

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：32428

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18068

研究課題名(和文)姿勢制御における足趾の役割を知る～足趾の効果的なトレーニング方法の提案～

研究課題名(英文)A role of toe on static and dynamic balance

研究代表者

大竹 祐子 (Yuko, Otake)

東都大学・幕張ヒューマンケア学部・准教授

研究者番号：70744374

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：若年女性を対象とし、立位バランス能力・足趾屈曲最大筋力・筋力発揮の調節能力の関係について調査した。床反力計を用いて姿勢安定度評価指標を算出、また筋力計を用いて足趾屈曲最大筋力の計測を行い、加えて足趾屈曲漸増運動についてはその滑らかさについて躍度を用いて算出した。結果から、評価値としては差がないが運動特性によって立位バランスの制御方法が異なり、足趾筋力発揮が滑らかなほど前後方向への足圧中心移動能力に長け、安定域限界において不安定を維持しながらも姿勢保持するという特徴が見られた。つまり、足趾の詳細な運動機能はバランス制御において日常生活の範疇を超えた、より高度な姿勢保持に役立つことが予想できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

バランス保持をするうえで、足趾の屈曲筋力は重要だと言われている。今回の研究結果から、普段から足趾を使う習慣のある人となない人では、バランスの制御方法が異なる、足趾筋力を弱い力から強い力まで調節できる人ほど、足圧中心の移動範囲が広くバランス能力が高いということが明らかとなった。安定してバランスをとるには、足部以外の身体機能が必要であり、足趾機能はより大きく体重移動を行う際に役割を果たすこと、またバランス能力において日常生活の範疇を超えた、より高度な姿勢保持に役立つことが予想できた。

研究成果の概要(英文)：We examined the relationship of the COP sway during standing and the toe flexor strength in young females(dancers or non-dancers). Using a force plate, we measured Index of Postural Stability, which is for assessing postural stability during standing and shifting of body weight. Toe flexor muscle strength was measured using a toe-grip dynamometer. Subjects performed the maximum effort trial, and to exert force gradually ranging from 0% to 50% of maximum strength, the jerk was also calculated for further analysis.

As a results, it was indicated there were various way for balance control, and the way to control of balance differs depending on the movement characteristics. The smoother force production, the larger the area of stability limit ratio of anterior-posterior. We founded the delicate movement of the toe flexion will be useful in more advanced state of postural stability in daily living.

研究分野：健康・福祉工学

キーワード：足趾機能 バランス 筋力調節

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

足部は立位動作時に常に地面に接する部位であり、足部の中でも足趾は唯一分節的に動かすことが可能であるため姿勢制御においてその役割は重要である。例えばこれまで足趾機能は転倒リスクと関連するなどと言われており、筋力や動作との関係を示す報告も散見される。このように足趾の動きや筋力の重要性についてはこれまで多く述べられているが、その詳細についてはまだ明らかになっていない。またリハビリテーションやスポーツの現場では、タオルギャザーのようなやみくもな足趾トレーニングが多く行われているが、その根拠についても不十分であるのが現状である。

足趾機能を幅広く調べ動態を明らかにすることにより、足趾運動に必要な質・量的条件を具体的に提示したうえでより効率的で効果的なトレーニングを行うことができる。また足趾機能と立位バランスとの関係を明らかにすることは、主にリハビリテーション分野において、動作の安定性を獲得するための治療や運動プログラム立案の根拠となり得る。例えば高齢者に対しての足趾トレーニングは、動作の安定性が増し転倒リスクの減少または介護度の維持向上が期待できるほか、2次的な骨関節疾患の予防にも貢献できる。一方、若年者やスポーツの現場においては、具体的で選択的なトレーニングを展開でき高度な技術の早期習得・パフォーマンス向上が期待できる。

### 2. 研究の目的

被験者群の特徴によって足趾機能がどのように異なるのかを調べ、足趾が姿勢制御においてどのような役割を担うかを調査することを最大の目的とした。

申請者はこれまでの研究活動において、足趾機能とバランス能力の関係に注目し、前方リーチ動作には足趾屈曲筋の活動が必要であることを確認した。また健常成人の足趾屈曲の三次元動作解析では、屈曲方法や角度の違いがバランス機能に影響することを明らかにし、静的・動的バランスに寄与する足趾屈曲筋が異なる可能性があることを見出した。これらの知見をもとに、さらに動作に影響する直接的な足趾機能のメカニズムを解明する。

足趾は様々なスポーツのパフォーマンス向上にも重要であることが報告されている。その中で本研究者が注目したのはクラシックバレエとの関連である。クラシックバレエは足趾の運動が特徴的であり、長期経験者の足趾屈曲筋力は未経験者より大きいことが報告されている (Mao, 2006)。卓越した足趾運動が可能なバレエ経験者を対象とし、足趾運動の三次元解析、足趾筋の筋力・筋活動・重心動揺計測を行い足趾について詳細に調べること、足趾運動方向のブレ・発揮筋力調節に関する能力が、バランス能力に与える影響について検討することを目的とした。またこれらを未経験者と比較をすることで、足趾機能の運動特性について検討することとした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 対象

クラシックバレエ経験者10年以上の経験があり、現在も継続している者) 15名、未経験者 (比較対象とした) 12名とした。被験者全員女性とした。両群間で年齢・身長・体重に有意な差はなかった。

#### (2) バランス能力の計測

床反力計(Kistler AG, Switzerland)を用いて、安静立位時・体重移動時の足圧中心位置の計測を行った。評価指標としては、望月(2000)の報告を参考にし、姿勢安定度評価指標 (IPS: Index of Postural Stability) を選択した。同時に、中央・前・後・右・左の各方向への体重移動時の足圧中心移動面積・安定域面積についても算出した。

