

2019 年度修士学位論文

クラシックバレエダンサーの  
ドゥミ・ポアントにおけるバランス能力と  
足趾外転運動との関係

立命館大学大学院

スポーツ健康科学研究科

身体運動科学領域 博士課程前期課程 2 回生

6232180020-9

福山 弘

# クラシックバレエダンサーの ドゥミ・ポアントにおけるバランス能力と 足趾外転運動との関係

立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科 博士課程前期課程 2 回生 福山 弘

## 要旨

キーワード：クラシックバレエダンサー・ドゥミポアント・バランス能力・接地面積・足趾筋力・足趾外転運動

### 【背景】

ドゥミ・ポアントにおけるバランス能力は、クラシックバレエダンサーのパフォーマンスを評価するうえで重要な要素である。ドゥミ・ポアントのポジションでは、中足骨頭部および足趾は、床と接している唯一の部分となり、足趾の関節運動は、支持基底面を拡大すること、および身体重心の動揺を制御することとの関係が推察される。しかしながら、クラシックバレエダンサーのドゥミ・ポアントにおけるバランス能力と接地面積、足趾の筋および骨関節機能との関係について総合的に検討した先行研究はなく、実際の指導現場においても、ドゥミ・ポアントにおける足趾の関節運動に関しては、指導者間における統一した見解がないのが現状である。

### 【目的】

本研究では、今までクラシックバレエダンサーを対象として検証されていない足趾外転運動に着目し、クラシックバレエダンサーの片脚のドゥミ・ポアントにおけるバランス能力と接地面積、足趾の筋および骨関節機能との関係を検証することを目的とした。

### 【方法】

被験者は、9～18歳の女性クラシックバレエダンサー24名であった。本研究では、デジタルノギスを用いて形態の測定、足趾筋力測定器を用いて足趾筋力の測定、足圧分布測

定器を用いてバランス能力および接地面積の測定を行った。また測定された項目から、母趾外転距離変化率、小外転距離変化率、足趾底屈筋力、足趾内転筋力、母趾外転筋力、小趾外転筋力、バランス保持時間、外周面積、接地面積、接地面積変動係数を算出した。統計処理では、左右脚の比較を、t 検定と Wilcoxon の符号付順位検定を用いて、各算出項目の相関関係については、Pearson の積率相関係数と Spearman の順位相関係数を用いて評価した。

### 【結果および考察】

片脚のドゥミ・ポアントにおけるバランス保持中の接地面積と接地面積変動係数との間に有意な負の相関関係が認められ（右支持脚： $r=-0.60$ ,  $p<0.01$ , 左支持脚： $r=-0.42$ ,  $p<0.05$ ), 加えて、バランス保持時間と接地面積との間に有意な正の相関関係が認められた（右支持脚： $r=0.52$ ,  $p<0.01$ , 左支持脚： $r=0.60$ ,  $p<0.01$ ）。このことから、片脚のドゥミ・ポアントにおいて接地面積を広くできるクラシックバレエダンサーは、接地面積のばらつきが小さく、バランス保持時間が長いということが明らかになった。

また、右支持脚の接地面積と小趾外転筋力との間に有意な正の相関関係が認められたことから（ $r=0.41$ ,  $p<0.05$ ), 右支持脚のドゥミ・ポアントにおいては、小趾外転筋力の強さが、接地面積の広さに影響を与えることが示唆された。

さらに、右支持脚の外周面積と小趾外転距離変化率との間に有意な負の相関関係が認められたことから（ $r=-0.44$ ,  $p<0.05$ ), 右支持脚のドゥミ・ポアントにおいては、小趾を大きく外転させることが、足圧中心動揺の制御に影響を与えることが示唆された。

### 【結論】

クラシックバレエダンサーの片脚のドゥミ・ポアントにおけるバランス能力と接地面積との関係が明らかになり、右支持脚においては、小趾外転運動がバランス能力に影響を与えることが示唆された。

# Relationship between postural control ability in demi-pointe and toe abduction movement

Graduate School of Sports and Health, Ritsumeikan University

Hiroshi Fukuyama

## Abstract

Keywords: Classic ballet dancer, Demi-pointe, Static balance, Ground contact area, Toe muscle strength, Toe abduction movement

### 【Introduction】

Postural control ability during demi-pointe is an important factor for evaluating the performance of classic ballet dancer. In the demi-pointe position, the ground contact area is restricted within the forefoot region including toes and metatarsal heads. Therefore, toe movement is essential to enlarge the base of support area in order to control body sway on demi-pointe position. The purpose of this study is to examine the relationship between postural control ability and ground contact areas, toe muscles and osteoarticular function in single leg demi-pointe of classic ballet dancer, focusing on toe abduction movement.

### 【Methods】

Twenty-four female ballet dancers aged 9 to 18 years were measured for toe morphology, toe muscle strength, balance ability, and ground contact areas.

### 【Results & Discussion】

A negative significant correlation was found between ground contact areas and the coefficient of variation of ground contact areas in single leg demi-pointe ( $r = -0.60$ ,

$p < 0.01$ : right,  $r = -0.42$ ,  $p < 0.05$ : left), and a positive significant correlation was found between balance holding time and ground contact areas in single leg demi-pointe ( $r = 0.52$ ,  $p < 0.01$ : right,  $r = 0.60$ ,  $p < 0.01$ : left). Therefore, the larger ground contact areas, leads to the smaller change of ground contact areas and the longer balance holding time.

The relationship between postural control ability and toe muscle function showed a positive correlation was found only between ground contact areas and abductor digiti minimi muscle strength in the right supporting leg ( $r = 0.41$ ,  $p < 0.05$ ). Therefore, our result suggests that abductor digiti minimi muscle strength affects the increase of contact areas in the right supporting leg.

The relationship between postural control ability and toe osteoarticular function showed that a negative correlation was found only between COP sway area and the rate of change of fifth toe abduction distance in the right supporting leg ( $r = -0.44$ ,  $p < 0.05$ ). Therefore, our result suggests that fifth toe abduction movement affects the control of COP oscillations in the right supporting leg.

### **【Conclusion】**

In conclusion, the present study has demonstrated that the relationship between postural control ability and ground contact areas in single leg demi-pointe of classic ballet dancer. In addition, our results suggest that toe abduction movement affects postural control ability in the right supporting leg.

## 目次

<b>第1章 緒言</b>	1
1-1 ドゥミ・ポアントとは	1
1-2 ドゥミ・ポアントにおける足関節，足部および足趾の関節運動	1
1-3 クラシックバレエにおけるバランス能力の重要性	3
1-4 バランス能力と接地面積，足趾の筋および関節機能との関係	4
1-5 本研究の目的	5
<b>第2章 方法</b>	6
2-1 被験者	6
2-2 測定項目	6
2-3 データ解析および正規化	10
2-4 統計処理	12
<b>第3章 結果</b>	13
3-1 足趾外転距離変化率	13
3-2 足趾筋力	13
3-3 バランス能力	14
3-4 接地面積	15
3-5 バランス能力指標間の関係	15
3-6 接地面積と接地面積変動係数との関係	16
3-7 バランス能力と接地面積との関係	17
3-8 バランス能力および接地面積と足趾筋力との関係	19
3-9 バランス能力および接地面積と足趾外転距離変化率との関係	20
<b>第4章 考察</b>	21
4-1 バランス保持時間と接地面積との関係	22
4-2 接地面積と小趾外転筋力との関係	23
4-3 外周面積と小趾外転距離変化率との関係	24
4-4 左右の比較および本研究の限界	24
4-5 現場への応用	25
<b>第5章 結論</b>	27
<b>参考文献</b>	28

