

# 足圧分布測定装置を用いた傾斜板上の幼児立位姿勢の解析

Analysis of Infantile Standing Posture on an Inclined Plate Using a Plantar Pressure Distribution Measuring Device

中川博文 朝元尊  
大村真未 壁谷瑠莉芳

## 概要：

近年、子供の足趾に地面と接しない浮き趾（不接地趾）が増加しており、足趾を取り巻く問題が子供の健全な発育発達への影響を懸念する声が増えつつある。本研究は姿勢保持や運動機能を果たすうえで極めて重要な要素である幼児のバランス能力を定量的に把握する目的で、傾斜板上における立位姿勢の足底と床面の接触圧分布（足圧分布）測定を行い足趾機能面に着目し解析を行った。傾斜板は水平面から前傾角度（ $\theta$ ）を $0^\circ \sim 15^\circ$ （ $5^\circ$  間隔）で変えることが可能で、この板上に足圧分布測定装置を固定し、被験児にはこの装置の受圧板上に開眼 15 秒間の両脚立位状態で静かに立ってもらった。対象は 3 歳（年少）、4 歳（年中）、5 歳（年長）の健常な男女児 129 名である。測定装置により得られた画像データは、①足圧中心（Center of Pressure, 以下 COP と略）位置が足の支持基底面上の何処に設定されているか、②身体動揺を反映する COP 移動軌跡長はどれ程か、③立位姿勢保持で足趾が受ける圧は足全体のどの程度か等の 3 点で数値化し、性別および年齢別の違いを調べた。その結果、足趾部の接触圧は $\theta$ が大きくなるにつれ増加したが、加齢によりその値は減少傾向を示した。また、身体動揺は加齢とともに減少し立位姿勢の安定性が高まることがわかった。男女間の比較で、身体動揺はどの年齢でも女児が男児に比べ少なく、女児の姿勢の安定性が高いことを示した。 $\theta$ の増加により立位姿勢の動揺が高まるが、5 歳女児は $\theta$ が最大  $15^\circ$  の難度の高い条件下で足趾圧は低く COP の後方移動も見られず、さらには身体動揺も比較的少なく抑えられており安定した姿勢維持が行われていた。5 歳女児は足趾への依存が少ない方法での安定姿勢を維持する能力を有している可能性が示唆された。

キーワード：幼児，立位姿勢維持，傾斜板，足圧分布，足趾圧比率

## 1. はじめに

文部科学省の諮問委員会である幼児期運動指針策定委員会が平成24年3月に策定した幼児期運動指針ガイドブック<sup>1)</sup>の中で、幼児期は生涯にわたって必要な多くの運動のもととなる多様な動きを幅広く獲得する非常に大切な時期であるとしており、この時期の様々な経験や活動がその後の人生で大事な時期となることを述べている。また、同様に、この時期の重要性を表したものとして、子供の成長が20歳で100%に達成するとみなし、その成長過程を4つの身体の諸属性の変化としてグラフ化したスキヤモンの発育曲線<sup>2)</sup>がある。これは1930年にScammonにより提唱されたもので、グラフからはこの時期の発育状態が一目瞭然で見取れる。本研究で対象とした3～5歳頃の幼児は、この発育曲線に照らして見ると、神経系の発達が成人期の80～90%に達する時期で、神経の発達が活発な段階にあることがわかる。前述の文部科学省の幼児期運動指針で示された幼児期が人生の基盤をつくる重要な時期として捉えられるのもこうした点からも窺い知れる。一方、これは作成されて以来、今日まで相当の年月が経過しており、藤井<sup>3)</sup>によると、未だに十分な科学的検証がなされていないとのことであり、今後の詳細な検証が待たれる。

以上のような点を踏まえ、現代社会に目を向けると、今日の社会は科学技術の進歩がめざましく大きく変貌を遂げてきており、その一つが交通機関の発達である。自動車の開発は物流等を活発化し産業の発展を促進したが、その一方で人を歩く機会から遠ざけてしまい、本来あるべき直立二足歩行の機会が段々と失われてきている。また、開発に伴い都市化が急速に進み公園や広場等の子どもの遊び場が減少し、本来こうした環境下で獲得していく機能が十分獲得できず、結果的に子供の体力・運動能力等の低下を招いているとの指摘が多く見受けられるようになってきた<sup>4,5)</sup>。

そこで、このような背景のもとに本研究は、幼児が普段の生活で行なう立位等の姿勢保持動作や、歩く等の運動機能を果たすために不可欠のバランス能力の力学的側面の解析を行った。人のバランス能力はスポーツ競技のような高度のバランス感覚を要するものから、座位や立位等の日常で果たす動作時のバランス能力まで多岐に亘っている。このように複雑多様な人のバランス能力を普遍化して統一的に定義することは難しいが、一応の目安として、Shumway-Cookら<sup>6)</sup>による定義がある。つまり、「人体は支持基底面を変化せずに身体を保持できる範囲である安定域に身体の重心を取めることができる能力である」としている。

