, 各側 2 施行のうち最大値を代表値とし左右の値を平均した。分析に際しては体重で除した値(補正值)も用いた。



図 1 push タイプ足趾屈曲力計の表示部と測定部



図2 足趾屈曲力測定姿勢と測定部

### 2.3 足圧中心位置の測定

足圧中心位置は共和電業社製重心動揺計を用いて測定した。重心動揺計での測定は足圧中心の動揺測定であり、厳密には重心動揺を測定していない。方法の詳細は以下に示す。

(1) 測定に先立ち、足圧中心位置を特定するため重心動揺計上に白紙を貼り、重心動揺計上に示された中心位置と、被験者の踵最後部と足趾の最前方部に印をつけた。以上の方法で得られた記録から足圧中心位置と足の位置を特定した。

(2) 被験者は重心動揺計上でロンベルグ姿勢になり、両上肢は体側に垂らしたもっとも楽な立位とし、眼前2mで目の高さに指標を設置しそれを注視するように指示した。被験者はこの姿勢を30秒間保持し、その際の重心動揺を測定した。開眼と閉眼で1回ずつ行った。(図3) これを通常位置での測定とした。

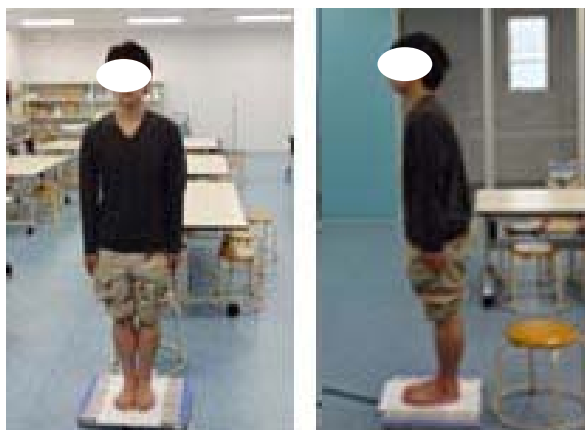


図3 通常位置での重心動揺測定

(3) 次に(2)の姿勢から両足底が床から離れない範囲で随意的に重心を前方に移動し、その位置で30秒間保持するように指示測定した(図4)。これを前方位置での測定とした。

(4) (3)と同様に(2)の姿勢から両足底が床から離れない範囲で随意的に重心を後方に移動しその位置で30秒間の保持を指示し測定した(図4)。

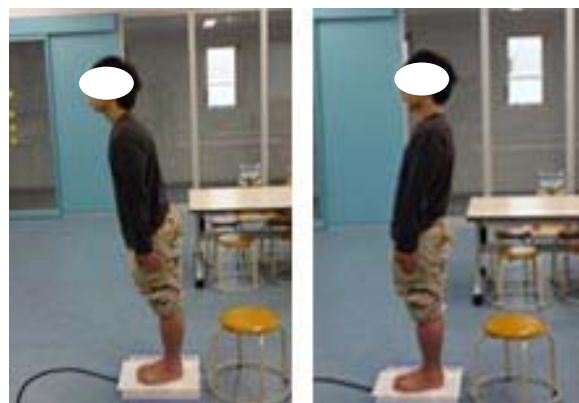


図4 前方位置・後方位置での重心動揺測定

これを後方位置での測定とした。

(5) これらの3力所での重心動揺測定から得られた各位置での平均足圧中心の前後方向の座標を用いて、図5、表1の値を算出した。

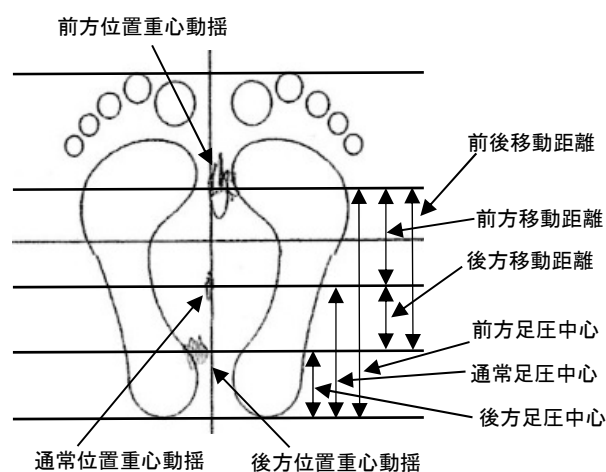


図5 重心動揺計からの算出値

(6) 本研究では実際の動作時の重心移動ではなく随意的に移動可能な前後の距離位置を測定した。望月は、立位を保てる限界の足位は静的バランス能力と動的バランス能力の接点に相当し、直立姿勢で重心を移動する限界と歩行能力レベルとが相関している<sup>(22)</sup>としており、今後、高齢者の測定実施を行うことを考慮して、安全性の高い静止立位での測定を選択した。