## 第1章 緒言

### 1-1 ドゥミ・ポアントとは

ドゥミ・ポアント (図 1-1) とは、クラシックバレエの踊りの中で多用されるいわゆるつま先立ちの時の足のポジションである。フランス語でドゥミは“半分の”，ポアントは“先端”を意味する。クラシックバレエにおけるポアントとは、トゥシューズ (図 1-2) の先端でバランスを取る時の足関節底屈位および中足趾節関節 (metatarsophalangeal joint : MPJ) 底屈位の足のポジションことであり、ドゥミ・ポアントは、ポアントに移行する前、もしくはポアントから移行した後の足関節底屈位および MPJ 背屈位の足のポジションのことである。

ドゥミ・ポアントとポアントにおける関節運動の違いは、MPJ の運動だけである (Russel et al., 2010)。特に女性のクラシックバレエダンサーは、トゥシューズの先端という非常に狭い支持基底面内に重心線を収めるために、約  $90\sim 100^\circ$  の足関節底屈可動域 (一般人の参考可動域  $45^\circ$ ) が必要とされ、ドゥミ・ポアントにおいても、約  $90^\circ$  の母趾 MPJ 背屈可動域 (一般人の参考可動域  $60^\circ$ ) が必要とされる (Hamilton et al., 1992)。つまり、ドゥミ・ポアントは、一般人が行うつま先立ちよりも高いつま先立ちであり、クラシックバレエダンサー特有のポジションと言える。



図 1-1 ドゥミ・ポアント



図 1-2 トゥシューズ

### 1-2 ドゥミ・ポアントにおける足関節，足部および足趾の関節運動

足関節底屈可動域は、腓骨と第 5 中足骨を基準にして測定するため、距腿関節だけではなく、足部にある他の関節 (距骨下関節，ショパール関節，リスフラン関節) の可動域も含めた関節可動域となる。クラシックバレエダンサーの非常に広い足関節底屈可動域の内訳は、距腿関節で約 70%，距腿関節以外の足部の関節で約 30% という報告がある

(Russell et al., 2011). 距腿関節を底屈させる作用としては、踵骨に停止部を持つ下腿三頭筋が大きな役割を持ち、足部の関節の底屈には、足部や足趾に停止部を持つ後脛骨筋、長腓骨筋、長母趾屈筋、長趾屈筋など多くの筋が協調的に作用し、クラシックバレエダンサーのドゥミ・ポアントを可能にしている (クリッピングァー, 2007). また先行研究では、クラシックバレエダンサーは、踊りの中で足関節底屈の関節運動を繰り返し行うことから、足関節底屈筋力に関しては、一般人と比較して強いという報告がある

(Hamilton et al., 1992).

トウシューズの先端でバランスを取る時のポアントにおける足趾の関節運動に関しては、足部外在筋および内在筋を協調的に作用させることで、足趾の趾節間関節

(interphalangeal joint : IPJ) 伸展を保持した正しいポアントと、長母趾屈筋および長趾屈筋の過活動により IPJ が屈曲した間違っただポアントとの違い (図 1-3) を解説し、正しい関節運動の指導を行うべきとするクラシックバレエの指導書がある (クリッピングァー, 2007; ハウスほか, 2016). ポアントの前後段階のドゥミ・ポアントにおける足趾の関節運動に関しても、足部外在筋および内在筋による協調運動が重要であると推察されるが、ドゥミ・ポアントにおける足趾の関節運動に関する詳細な先行研究はほとんどない。わずかに、足趾で床を押す筋力である足趾底屈筋力に関して、一般人と比較してクラシックバレエダンサーの方が強いという報告 (Nihal et al., 2002) と、一般人と比較して違いはないという報告 (Rowley et al., 2015) があるが、統一した見解はなく、実際の指導現場においても、「足趾を曲げずに床を押す」、もしくは「足趾を開きながら立つ」といった言葉がけが行われており、指導者間における統一した見解がないのが現状である。

クラシックバレエの踊りの中で多用されるドゥミ・ポアントにおけるバランス保持では、中足骨頭部および足趾が、床と接する唯一の部分となり、足趾の MPJ で生成されるトルクの影響は無視することができないと推察される。本研究では、いまだ解明されていないクラシックバレエダンサーのドゥミ・ポアントにおける足趾の関節運動に着目した。



図 1-3 IP 関節伸展を保持した正しいポアント (左)  
IP 関節が屈曲した間違っただポアント (右)



### 1-3 クラシックバレエにおけるバランス能力の重要性

狭い支持基底面において姿勢を制御しながら踊ることの多いクラシックバレエダンサーには、高いバランス能力が必要であり、バランス能力は、クラシックバレエダンサーのパフォーマンスを評価するうえで重要な要素である (Costa et al., 2013). 先行研究では、クラシックバレエダンサーの片脚のつま先立ちにおけるバランス保持時間は、一般人と比較して長いことが報告されている (Rowley et al., 2015 ; Imura et al., 2018). 身体を支えるために床と接している部分を結んだ範囲である支持基底面が広いほど姿勢の制御は容易になり、反対に、支持基底面が狭いほど難しくなることから、狭い支持基底面に重心をとどめておける時間であるバランス保持時間の長さは、バランス能力の評価指標となりうる (望月, 2008).

また立位姿勢の制御においては、一定の支持基底面の中で実際に重心を移動できる範囲である安定性限界が広く、身体の動揺の程度を表す重心動揺が小さいほど、バランス能力は高いと考えられ、さらに安定性限界から身体重心線が外れると姿勢が制御できなくなることから、身体重心線が安定性限界の中央付近に位置しているほどバランス能力が高いと考えられる (望月, 2013) (図 1-4). 姿勢の制御は、神経、感覚、認知、筋、骨関節機能など多くの要素によって達成されるものである (望月, 2013) が、本研究では、足趾の関節運動に直接関係する足趾の筋および骨関節機能に着目した.

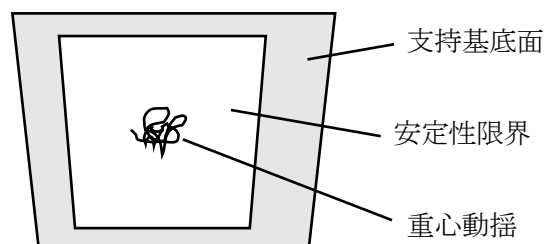


図 1-4 支持基底面・安定性限界・重心動揺の関係から見た姿勢の制御の模式図  
(望月, 2013 を参考に作図)

#### 1-4 バランス能力と接地面積，足趾の筋および骨関節機能との関係

一般人を対象としたバランス能力と足趾の筋および骨関節機能との関係については，村田ら（2004）が，足趾屈筋力は，足関節中間位における立位の足圧中心（COP）動揺に影響を与えていることを示唆した．また，加辺ら（2002）は，足関節中間位における立位の動的姿勢制御において，母趾屈曲は変位した COP を支持する作用，第 2～5 趾の屈曲は変位した COP を中心に戻す作用があること，加えて，足趾屈筋力の強化が，動的バランス能力を向上させることを示唆した．さらに，Otake et al.（2018）は，IPJ 伸展を保持しながら MPJ を底屈させることが，足関節中間位における立位の COP 動揺に影響を与えることを示唆しており，建内ほか（2007）は，被験者の多くが，足趾および足底面の一部が接していないことに着目し，足趾を含めた足底の接地面積，つまり支持基底面の広さと足関節中間位における立位の静的および動的バランス能力との関係について報告している．しかしながら，いずれの先行研究も一般人を対象とした足関節中間位における立位のバランス能力と接地面積，足趾の筋および骨関節機能との関係を検証しており，クラシックバレエダンサーを対象としたドゥミ・ポアントのような狭い支持基底面におけるバランス能力との関係を検証した先行研究はない．

関節の回転運動の向きとトルクの向きは必ずしも一致しないことが明らかにされている（Simonsen et al., 1985; 馬場ほか, 2000）．一般人とクラシックバレエダンサーを比較した先行研究（Nihal et al., 2002; Rowley et al., 2015）では，いずれも足趾底屈筋力に関する検証が行われている．本研究では，クラシックバレエダンサーのドゥミ・ポアントにおける足趾の MPJ で生成される関節トルクは，底屈方向だけではなく，機能解剖学的に示されている外転方向にも発揮され，その外転トルクの発揮が，バランス能力および支持基底面の拡大に貢献するのではないかと考えた．