重力が作用する地球環境下で、力学的には非常に不安定要素の多い人体が2本足で立ったり歩いたり等の諸動作を行うことができるのは、危険な転倒を回避するための巧みなバランスの維持調節能を発揮する仕組みが備わっているためである。この仕組みは、中枢神経系を中心とした視覚系、感覚系、骨格筋系等の機能を統合し行われる姿勢保持や歩行等の制御システムである。諸々の動作は力学的には体重心（Center of Mass, 以下COMと略）の移動を伴うため、その能力は体重心の位置や変位等をもとに評価が行われてきている。これまで最も汎用されている方法には、人体が物体表面と接する部分である足底と床との接触部（支持基底面）を通過する仮想重心線の位置（COP）を重心動揺計等により可視化し、ある一定時間内でCOPの移動距離や面積等を測定する方法がある。この方法は医療面では、めまいやふらつき等の鑑別診断への利用を目的とした検査方法として用いられている。

通常、立位姿勢や歩行等の動作は足が床面等と直接接して力を伝達することで達成される。人の足の特徴は、解剖学的には内側縦アーチ、外側縦アーチと横アーチの3つのアーチで構成されており、複雑な接地面形状（凹凸状態）でも、その形状変化に即応しながら安定した姿勢保持機能を果たす仕組みが備わっている。ところが、幼児期で扁平足、外反母趾等の足部形態の異常が観察されており、成長期の発達が著しい時期への影響が懸念されている<sup>7)</sup>。

最近、足趾が地面と接しない不接地趾と呼ばれる浮き趾は増加する傾向が見られている<sup>8,9)</sup>。福山(2014)の報告<sup>10)</sup>では、浮き趾群は足趾把持筋力低下、重心の前方移動能力、歩行、足趾機能の運動覚等に低下が見られたとしているが、その一方で、浮き趾との関連が指摘されるバランス能力との間では因果関係を決定付けるような証拠は未だに見つかっていない。浮き趾の調査には足裏接地部形状を絵具や墨等で象りしたり、ピドスコープという装置を用いて足底の接地部形状を映し出したりする方法等が一般には行われている<sup>10,11)</sup>。浮き趾例では足趾把持筋力低下があるとして、足趾把持筋力測定が行われている。足趾把持筋力測定は手の握力測定と同様な原理により足趾屈筋力を計る装置を用いて行われる。専用レバーに足趾をひっかけて足趾を屈曲させたときに発生する筋出力を測定するものである<sup>12)</sup>。足趾が立位で果たす機能は床面を押す力であることから、足趾把持筋力測定はこの押す力を直接測定していることにはならないとして、足趾が直接、床面を押す垂直抗力を測定する装置の開発も行われるようになった<sup>13)</sup>。何れも足趾筋出力の定量評価の重要性を示したもので、足趾に関する問題の解決や対策等には不可欠と思われる。ただ、足趾把持力測定は足趾屈筋群の瞬間的に発揮する力の最大値をはかるため、スポーツ競技や瞬間的に大きな力が加わるような筋出力の有無を知る事は有効と思われるが、立位姿勢のような静的状態での持久的な筋力評価も必要かもしれない。

以上のような観点から、本研究は幼児の立位姿勢の力学的側面を把握するために、足圧分布測定データをもとに、足趾機能が姿勢維持調節システムにどのように関与しているかを検討した。本研究では、立位姿勢保持における幼児の足趾機能特徴を浮き彫りにする必要から前傾斜面上での立位試験を実施した。傾斜板上は平地と異なり、不安定な環境下での立位動作のため、安定姿勢を維持するためには足趾機能を活発に機能させることが考えられ、その難度の調節は $\theta$ を変えることで達成できるため本研究で採用した。

そこで、本研究を実施するにあたり、①前傾角度のある斜面上での立位姿勢動作は不安定性が増し、足底内在筋や足趾屈筋群の機能が平地での場合に比べ多く導出され、 $\theta$ の増加とともに足圧中心 COP の前方移動が増え、足趾部圧の増加を来す、②不安定な面上での姿勢維持のため身体動揺は増し COP の移動軌跡長は増加する。特に、加齢により身長、体重等の体格が大きくなると、 $\theta$ の増加に伴い足関節を回転中心とした反時計回りのモーメントは増大し、それに対抗する足趾部圧等の値は増加することになる等の仮説をもとに検討を行った。本研究の成果は広く幼児等の健康指導の一助とすることを念頭に置いている。

## 2. 対象

対象は静岡県浜松市内にある幼稚園に通う健康な3歳（年少）、4歳（年中）、5歳（年長）児の計129（男64＋女65）名である。対象児の内訳は表1の通りである。身長、体重等の体格には何れの年齢も性差はなかった。本研究の遂行にあたっては事前に被験児の保護者に