### 2.4 統計学的分析

検討した項目は、足趾屈曲力とその体重比の値及び表1の算出値項目のPearsonの積率相関係数を用いて分析した。有意水準は5%とした。

### 3. 倫理的配慮および説明と同意

本研究は、植草学園大学研究倫理委員会（承認番号 10-07）の承認を得た後、対象者に文書と口頭により説明し、測定への参加同意決定後であっても辞退することが可能であることを伝えた上で同意を得た。各データはナンバリングを行い、個人識別ができないように処理して実施した。

#### 4. 結果

##### 4.1 測定結果

足趾屈曲力、踵からの足圧中心位置及び足圧中心移動距離の測定結果を表 2 に示した。

##### 4.2 足趾屈曲力と足圧中心位置の関係

足趾屈曲力と足圧中心位置の相関を表 3 に示した。足趾屈曲力と通常足圧中心の間には有意な相関が認められなかった。前方位置では足趾屈曲力実測値との間に有意な相関が認められたが、補正值では認められなかった。後方足圧中心は平均 5.66cm で足長比 0.22 であり、足趾屈曲力との間に有意な負の相関が認められた。

##### 4.3 足趾屈曲力との足圧中心移動距離の関係

足趾屈曲力及び足圧中心移動距離との相関を表 3 に示した。足趾屈曲力及び足圧中心前後移動距離との間に有意な相関が認められた。一方、足趾屈曲力及び足圧中心前方移動距離及び後方移動距離では有意な相関は認められなかった。

#### 5. 考察

本研究において、足趾屈曲力を測定するために使用した測定器は、足趾を屈曲して床面を下方向に圧迫する力を測定している。これは立位で足部に十分に荷重した状態で身体を押し出す場合や不意に前方にバランスを崩した時に反射的に足趾が地面を掴む反応に対応している<sup>(21)</sup>。

足趾屈曲力と前方リーチ時の最大重心前方移動時の足圧中心位置には有意な正の相関が認められるという報告<sup>(23)</sup>があり、足趾屈曲力が強いほど大きな重心移動が可能とされている。

本研究では前方リーチではなく、直立姿勢からの随意的な重心移動時の足圧中心について位置の測定を行った。

その結果から、通常足圧中心及び前方足圧中心は足趾屈曲力と相関は認められなかった。一方、後方足圧中心は足趾屈曲力との間に負の相関を認めた。このことは足趾屈曲力が強いほど足圧中心位置を後方に位置することができることを示している。足趾屈曲力が強い者はより後方に足圧中心を移動することが可能であるとの結果であった。

通常の立位姿勢では、重心線は足関節の前方を通っているため下腿から上の体節は重力によりつねに前方に傾斜し、これを下腿の後方にある筋が後方に引いて直立姿勢を保持している<sup>(24)</sup>。このことから本研究実施前には足圧中心位置は足趾屈曲力が強いほど、通常立位時にはより前方に位置し

表 1 重心動揺計からの算出値

|           |                      |
|-----------|----------------------|
| 通常足圧中心    | 踵と通常位置の足圧中心距離        |
| 通常足圧中心足長比 | 上記算出値の足長比            |
| 前方足圧中心    | 踵と前方位置の足圧中心距離        |
| 前方足圧中心足長比 | 上記算出値の足長比            |
| 後方足圧中心    | 踵と後方位置の足圧中心距離        |
| 後方足圧中心足長比 | 上記算出値の足長比            |
| 前方移動距離    | 通常位置足圧中心と前方位置足圧中心の距離 |
| 前方移動距離足長比 | 上記算出値の足長比            |
| 後方移動距離    | 通常位置足圧中心と後方位置足圧中心の距離 |
| 後方移動距離足長比 | 上記算出値の足長比            |
| 前後移動距離    | 通常位置足圧中心と前方位置足圧中心の距離 |
| 前後移動距離足長比 | 上記算出値の足長比            |

表 2 測定の結果

|            | 平均     | SD    |
|------------|--------|-------|
| 足趾屈曲力(N)   | 126.07 | 29.79 |
| 足趾屈曲力体重比   | 1.85   | 0.33  |
| 通常足圧中心(cm) | 9.68   | 2.83  |
| 通常足圧中心足長比  | 0.38   | 0.11  |
| 前方足圧中心(cm) | 19.81  | 1.98  |
| 前方足圧中心足長比  | 0.77   | 0.08  |
| 後方足圧中心(cm) | 5.66   | 1.85  |
| 後方足圧中心足長比  | 0.22   | 0.07  |
| 前方移動距離(cm) | 10.14  | 3.73  |
| 前方移動距離足長比  | 0.40   | 0.15  |
| 後方移動距離(cm) | 4.01   | 3.11  |
| 後方移動距離足長比  | 0.16   | 0.12  |
| 前後移動距離(cm) | 14.15  | 3.50  |
| 前後移動距離足長比  | 0.55   | 0.13  |