一般人を対象とした足趾の MPJ 外転，つまり足趾外転運動に関する先行研究では，Gooding et al.（2016）が，足趾外転運動により足部内在筋が活性化すること，Kelly et al.（2012）が，足関節中間位における立位のバランス保持において母趾外転筋が活性化することを明らかにした．また吉本ら（2007）は，母趾外転トレーニングを行うことにより，母趾と示趾の間の距離が増加し，足関節中間位における立位の COP 動揺が減少することを示唆した．しかしながら，クラシックバレエダンサーの足趾外転運動に関する先行研究はなく，またドゥミ・ポアントのような狭い支持基底面におけるバランス能力と足趾外転運動との関係を検証した先行研究はない．

## 1-5 本研究の目的

本研究では、今までクラシックバレエダンサーを対象として検証されていない足趾外転運動に着目し、クラシックバレエダンサーの片脚のトゥミ・ポアントにおけるバランス能力と接地面積、足趾の筋および骨関節機能との関係を検証することを目的とした。

## 第2章 方法

### 2-1 被験者

被験者は、9～18歳の女性クラシックバレエダンサー24名であった。本研究では、Weiss et al., (2009) のトウシューズの練習を始めるためのガイドラインを参考に、クラシックバレエのレッスン経験年数4年以上で、レッスン週6時間（週4回相当）以上のダンサーを対象者とし、被験者24名の両下肢、48下肢を対象に測定を行った。被験者の身体特性は以下の通りである（表2-1）。

本研究では、事前に承認を得た立命館大学びわこ・くさつキャンパスにおける人を対象とする研究倫理審査委員会が制定した「人を対象とする研究倫理」の規定に基づき、各被験者には測定を行う前に、口頭および書面にて、研究の目的・測定の内容・安全性の説明を行い、十分な理解を得られたうえで、すべての被験者から書面による研究参加の同意を得た（承認番号：BKC-人医-2018-072）。

表 2-1 被験者の身体特性

被験者数	24
年齢（歳）	12.5 ± 2.4
身長（cm）	150.9 ± 9.8
体重（kg）	38.1 ± 7.7
バレエ歴（年）	8.5 ± 2.8

### 2-2 測定項目

本研究では、すべての被験者の両下肢の形態測定、足趾筋力測定および片脚のドゥミ・ポアントにおけるバランス能力および接地面積の測定を行った。詳細は以下の通りである。

## 1) 形態測定

### ①基礎形態測定

被験者の自然立位における身長、体重、足長、足幅の測定後、デジタルノギス（ゴシエール社製）を用いて、自然立位における裸足の母趾間および示小趾間距離（各趾尖間の距離）を測定した（図 2-1）。



図 2-1 自然立位における母趾間距離（左）および示小趾間距離（右）の測定

### ②ドゥミ・ポアントにおける足趾間距離測定

被験者は、バレエバーを両手で支えにして閉脚立位の姿勢から片脚をドゥミ・ポアントにした。①と同様に、裸足の母趾間および示小趾間距離を測定した（図 2-2）。測定前に十分な練習を行った後、測定試技は、30 秒間の休憩を挟み、左右脚の測定順は対象ごとにランダムに左右各 3 回とし、その平均値を算出した。被験者には、足関節最大底屈位で、いつでもバレエバーを離しバランスを保持できる状態にするように指示した。



図 2-2 ドゥミ・ポアントにおける母趾間距離（左）および示小趾間距離（右）の測定

## 2) 足趾筋力測定

足趾筋力に関する先行研究では、一般人やアスリートを対象として、足趾屈筋力、足趾底屈筋力、足趾内転筋力といった3種類の足趾筋力についての報告が多くされ(村田ほか, 2004; 加辺ほか, 2002; Yuasa et al., 2018; 長谷川ほか, 2013), またクラシックバレエダンサーを対象とした足趾底屈筋力の報告もいくつか行われている(Rowley et al., 2015; Nihal et al., 2002). 本研究では、クラシックバレエの指導とは異なる、IPJ 屈曲を伴う足趾筋力の測定は除外し、足趾底屈筋力、足趾内転筋力の測定に加えて、今回新たに特注の足趾外転筋力測定器(竹井機器工業社製, S-19002)を用いて、足趾外転筋力を測定した(図 2-3). 測定前に十分な練習を行った後、測定試技は30秒間の休憩を挟み、左右脚の測定順は対象ごとにランダムに左右各3回とし、その最大値を測定値とした。被験者には、可能な限り代償動作を少なくし、足趾の関節運動のみを行うように指示した。

### ①足趾底屈筋力

被験者の測定肢位は、先行研究(Rowley et al., 2015; Yuasa et al., 2018)を参考に、座位(股関節屈曲 $90^{\circ}$ ・膝関節屈曲 $90^{\circ}$ ・足関節底屈 $15^{\circ}$ ・足趾背屈 $60^{\circ}$ )にて、足趾底屈筋力測定器(竹井機器工業社製, T.K.K. 1268)のセンサーに対して垂直方向に、足趾を最大努力で3秒間底屈させた。

### ②足趾内転筋力

被験者の測定肢位は、先行研究(Yamashita et al., 2019)を参考に、座位(股関節屈曲 $90^{\circ}$ ・膝関節屈曲 $90^{\circ}$ ・足関節 $0^{\circ}$ )にて、市販の足趾内転筋力測定器(日伸産業社製, 足趾力計測器チェッカーくん)のセンサーに対して垂直方向に、母趾を最大努力で3秒間内転させた。

### ③足趾外転筋力

被験者の測定肢位は、座位(股関節 $90^{\circ}$ ・膝関節 $90^{\circ}$ ・足関節 $0^{\circ}$ )にて、特注の足趾外転筋力測定器(竹井機器工業社製, S-19002)のセンサー(母趾側, 小趾側の2つ)に対して垂直方向に、母趾および小趾を最大努力で3秒間外転させた。

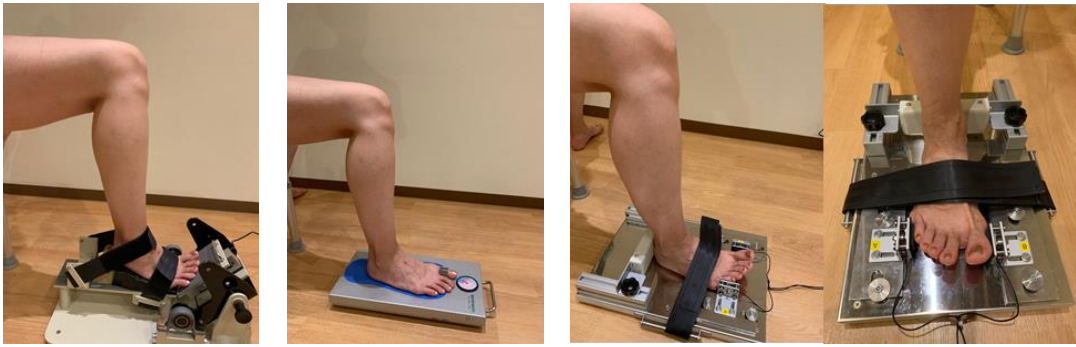


図 2-3 足趾底屈筋力（左），足趾内転筋力（中），足趾外転筋力（右）の測定

### 3) バランス能力および接地面積の測定

本研究では，足圧分布測定器（ニッタ社製，フットビューSAM）の動揺測定モードを用いて，被験者の片脚ドゥミ・ポアントにおけるバランス保持中のサンプリング周波数 30Hz の足圧分布データと Web カメラによるビデオ映像データを同期し取得した．COP と身体重心は厳密には一致しないが，時間平均的にはほぼ等しくなることが明らかになっている（望月，2010）．本研究では，バランス能力に関する指標は，バランス保持時間，COP 動揺の外周面積を採用し，加えてバランス保持中の全フレームにおける接地面積を測定した．測定前に十分な練習を行った後，測定試技は 30 秒間の休憩を挟み，左右脚の測定順は対象ごとにランダムに左右各 2 回とし，姿勢保持した最大 30 秒間を測定した．バランス保持時間は最長値，また，バランス保持時間が最長の回の外周面積および接地面積を測定値とした．被験者は，バレエバーを両手で支えにして，バレエの 5 番ポジション（両下肢を外旋させ，前後に脚をクロスさせたポジション）のドゥミ・ポアントから，支持脚とは反対側の下肢を挙上し，小趾のつま先を支持脚の膝横につけ，最後にバレエバーから片手ずつ両手を離した（図 2-4）．被験者には，5m 程先の壁を見て，足関節を最大努力で底屈し，できるだけ長くバランスを保持するように指示した．なおバランス保持時間は，先行研究（Imura et al., 2018）を参考に，身体の他の部位の動きが最小限で，足関節底屈が保持された期間として定義した．