### (3) 足趾筋力の計測

足趾筋力測定器 (TKK3364b: 竹井機器工業) を用いて足趾屈曲最大筋力を計測した。次に、アナログ出力をし出力値をPCでモニタしながら、最大筋力の50%を目標に足趾屈曲の漸増運動を行った。漸増運動の滑らかさについては、躍度を用いて評価した。

### (4) 足趾屈曲運動時の圧中心位置の計測

可搬式床反力計 (M3D-EL-FP-U, テック技販) を用いた。壁の垂直面に設置し、床反力計面上に足部中足指節関節以降が接地するように、足関節底屈・膝関節伸展位でベッドに腰掛け準備する。5秒間の足趾屈曲筋の等尺性運動を行い、その間の圧中心位置の変化・床反力計にて計測された3分力を算出した。

### (5) データ処理

すべての項目に関してクラシックバレエ経験者 (以下、バレエ群)、未経験者群 (コントロール群) の群間の差について検討した。またそれぞれの項目に関して、ピアソンの積率相関係数を用いて傾向を観察した。

## 4. 研究成果

### (1) IPS

両群にIPS値に差はなかった。しかしバレエ群は安定域面積 ( $p=0.03$ ) と重心動揺面積 (中央・前) ( $p=0.001$ ) は有意に高値であった。IPSの構成要素である安定域面積・重心動揺面積 (中央・前方) とともにバレエ群で大きい結果となった。つまりバレエ群は安定性限界での姿勢保持に長けており、不安定な中で安定を保つ姿勢戦略であることが示唆された。

### (2) 足趾屈曲最大筋力

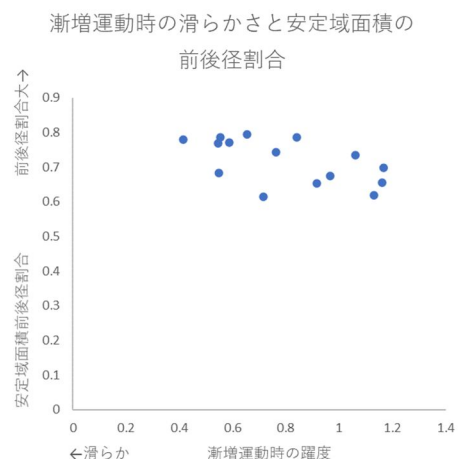
計測値は、被験者の体重で除した。バレエ群 ( $0.51 \pm 0.09$ ) とコントロール群 ( $0.38 \pm 0.11$ ) で比較すると、バレエ群は有意に高値を示した ( $p < 0.001$ )。ただし、足趾屈曲最大筋力とIPS ( $p=0.86$ ) との間にも、安定域面積 ( $p=0.06$ ) との間にも有意な相関は見られなかった。足趾屈曲最大筋力は圧中心位置を指標としたバランス能力の評価には何ら関連のない項目であることが考えられる。

### (3) 足趾屈曲漸増運動

両群に有意な差は見られなかった。バレエ群では、足趾屈曲漸増運動の躍度はわずかに低値を示し、安定域面積とその前後径の割合との間に有意な相関 ( $p=0.01$ ) が見られた。つまり、滑らかな漸増運動が可能であるほど安定域面積の前後径の割合が大きいということである。またIPSの結果より、バレエ群は体重前方移動時の重心動揺面積が大きかったことから、足趾の繊細な筋力発揮コントロールをして安定域面積の限界点でバランス保持をしていると言える。

### (4) 足趾屈曲運動時の圧中心位置

足趾以外による筋力発揮の影響について排除するため、クラシックバレエ経験者を対象とした。足趾屈曲の垂直分力はおよそ70N前後と、他の分力と比較して最も大きかった。垂直分力が小さい場合 (足趾屈曲の発揮筋力が弱い場合) はわずかながら前方への剪断力が、発揮する垂直分力が大きくなるにしたがって後方かつ外方への剪断力が増すことが確認された。圧中心の



位置は、垂直分力の増加に伴い前内側へ変化した。これにより、弱い足趾屈曲筋力発揮時には第2から4趾の足趾屈曲筋が、強い筋力発揮をするにしたがって母趾の寄与が大きくなることが推察された。

#### (5) まとめ

これらの結果から、バランス能力の評価値は同じでも、被験者の特徴や運動特性によってバランス保持の戦略が異なること、詳細な足趾筋力発揮能力が可能であるほど足圧中心を大きく移動することができ、不安定ではあるがバランス保持が可能であることから、よりダイナミックなバランス制御を行っていること、発揮する足趾筋力の強さにより、母指と他4趾との役割が異なる可能性があること、が示唆された。

もともと足趾機能はバランス能力に大いに関連すると予測していたが、本課題外の研究において、中高齢者はバランス保持のために足趾を使用していない可能性が示唆された（上條ら，2018）。本研究課題の結果と合わせると、ある程度のバランス能力を持ち合わせた状態でないと姿勢制御への足趾の寄与は少ないことが予想され、足趾屈曲の繊細な筋力発揮コントロールの能力は、日常生活の範疇を超えた、より高度な姿勢保持に必要であると言える。そのため、バランス能力を向上させる・転倒リスクを減らすという社会的に喫緊の問題に対しては、より近位の関節の運動制御能力へのアプローチが先決であることが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Otake Y, Yozu A, Fukui T, Sumitani M and Haga N	4. 巻 2
2. 論文標題 Relationship between toe flexion movement and center of pressure position	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Int J Foot Ankle	6. 最初と最後の頁 -
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Otake Y, Fukui T
2. 発表標題 The Relation Between Toe Function and Postural Stability
3. 学会等名 World Confederation for Physical Therapy CONGRESS 2019 in Geneva（国際学会）
4. 発表年 2019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
---------------------------	-----------------------	----