(N=10)

表 3 足趾屈曲力との相関

|             | 足趾屈曲<br>力 (N) | 足趾屈曲力<br>体重比 |
|-------------|---------------|--------------|
| 通常足圧中心 (cm) | 0.032         | -0.313       |
| 通常足圧中心足長比   | 0.020         | -0.289       |
| 前方足圧中心 (cm) | 0.639 *       | 0.390        |
| 前方足圧中心足長比   | 0.598         | 0.488        |
| 後方足圧中心 (cm) | -0.822 **     | -0.839 **    |
| 後方足圧中心足長比   | -0.824 **     | -0.798 **    |
| 前方移動距離 (cm) | 0.315         | 0.445        |
| 前方移動距離足長比   | 0.296         | 0.466        |
| 後方移動距離 (cm) | 0.517         | 0.213        |
| 後方移動距離足長比   | 0.513         | 0.220        |
| 前後移動距離 (cm) | 0.795 **      | 0.663 *      |
| 前後移動距離足長比   | 0.783 **      | 0.707 *      |

ているのではないかと予想していたが、足趾屈曲

力と通常立位姿勢時の足圧中心位置に有意な相関が認められなかった。その要因として、足趾屈曲力の通常立位姿勢への寄与は小さいこと及び安静時には運動能力は大きく関与しないこと<sup>(23)</sup>、安静立位時にはヒラメ筋活動が大きいこと<sup>(24)</sup>などが考えられる。また足趾屈曲力と安静立位時の重心動揺には相関がないとの報告<sup>(13,18)</sup>がある。

辻野らによれば、重心を前方に移動した際の前方足圧中心は踵から約 70%の位置にあり、重心線は足関節のより前方に位置し足関節まわりには背屈方向への外部モーメントが生じ、最終肢位を保持するために足関節底屈方向への大きな内部モーメントが要求され、足趾に作用する長・短母趾屈筋なども力源として重要になり足趾屈曲力と重心前方移動時の前方足圧中心とは有意な相関が認められると報告している<sup>(23)</sup>。

本研究は辻野らの報告と一致しないが、被験者数が少ないこと、年齢層などに起因する可能性がある。若年の成人男子であることからいずれの被験者も足圧中心を前方に移動するために必要な足趾屈曲力を十分に有していた可能性も考えられる。また測定姿勢の相違も関係する可能性がある。

本研究で使用した push タイプ足趾屈曲力計<sup>(21)</sup>は母趾及び第 2～5 趾を同時に測定するタイプであり辻野ら<sup>(23)</sup>の使用している機器と異なる。加辺らは動的姿勢制御能力と足趾把持筋力との関係を分析した結果、足趾把持筋力が重心動揺面積を減少させ動的姿勢制御能に関与すると報告した。ま

た各足趾の役割として母趾には偏位した体重心を支持する作用が、第 2～5 趾には偏位した体重心を中心に戻す作用があると述べている<sup>(25)</sup>。母趾及び第 2～5 趾分離して測定すると異なる結果が出る可能性がある。

後方足圧中心及び後方足圧中心足長比については、辻野らは足趾屈曲力との有意な相関は認められなかったと述べているが<sup>(23)</sup>、本研究では、足趾屈曲力と後方足圧中心で有意な相関が認められ、異なった結果となっている。より後方に足圧中心を移動できる場合は前脛骨筋など足関節の前方に位置する筋の活動が考えられる<sup>(26)</sup>。今回の測定では筋活動自体は記録しておらず、別々の記録から相関を見ているため実際の筋活動を記録した上で再検討する必要がある。

前後移動距離及び前後移動距離足長比では、足趾屈曲力及び足趾屈曲力体重比との間に有意な正の相関が認められた。このことから、足趾屈曲力が強いほど、重心前後移動時により大きく重心を前後へ移動することができることが示唆された。

しかしながら、後方移動距離及び前方移動距離は足趾屈曲力と有意な相関が認められなかった。このことは安静立位姿勢で測定した通常足圧中心自体はある程度の範囲を持っているため<sup>(27)</sup>、そのことが重心の前方移動や後方移動の距離に不確定な要素を加えている可能性がある。

高橋によれば通常の立位姿勢では足趾部分が支持基底面としては機能しておらず、これを機能させるには足趾屈筋群の働きが重要である<sup>(28)</sup>。足趾部分が支持基底面として機能すれば前後方向での重心移動は大きくなることが推測される。