図 2-4 片脚ドゥミ・ポアントにおける  
バランス能力および接地面積の測定

### 2-3 データ解析および正規化

各測定で得られた測定値を，相対的な評価を行うために正規化した．詳細は以下の通りである．

#### 1) 足趾外転距離変化率

ドゥミ・ポアントと自然立位における各足趾間距離 (mm) の差から算出した値を，足幅 (mm) で除して正規化し，母趾外転距離変化率 (%)，小趾外転距離変化率 (%) とした．

##### ①母趾外転距離変化率 (%)

= (ドゥミ・ポアントにおける母示趾間距離 - 自然立位における母示趾間距離) / 足幅  
× 100

##### ②小趾外転距離変化率 (%)

= (ドゥミ・ポアントにおける示小趾間距離 - 自然立位における母小趾間距離) / 足幅  
× 100



## 2) 足趾筋力

各足趾筋力 (N) を, 体重 (kg) で除して正規化した.

①足趾底屈筋力 (N/kg) = 測定値 / 体重

②足趾内転筋力 (N/kg) = 測定値 / 体重

③母趾外転筋力 (N/kg) = 測定値 / 体重

④小趾外転筋力 (N/kg) = 測定値 / 体重

## 3) バランス能力

外周面積 (cm<sup>2</sup>) を, 足長 (mm) と足幅 (mm) の積で除して正規化した.

①バランス保持時間 (秒)

②外周面積 (%) = 測定値 / 足長 × 足幅 × 100

## 4) 接地面積

バランス保持中の全フレームにおける接地面積の平均値 (cm<sup>2</sup>) を算出し, 足長 (mm) と足幅 (mm) の積で除して正規化し, 接地面積 (%) とした. また, バランス保持中の全フレームにおける接地面積の標準偏差 (cm<sup>2</sup>) を算出し, バランス保持中の全フレームにおける接地面積の平均値 (cm<sup>2</sup>) で除した値である接地面積変動係数を算出した.

①接地面積 (%) = バランス保持中の全フレームにおける接地面積の平均 / 足長 × 足幅 × 100

②接地面積変動係数 = バランス保持中の全フレームにおける接地面積の標準偏差 / バランス保持中の全フレームにおける接地面積の平均

#### 2-4 統計処理

すべての結果は、平均値±標準偏差で示し、足趾筋力の検者内信頼性については、級内相関係数 ICC (1, 3) で評価した。Kolmogorov-Smirnov の方法によって、データの正規性の検定を行い、正規分布をしている項目には、パラメトリック検定を用い、正規分布していない項目には、ノンパラメトリック検定を実施した。左右脚の比較については、対応のある t 検定と Wilcoxon の符号付順位検定を用いて、各算出項目の相関関係については、Pearson の積率相関係数と Spearman の順位相関係数を用いて評価した。本研究における統計処理には、SPSS Statistics Ver.24 (IBM 社製) を用いた。なお、統計学的有意水準は危険率 5%未満とした。

## 第3章 結果

### 3-1 足趾外転距離変化率

足趾外転距離変化率の解析結果を表 3-1 に示した。いずれの項目でも左右の支持脚の間に有意差は認められなかった。

表 3-1 足趾外転距離変化率の結果

項目		mean ± SD
母趾外転距離変化率 (%)	右	3.88 ± 4.42
	左	4.81 ± 4.85
小趾外転距離変化率 (%)	右	9.53 ± 7.27
	左	9.27 ± 8.08

### 3-2 足趾筋力

各足趾筋力の解析結果を表 3-2 に示した。足趾筋力の級内相関係数 ICC (1, 3) は、0.85 から 0.97 の範囲であり、高い再現性を示した。また、いずれの項目でも左右の支持脚の間に有意差は認められなかった。

表 3-2 足趾筋力の結果

項目		mean ± SD	ICC (1,3)
足趾底屈筋力 (N/kg)	右	2.73 ± 0.63	0.97
	左	2.70 ± 0.57	0.96
足趾内転筋力 (N/kg)	右	0.61 ± 0.20	0.94
	左	0.58 ± 0.18	0.85
母趾外転筋力 (N/kg)	右	0.75 ± 0.29	0.96
	左	0.75 ± 0.28	0.93
小趾外転筋力 (N/kg)	右	0.78 ± 0.30	0.96
	左	0.76 ± 0.35	0.95

### 3-3 バランス能力

バランス保持時間と外周面積の解析結果を表 3-3 に示した。外周面積において、左右の支持脚の間に有意差が認められた ( $p<0.01$ ) (図 3-1)。

表 3-3 バランス保持時間と外周面積の結果

項目		mean ± SD	
バランス保持時間 (秒)	右	12.96 ± 10.04	
	左	10.99 ± 8.31	
外周面積 (%)	右	1.48 ± 0.53	]**
	左	1.15 ± 0.45	

\*\* $p<0.01$

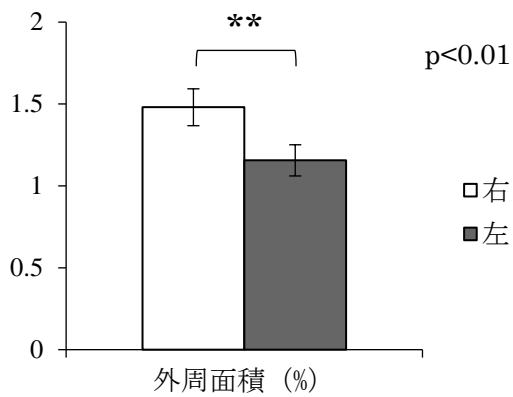


図 3-1 外周面積における左右の支持脚の比較

### 3-4 接地面積

接地面積および接地面積変動係数の解析結果を表 3-4 に示した。いずれの項目でも左右の支持脚の間に有意差は認められなかった。

表 3-4 接地面積および接地面積変動係数の結果

項目		mean ± SD
接地面積 (%)	右	26.23 ± 2.38
	左	26.76 ± 2.30
接地面積変動係数	右	0.10 ± 0.04
	左	0.09 ± 0.04

### 3-5 バランス能力指標間の関係

バランス保持時間と外周面積との相関関係を表 3-5 に示した。両支持脚とも、バランス保持時間と外周面積との間に有意な相関関係は認められなかった。

表 3-5 バランス保持時間と外周面積との関係

右 (n=24)	バランス保持時間
外周面積	-0.12
左 (n=24)	バランス保持時間
外周面積	0.25

### 3-6 接地面積と接地面積変動係数との関係

接地面積と接地面積変動係数との相関関係を表 3-6 に示した。両支持脚の接地面積と接地面積変動係数との間に有意な負の相関関係が認められた（右支持脚  $p < 0.01$ ）（図 3-2）、（左支持脚  $p < 0.05$ ）（図 3-3）。

表 3-6 接地面積と接地面積変動係数との相関関係

右 (n=24)	接地面積
接地面積変動係数	-0.60**
左 (n=24)	接地面積
接地面積変動係数	-0.42*

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

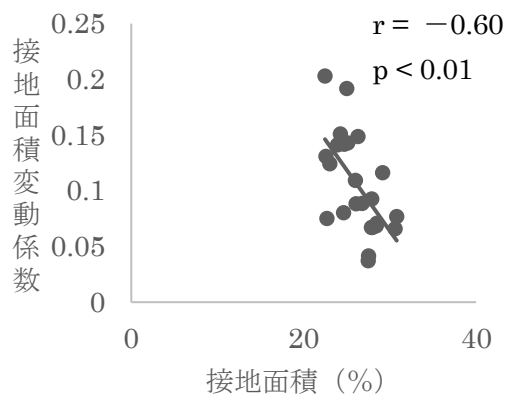


図 3-2 右支持脚の接地面積と  
接地面積変動係数との相関関係

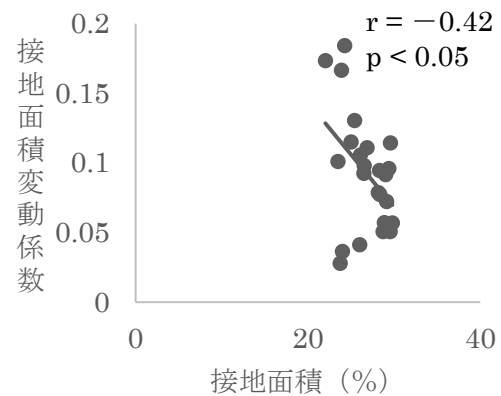


図 3-3 左支持脚の接地面積と  
接地面積変動係数との相関関係

### 3-7 バランス能力と接地面積との関係

バランス能力指標と接地面積および接地面積変動係数との相関関係を表 3-7 に示した。両支持脚のバランス保持時間と接地面積との間に有意な正の相関関係が認められた ( $p < 0.01$ ) (図 3-4), (図 3-5)。また, 右支持脚においては, バランス保持時間と接地面積変動係数との間に有意な負の相関関係が認められた ( $p < 0.01$ ) (図 3-6)。また, 両支持脚の外周面積と接地面積変動係数との間に有意な正の相関関係が認められた (右支持脚  $p < 0.05$ ) (図 3-7), (左支持脚  $p < 0.01$ ) (図 3-8)。

表 3-7 バランス能力指標と接地面積および接地面積変動係との相関関係

右 (n=24)	バランス保持時間	外周面積
接地面積	0.52**	-0.22
接地面積変動係数	-0.57**	0.48*
左 (n=24)	バランス保持時間	外周面積
接地面積	0.60**	-0.07
接地面積変動係数	0.23	0.60**

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

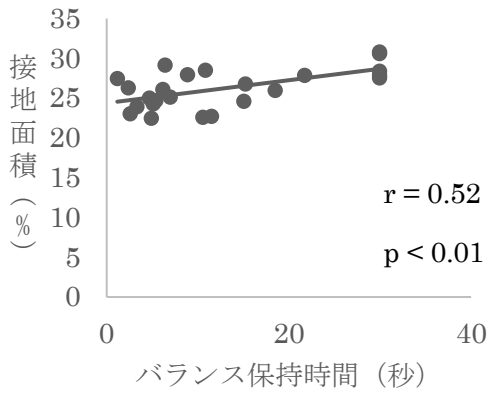


図 3-4 右支持脚のバランス保持時間と  
接地面積との相関関係

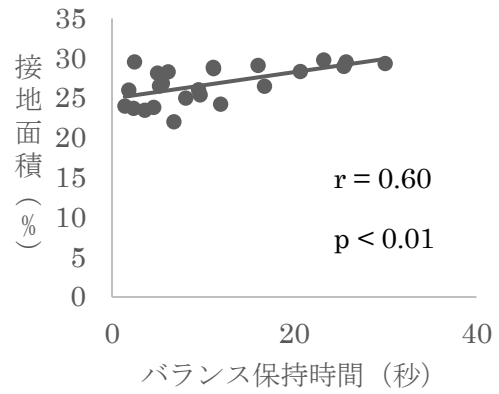


図 3-5 左支持脚のバランス保持時間と  
接地面積との相関関係

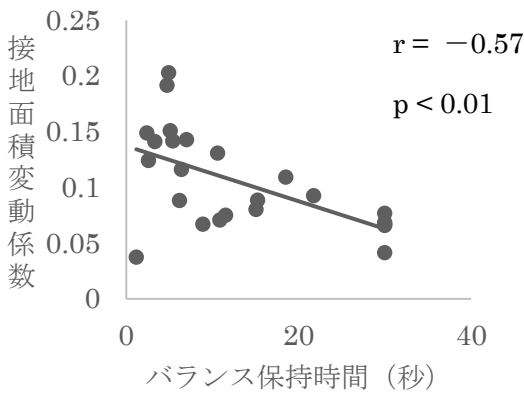


図 3-6 右支持脚のバランス保持時間と  
接地面積変動係数との相関関係

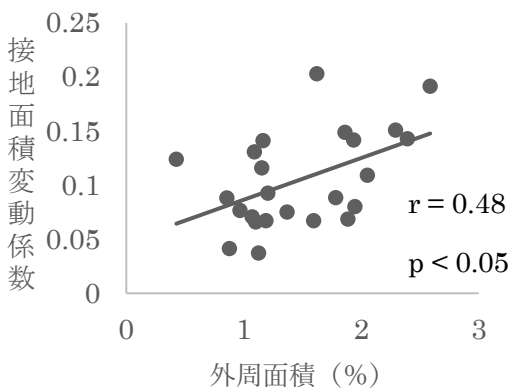


図 3-7 右支持脚の外周面積と  
接地面積変動係数との相関関係

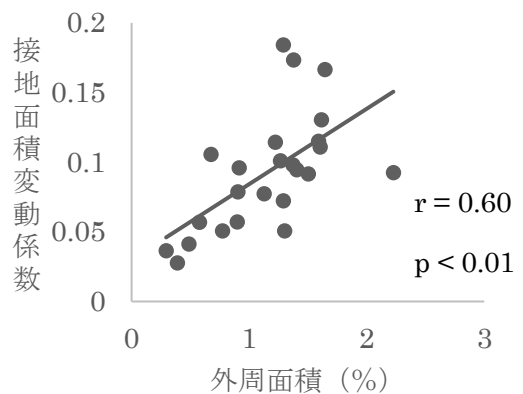


図 3-8 左支持脚の外周面積と  
接地面積変動係数との相関関係



### 3-8 バランス能力および接地面積と足趾筋力との関係

バランス能力指標、接地面積および接地面積変動係と足趾筋力との相関係数を表 3-8 に示した。右支持脚の接地面積と小趾外転筋力との間に有意な正の相関関係が認められた ( $p < 0.05$ ) (図 3-9)。また左支持脚においても、有意な相関関係は認められなかったが、同様の傾向が見られた。

表 3-8 バランス能力指標、接地面積および接地面積変動係数と足趾筋力との相関関係

右 (n=24)	バランス 保持時間	外周面積	接地面積	接地面積 変動係数
足趾底屈筋力	-0.10	-0.19	0.11	-0.16
足趾内転筋力	0.08	0.07	-0.21	-0.04
母趾外転筋力	0.02	-0.13	0.05	-0.09
小趾外転筋力	0.30	-0.06	0.41*	-0.31
左 (n=24)	バランス 保持時間	外周面積	接地面積	接地面積 変動係数
足趾底屈筋力	-0.11	-0.38	0.00	-0.09
足趾内転筋力	0.07	-0.31	0.03	-0.17
母趾外転筋力	0.22	-0.18	0.33	-0.31
小趾外転筋力	0.12	0.12	0.39	-0.15