しかしながら、本測定結果では、足趾屈曲力が強いほど足圧中心前後移動距離が大きいことがうかがえたが、踵からの前方足圧中心位置との一致は確認できなかった。これらのことから足趾屈曲力は立位姿勢の制御に機能していることは推測されたが、そのみで今回の結果を説明することは難しいと思われ、足関節や足趾に働く他の筋の作用も合わせて検討する必要があると考えられる。

## 5. 結語

立位姿勢での動作時には重心が移動しこれに伴って足圧中心も移動する。本研究の結果から、足圧中心前後移動距離及び後方への重心移動時の足圧中心位置について足趾屈曲力と有意な相関が認め

られ、転倒予防に寄与するひとつの要素と考えられたが、他の足趾筋群や足関節に関与する筋の作用について検討する必要があることが示唆された。

## 6. 参考文献

- (1) Sheldon JH, "On the natural history of falls in old age," "BMJ," Vol.2, No.5214, 1960, pp.1685-1690.
- (2) 内閣府, "平成 28 年版高齢社会白書(全体版)," 2016, pp24-26.
- (3) 内閣府, "平成 22 年版高齢社会白書(全体版)," 2010, pp28-33.
- (4) American Geriatrics Society et al, "Guideline for the prevention of falls in older persons," "J Am Geriatric Soc," 2001, Vol.49, pp 664-672.
- (5) Fujita F et al, "Effect of age on body sway assessed by computerized posturography," "J Bone Miner Metab," 2005, Vol.23, No.2, pp152-156.
- (6) Lord SR et al, "Age-associated differences in sensori-motor function and balance in community dwelling women," "Age Ageing," 1994, Vol.23, No.6, pp452-604.
- (7) 田口孝他, "平衡機能(バランス)の測定方法," "理学療法," 2005, Vol.22, No.1, pp 35-44.
- (8) 小野晃他, "静的・動的姿勢制御の若年者と高齢者の比較," "日生理人類会誌," 1999, Vol.4, No.4, pp 165-171.
- (9) 中土保他, "高齢女性の転倒と重心動揺を含めた運動機能との関連について," "日臨バイオメカ会誌," 2005, Vol.4, No.26, pp 419-424.
- (10) 島田裕之他, "施設利用高齢者のバランス機能と転倒との関係," "総合リハ," 2000, Vol.28, No.10, pp961-966.
- (11) 内山靖, "学療法機器 14. 重心動揺計," "理学療法," 1994, Vol.11, No.6, pp459-466.
- (12) 井上隆三他, "パーキンソン病およびパーキンソン症候群患者の重心位置重心移動, 重心動揺の変化," "理学療法学," 1992, Vol.19, pp546-550.
- (13) 藤原勝夫他, "足圧中心位置と立位姿勢の安定性との関連について," "体育学研究," 1981, Vol.26, pp134-147.
- (14) 中山彰一, "理学療法機器 17. バランス機器," "理学療法," 1995, Vol.12, No.3, pp233-243.
- (15) 藤田博暁, "老人の姿勢および転倒," "理学療法科学," 1995, Vol.10, No.3, pp141-147.
- (16) 石川朗他, "平衡機能検査を目的とした Cross Test の有効性," "理学療法学," 1994, Vol.21, No.3, pp186-194.
- (17) 眞野行生他, "高齢者の転倒の特徴 高齢者の転倒とその対策," "医歯薬出版," 1999, pp2-12.
- (18) 半田幸子他, "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, Vol.40, No3, pp139-147.
- (19) 加辺憲人他, "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, Vol.17, No.3, pp199-204.
- (20) 幸田仁志他, "若年者および高齢者における足趾把持力とリーチ動作時の足圧中心との関連性の解明," "臨床バイオメカニクス," 2014, Vol.35, pp285-289.
- (21) 堀内邦雄他, "push タイプ足趾屈曲力計の設計と評価," "日本生活支援工学会誌," 2007, Vol.8, No.1, pp15-22.
- (22) 望月久, "バランス能力測定法としての直立検査," "理学療法 - 臨床・研究・教育," 2008, Vol.15, pp 2-8,
- (23) 辻野綾子他, "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, Vol.22, No.2, pp245-248.
- (24) 中村隆一他, "基礎運動学第 6 版補訂," "医歯薬出版," 2012, pp.364-366.
- (25) 加辺憲人, "足趾の機能.理学療法科学," 2003, Vol.18, No.1, pp41-48.
- (26) 中村隆一他, "基礎運動学第 6 版補訂," 医歯薬出版, 2012, pp.368-372.
- (27) 臼井永男, "重心動揺の発達的变化," "理学療法科学," 1995, Vol.10, No.3, pp167-173
- (28) 高橋正明, "臨床動作分析," "医学書院," 2001, pp.24-25.