\*  $p < 0.05$

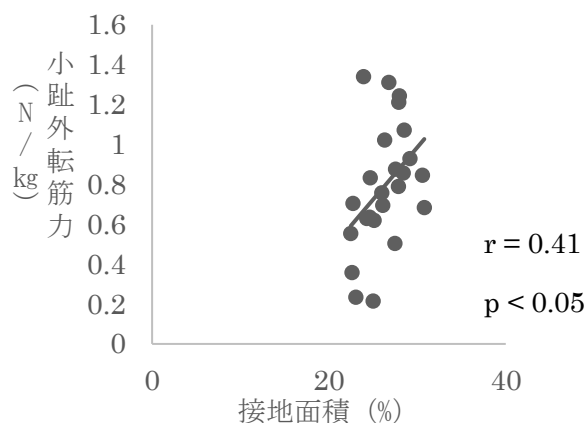


図 3-9 右支持脚の接地面積と小趾外転筋力との相関関係

### 3-9 バランス能力および接地面積と足趾外転距離変化率との関係

バランス能力指標、接地面積および接地面積変動係数と足趾外転距離変化率との相関係数を表 3-9 に示した。右支持脚の外周面積と小趾外転距離変化率との間に有意な負の相関関係が認められた ( $p < 0.05$ ) (図 3-10)。左支持脚においては、いずれの項目との間にも有意な相関関係は認められなかった。

表 3-9 バランス能力、接地面積および接地面積変動係数と足趾外転距離変化率との相関関係

右 (n=24)	バランス 保持時間	外周面積	接地面積	接地面積 変動係数
母趾外転距離 変化率	-0.05	-0.07	-0.03	0.26
小趾外転距離 変化率	0.18	-0.44*	0.21	-0.25
左 (n=24)	バランス 保持時間	外周面積	接地面積	接地面積 変動係数
母趾外転距離 変化率	0.04	0.21	-0.33	0.34
小趾外転距離 変化率	0.17	0.24	0.17	0.03

\*  $p < 0.05$

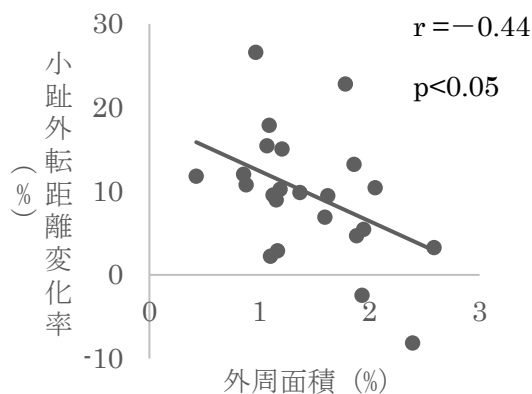


図 3-10 右支持脚の外周面積と小趾外転距離変化率との相関関係

## 第4章 考察

本研究では、クラシックバレエダンサーのドゥミ・ポアントにおける足趾の関節運動に関して、今まで検証されていない足趾外転運動に着目し、9歳～18歳までの女性のクラシックバレエダンサーを対象に、片脚ドゥミ・ポアントにおけるバランス能力と接地面積、足趾の筋および骨関節機能との関係を検証することを目的とした。

本研究の結果では、クラシックバレエダンサーの片脚ドゥミ・ポアントにおけるバランス保持中の接地面積と接地面積変動係数との間に有意な負の相関関係が認められ（右支持脚  $p<0.01$ 、左支持脚  $p<0.05$ ）、加えてバランス保持時間と接地面積との間に有意な正の相関関係が認められた（ $p<0.01$ ）。

また右支持脚においては、接地面積と小趾外転筋力との間に有意な正の相関関係が認められ（ $p<0.05$ ）、左支持脚においても、有意な相関関係は認められなかったが、同様の傾向が見られた。さらに右支持脚においては、外周面積と小趾外転距離変化率との間に有意な負の相関関係が認められた（ $p<0.05$ ）。

外周面積においては、左右の支持脚の間に有意差が認められ（ $p<0.01$ ）、加えて両支持脚の外周面積と接地面積変動係数との間に有意な正の相関関係が認められた（右支持脚  $p<0.05$ 、左支持脚  $p<0.01$ ）。しかしながら、右支持脚においては、接地面積変動係数とバランス保持時間との間に有意な負の相関関係が認められた（ $p<0.01$ ）一方で、左支持脚においては、有意な相関関係が認められなかった。

#### 4-1 バランス保持時間と接地面積との関係

足裏の接地面積の広さは、すなわち支持基底面の広さとなり、支持基底面が広いほどバランスの保持は容易となる（望月，2008）。Lobo et al. (2013) は、クラシックバレエダンサーの片脚ドゥミ・ポアントにおける、バレエシューズを履いた時と裸足の時の4秒間のバランス保持を比較して、裸足の時の方が、足部の接地面積が広く、外周面積が狭くなることを明らかにした。できるだけ長くバランスを保持するように被験者に指示した本研究の結果では、接地面積と外周面積との間に有意な相関関係は認められなかったが、接地面積とバランス保持時間との間に有意な正の相関関係が認められ（表 3-7）、接地面積が、バランス保持時間に影響を与えることが明らかになった。

また、MPJ 背屈位であるドゥミ・ポアントにおけるバランス保持では、中足骨頭部の接地部位は、足の長軸である第2中足骨と各中足骨の長さの違いが影響を与えることが推察される（クリッピングァー，2013）（図 4-1）。本研究の足圧分布データからも、各中足骨頭部および足趾が接地不良なパターンが観察され、加えて、バランス保持中の接地面積の変化および接地不良の部位が移り変わる様子が観察された（図 4-2）。本研究の結果では、接地面積と接地面積のばらつきを表す接地面積変動係数との間には、有意な負の相関関係が認められており（表 3-6）、接地不良の部位が少ないこと、つまり接地面積が広いこととそのばらつきが小さいことが関係していることが明らかになった。以上をまとめると、片脚のドゥミ・ポアントにおいて、接地面積を広くできるクラシックバレエダンサーは、接地面積のばらつきが小さく、バランス保持時間が長いということが明らかになった。

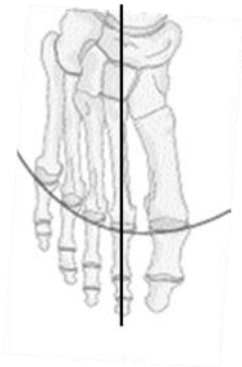


図 4-1 足の長軸である第2中足骨と各中足骨の長さの違いの例

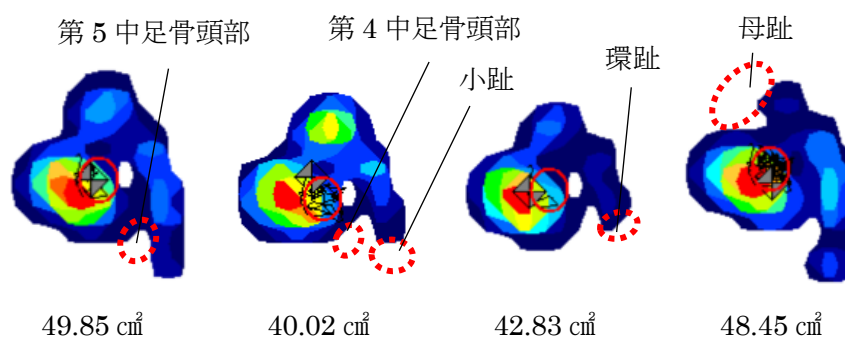


図 4-2 同一被験者（右支持脚）のバランス保持中の接地面積（正規化前）の変化および接地不良の部位が移り変わる様子の例

#### 4-2 接地面積と小趾外転筋力との関係

足関節底屈時は、構造的に骨性の制動が乏しく、さらに足関節外側の靭帯が内側に比べて脆弱であることから（福本，2016; Waterman et al., 2010），足関節には、内反、内旋トルクが作用する傾向にあることが報告されている（Kobayashi et al., 2014; Gerber et al., 1998）。このことから、クラシックバレエダンサーのドゥミ・ポアントにおけるバランス保持においても、足関節には、内反、内旋方向にトルクが作用し、小趾側に COP が動揺する傾向にあることが推察される。足関節の骨性および靭帯性の制動因子の乏しさを補い、足関節および足部の関節の安定性を高めるためには、多くの筋を関与させる必要がある（クリッピングー，2013）。Ferris et al. (1995) は、つま先立ちにおいては、足関節および足部の関節に外反、外旋トルクを発揮する腓骨筋群の作用により足底圧が内側へ集中することを報告している。また、機能解剖学的には、長腓骨筋、短腓骨筋、小趾外転筋の協調的な作用により、第 5 中足骨、立方骨、踵骨で構成される足部の外側縦アーチの剛性が高まることが考えられ、さらに、小趾外転筋の作用により、小趾が床面に接地し支持基底面が形成されることが推察される。本研究では、足趾底屈筋力、足趾内転筋力、母趾外転筋力、小趾外転筋力の測定を行ったが、右支持脚における小趾外転筋力のみ接地面積との間に有意な正の相関関係が認められた（表 3-8）。このことから、右支持脚のドゥミ・ポアントにおいて、小趾外転筋力の強さが、接地面積の広さに影響を与えること、加えて、小趾外転筋力測定における小趾外転筋および協働筋群の動員様相が、バランス保持動作のものと類似している可能性が示唆された。また左支持脚においても、有意な相関関係は認められなかったが、同様の傾向が見られた。

#### 4-3 外周面積と小趾外転距離変化率との関係

吉本ら（2007）は、母趾外転トレーニングによって母趾と示趾の間の距離が増加し、足関節中間位における立位の COP 動揺が減少することを示唆した。小趾外転距離と COP 動揺の関係を検証した先行研究はないが、母趾同様の効果が推察される。本研究では、クラシックバレエダンサーの右支持脚のドゥミ・ポアントにおけるバランス保持中の外周面積と母趾外転距離変化率との間には、有意な相関関係は認められなかったが、小趾外転距離変化率との間に有意な負の相関関係が認められた（表 3-9）。この結果はつまり、右支持脚のドゥミ・ポアントにおいて、小趾を大きく外転させることが、COP 動揺の制御に影響を与えることが示唆された。しかしながら、足関節中間位による吉本ら（2007）の結果とは違い、母趾外転距離変化率と COP 動揺の関係が認められなかったことは、先述したように、足関節底屈位では、小趾側に COP が動揺する傾向にあることが関係する可能性があると考えられる。

#### 4-4 左右の比較および本研究の限界

本研究では、クラシックバレエダンサーの片脚のドゥミ・ポアントにおけるバランス保持中の外周面積において、左右の支持脚の間に有意差が認められ、左よりも右支持脚が広いという結果が認められた（表 3-3）。外周面積は、COP 動揺の面積を表す指標であると同時に、不安定な支持基底面では、安定性限界を表す指標でもあることから、右支持脚は安定性限界が広く、左支持脚は安定性限界が狭い可能性が考えられる。また、本研究では、バランス保持時間においては、左右の支持脚の間に有意差は認められず（表 3-3）、さらに、バランス保持時間と外周面積との間には有意な相関関係は認められなかった。しかしながら、右支持脚においては、外周面積が狭ければ、バランス保持時間が長い一方で、左支持脚においては、外周面積が広ければ、バランス保持時間が長い傾向が見られた（表 3-5）。加えて、外周面積と接地面積変動係数との間には、両支持脚とも有意な正の相関関係が認められ、右支持脚における接地面積変動係数とバランス保持時間との間に有意な負の相関関係が認められた一方で、左支持脚においては有意な相関関係が認められなかった（表 3-7）。このことから、クラシックバレエダンサーの片脚のドゥミ・ポアントにおけるバランス保持時間を長くするためには、右支持脚においては、接地面積のばらつきを小さく、COP 動揺面積を狭くすること、一方、左支持脚においては、接地面積のばらつきに関係なく、安定性限界を広くすることが必要である可能性が考えられる。

足関節中間位の立位における重心動揺の制御には、大きく分けて、股関節の運動による股関節戦略および足関節の運動による足関節戦略の 2 つあると考えられている。Horak (2006) は、足関節戦略は、小さな動揺に対してバランスを保持するのに生じ、股関節戦略は、適切な足関節トルクが得られない狭い、もしくは不安定な支持基底面で生じ、加えて性急、または大きな動揺に対してバランスを保持するのに生じること、加えて、安定性限界が広い被験者は、足関節の運動により重心動揺を制御し、狭い被験者は、股関節の運動により重心動揺を制御することを示唆した。本研究では、右支持脚における外周面積と足関節戦略と関係すると推察される小趾外転距離変化率との間に有意な負の相関関係が認められた一方で、左支持脚においては有意な相関関係が認められなかった (表 3-9)。このことから、クラシックバレエダンサーの片脚のドゥミ・ポアントにおけるバランス保持では、右支持脚は、安定性限界が広く、COP 動揺の制御には、小趾 MPJ 外転運動を含む足関節運動による足関節戦略が影響を与え、左支持脚は、安定性限界が狭く、COP 動揺の制御には、股関節の運動による股関節戦略が影響を与える可能性が考えられる。しかしながら、本研究では、足関節および股関節の筋および骨関節機能に関する測定を行っていないため、今後、このような左右の比較および非対称性に関しては、引き続き、検証が必要である。

#### 4-5 現場への応用

実際の指導現場では、クラシックバレエダンサーのドゥミ・ポアントにおける足趾の関節運動に関しては、「足趾を曲げずに床を押す」、もしくは「足趾を開きながら立つ」といった言葉がけが行われているが、それらに対する科学的根拠は不足している。本研究では、今までクラシックバレエダンサーを対象として検証されていない足趾外転運動に着目し、片脚のドゥミ・ポアントにおけるバランス能力と接地面積、足趾の筋および骨関節機能との関係を検証した。

姿勢の制御は、神経、感覚、認知、筋、骨関節機能など多くの要素によって達成されるものである (望月, 2013) が、本研究の結果から、片脚のドゥミ・ポアントにおいて、接地面積を広くできるクラシックバレエダンサーは、接地面積のばらつきが小さく、バランス保持時間が長いということが明らかになった。また、右支持脚においては、小趾外転筋力が接地面積に影響を与えること、加えて、小趾を大きく外転させることが COP 動揺の制御に影響を与えることが示唆された。本研究の結果を踏まえると、クラシックバレエダ

ンサーが、片脚のドゥミ・ポアントにおけるバランス能力を高めるためには、右支持脚においては、小趾外転筋力および小趾外転トレーニングが有効であると考えられ、統一した指導見解のないドゥミ・ポアントにおける足趾の関節運動に関して、有益なデータを提供できると考える。



## 第5章 結論

本研究では、今までクラシックバレエダンサーを対象として検証されていない足趾外転運動に着目し、クラシックバレエダンサーの片脚のドゥミ・ポアントにおけるバランス能力と接地面積、足趾の筋および骨関節機能との関係を検証することを目的とした。その結果、

1. 片脚のドゥミ・ポアントにおいて、接地面積を広くできるクラシックバレエダンサーは、接地面積のばらつきが小さく、バランス保持時間が長いということが明らかになった。
2. 右支持脚のドゥミ・ポアントにおいて、小趾外転筋力の強さが、接地面積の広さに影響を与えることが示唆された。
3. 右支持脚のドゥミ・ポアントにおいて、小趾を大きく外転させることが、COP 動揺の制御に影響を与えることが示唆された。

以上のことより、クラシックバレエダンサーの片脚のドゥミ・ポアントにおけるバランス能力と接地面積との関係が明らかになり、右支持脚においては、小趾外転運動がバランス能力に影響を与えることが示唆された。

## 参考文献

1. Ali Z, Karim H, Wali N, Naraghi R. The inter- and intra-rater reliability of the Maestro and Barroco metatarsal length measurement techniques. *J Foot Ankle Res.* 2018; 11:47.
2. 馬場崇豪, 和田幸洋, 伊藤章. 短距離走の筋活動様式. *体育学研究.* 2000;45(2):186-200.
3. Brown CN, Mynark R. Balance deficits in recreational athletes with chronic ankle instability. *J Athl Train.* 2007;42(3):367-73.
4. Costa MS, Ferreira A, Felicio LR. Static and dynamic balance in ballet dancers: a literature review. *Fisioterapia e Pesquisa.* 2013;20(3):299-305.
5. Ferris L, Sharkey NA, Smith TS, Matthews DK. Influence of extrinsic plantar flexors on forefoot loading during heel rise. *Foot Ankle Int.* 1995;16(8):464-73.
6. 福本貴彦. 足関節のバイオメカニクス. *Jpn J Rehabil Med.* 2016;53:779-84.
7. Gerber JP, Williams GN, Scoville CR, Arciero RA, Taylor DC. Persistent disability associated with ankle sprains: a prospective examination of an athletic population. *Foot Ankle Int.* 1998;19(10):653-60.
8. Goldmann JP, Brüggemann GP. The potential of human toe flexor muscles to produce force. *J Anat.* 2012;221(2):187-94.
9. Gooding TM, Feger MA, Hart JM, Hertel J. Intrinsic Foot Muscle Activation During Specific Exercises: A T2 Time Magnetic Resonance Imaging Study. *J Athl Train.* 2016;51(8):644-650.
10. Hamilton WG, Hamilton LH, Marshall P, Molnar M. A profile of the musculoskeletal characteristics of elite professional ballet dancers. *Am J Sports Med.* 1992;20(3):267-73.
11. Hashimoto T, Sakuraba K. Strength training for the intrinsic flexor muscles of the foot: effects on muscle strength, the foot arch, and dynamic parameters before and after the training. *J Phys Ther Sci.* 2014;26(3):373-6.
12. 長谷川正哉, 金井秀作, 島谷康司, 城野靖朋, 島田雅史, 大塚彰. 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.*

2013;22:15-9

13. Henry SM, Fung J, Horak FB. EMG responses to maintain stance during multidirectional surface translations. *J Neurophysiol.* 1998;80(4):1939-50.
14. Hicks JH. The mechanics of the foot. II. The plantar aponeurosis and the arch. *J Anat.* 1954;88(1):25-30.
15. Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls?. *Age Ageing.* 2006;35 Suppl 2:ii7-ii11.
16. 市橋則明. 筋力トレーニングの基礎知識—筋力に影響する要因と筋力増強のメカニズム—. 京都大学医療技術短期大学部紀要別冊. 健康人間学. 1997;9:33-39.
17. Imura A, Nagaki H, Goto T, Higuchi T. Motion of center of pressure during standing on tip toe on one leg: association with forefoot shape of classic ballet dancers. *ISBS Proceedings Archive.*2018; 36(1)174.
18. ジャスティンハウス, モイラマコーミック, ダンステクニックとケガーその予防と治療—. 大修館書店. 2016;67-71
19. Kadel N. Foot and ankle problems in dancers. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2014;25(4):829-44.
20. 加辺憲人, 黒澤和生, 西田裕介, 岸田あゆみ, 小林聖美, 田中淑子, 牧迫飛雄馬, 増田幸泰, 渡辺観世子, 足趾が動的制御に果たす役割に関する研究. *理学療法科学.* 2002;17(3):199-204
21. Kappel-bargas A, Woolf RD, Cornwall MW, Mcpoil TG. The windlass mechanism during normal walking and passive first metatarsalphalangeal joint extension. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 1998;13(3):190-4.
22. クリッピンガー, ダンスの解剖・運動学大事典. 西村書店. 2013:285-7.
23. Kelly LA, Kuitunen S, Racinais S, Cresswell AG. Recruitment of the plantar intrinsic foot muscles with increasing postural demand. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2012;27(1):46-51.
24. Kobayashi T, Gamada K. Lateral Ankle Sprain and Chronic Ankle Instability: A Critical Review. *Foot Ankle Spec.* 2014;7(4):298-326.
25. Lobo da costa PH, Azevedo nora FG, Vieira MF, Bosch K, Rosenbaum D. Single leg balancing in ballet: effects of shoe conditions and poses. *Gait Posture.*

- 2013;37(3):419-23.
26. 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;19:245-9
  27. 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;15(1):2-8.
  28. 望月久. バランス障害に対する理学療法. 理学療法学. 2013;40(4):322-5.
  29. 望月久. 立位姿勢の安定感と重心動揺計によるバランス能力評価指標との関連性. 文京学院大学保健医療技術学部紀要. 2009;2:55-60.
  30. 西守隆. バランスの評価. 関西理学. 2003;3:41-7
  31. Nihal A, Goldstein J, Haas J, et al. Toe flexor forces in dancers and non-dancers. *Foot Ankle Int.* 2002;23(12):1119-23.
  32. Otake Y, Yozu A, Fukui T, Sumitani M, Haga N. Relationship between Toe Flexion Movement and Center of Pressure Position. *International Journal of Foot and Ankle.* 2018;2:015
  33. Rowley KM, Jarvis DN, Kurihara T, Chang YJ, Fietzer AL, Kulig K. Toe Flexor Strength, Flexibility and Function and Flexor Hallucis Longus Tendon Morphology in Dancers and Non-Dancers. *Med Probl Perform Art.* 2015;30(3):152-6.
  34. Russell JA, Kruse DW, Koutedakis Y, Mcewan IM, Wyon MA. Pathoanatomy of posterior ankle impingement in ballet dancers. *Clin Anat.* 2010;23(6):613-21.
  35. Russell JA, Shave RM, Kruse DW, Koutedakis Y, Wyon MA. Ankle and foot contributions to extreme plantar and dorsiflexion in female ballet dancers. *Foot Ankle Int.* 2011;32(2):183-8.
  36. Simonsen EB, Thomsen L, Klausen K. Activity of mono- and biarticular leg muscles during sprint running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1985;54(5):524-32.
  37. 建内宏重, 市橋則明. 高齢者における足底感覚と足圧分布および足底接地状態が立位バランス能力に与える影響. 京都大学医学部保健学科紀要. 2008;4:25-30.
  38. Waterman BR, Owens BD, Davey S, Zacchilli MA, Belmont PJ. The epidemiology of ankle sprains in the United States. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92(13):2279-84.

39. Weiss DS, Rist RA, Grossman G. When can I start pointe work? Guidelines for initiating pointe training. *J Dance Med Sci.* 2009;13(3):90-2.
40. Yamashita T, Yamashita K, Rinoie C, et al. Improvements in lower-limb muscle strength and foot pressure distribution with foot care in frail elderly adults: a randomized controlled trial from Japan. *BMC Geriatr.* 2019;19(1):83.
41. Yuasa Y, Kurihara T, Isaka T. Relationship Between Toe Muscular Strength and the Ability to Change Direction in Athletes. *J Hum Kinet.* 2018;64:47-55.
42. 吉本陽二,神谷早智子,淵岡聡,奥田邦晴,中江徳彦. 母社外転トレーニングが片足立位バランスに及ぼす影響について. *Journal of Rehabilitation and Health Sciences.* 2007; 5:19-23.

## 謝辞

本研究を遂行し修士学位論文を作成するにあたり、多くのご支援とご指導を賜りました指導教員である伊坂忠夫教授に感謝の意を表します。また、修士学位論文のご指導を下さった副査の長野明紀教授、上田憲嗣准教授に深く感謝をいたします。そして研究計画からデータ分析、考察、結論に至るまで丁寧かつ手厚いご指導をいただきました栗原俊之准教授、福谷充輝助教、佐藤隆彦特任助教、スポーツ健康科学部の教員の皆様、そして伊坂研究室の皆様に厚くお礼を申し上げます。さらには、実験のご理解をいただき、快く被験者を引き受けてくださった被験者および保護者の皆様に深く感謝をいたします。

最後に、大学院での研究活動を暖かく見守り応援してくれた家族に、改めて感謝の意を表します。