表1 被験児の内訳

対象	性別（人数）	月齢		体格	
		範囲	平均	平均身長（cm）	平均体重（kg）
3歳児 （年少）	男（20）	43 - 54	48.9 ± 3.6	100.0 ± 2.9	16.0 ± 1.2
	女（20）	43 - 55	48.1 ± 3.3	99.8 ± 4.4	15.8 ± 2.0
4歳児 （年中）	男（20）	56 - 66	60.8 ± 3.2	106.1 ± 4.7	17.4 ± 2.5
	女（21）	55 - 65	60.3 ± 3.5	105.9 ± 4.1	17.3 ± 1.6
5歳児 （年長）	男（24）	68 - 78	73.3 ± 3.1	113.9 ± 4.0	20.6 ± 3.0
	女（24）	67 - 78	72.1 ± 3.5	111.8 ± 4.7	19.0 ± 2.7

対して、本研究への参加は任意であり拒否できること、途中で辞退しても不利益を受けないこと、データの匿名性の確保やその廃棄方法ならびに結果の公表方法等について文書で説明を行い、研究への参加者全員より同意を得た。なお、本研究計画書は豊橋創造大学研究倫理委員会の承認（研究課題番号 21902001 承認番号：H2019001）を受けて実施した。なお、本研究において開示すべき利益相反に関する事項はない。

## 3. 方法

### 3-1 足圧分布測定装置による足底圧力分布情報の可視化

立位時の足底の圧力分布を可視化するために、本研究では（株）ニッタ社製のフットビュークリニック（Foot View Clinic, 以下FVCと略）装置を使用した。この装置による立位時の足圧分布測定風景を図-1に示した。この装置は436×369 mmサイズの受圧板上に、6.0×6.0 mmサイズの抵抗線ひずみ型感圧センサ2288個が等間隔のマトリックス状に配列されている。1センサ当たりの測定可能な圧力レンジは40 - 400 kPaであり、足底の接触圧分布を広範囲にわたり測定可能である。図-2はこの装置により得られた立位時の足圧分布画像の一例で、足底の接触圧力分布を等圧線によりカラー画像表示が可能である。受圧板の感圧センサから出力された電気信号をパソコンに取り込み演算処理した後、画像表示したものであ



図-1 傾斜板上のFVC装置による幼児立位時の足圧分布測定風景

る。中心部に黒く糸を絡めたように描かれた図形は COP の移動軌跡図である。立位姿勢の人体は一見身動きもしないように見えるが、この装置を用いて COP を観察すると一定リズムで動揺を繰り返しており、人体に備わる巧妙な姿勢制御機能の存在を垣間見ることができる。

### 3-2 前傾する板上での立位姿勢の測定・評価

本研究では水平面角度  $\theta = 0^\circ$  とし、 $0^\circ$  から  $5^\circ$ 、 $10^\circ$  と最大角  $\theta_{\max} = 15^\circ$  までに  $5^\circ$  間隔で調節可能な傾斜板を作製し、その板上に FVC 装置を固定した。被験児には受圧板中央に両足を揃えて 15 秒間静かに立ってもらった。その際、腕は体側に沿って真直ぐに降ろし掌が体に軽く触れるようにした。目は開眼状態で 1.5 m 前方の眼の高さに設置した目標物を注視してもらった。足圧分布データは 20 Hz でサンプリングしパソコンメモリ内部に適宜記録した。足圧分布測定で得られた画像は以下の 3 つの指標を用いて解析を行った。その 1 つ目が、15 秒間の画像データを平均化処理した後、足の接触圧全体に対する足趾圧の割合を表す足趾圧配分比率：TP (Toe Pressure, 以下 TP と略) である。この値は装置に備え付けの解析ソフトを用いて求めたものである。図-2 のパソコン画面の足圧分布画像で、足趾と中足骨の境界上に備え付けの数値解析バーを誘導すると、解析バーから足趾先端までの接地部の圧比率 (%) を求めることができる。次は、図-2 に示す 15 秒間の COP の移動軌跡図で、足長に対し踵先端から COP の縦方向に占める足圧中心の縦比率 (COP Distance, 以下 COPD と略) を求めたものである。COPD は踵の先端部からつま先までの直線距離 (足長) を  $D_1$  とし、また踵の先端から COP 軌道の中心までの直線距離を  $D_2$  とし、 $D_2 / D_1 \times 100$  と定義した。3 つ目は、15 秒間の COP の移動軌跡長：COPL (COP Length, 以下 COPL と略) である。これは図-2 の 15 秒間の COP が移動した軌道の長さを求めたものである。

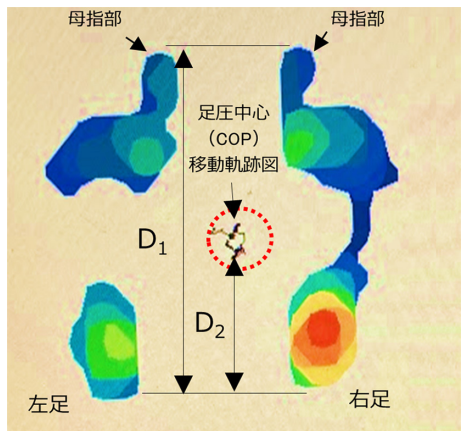


図-2 FVC装置による立位時の足圧分布画像と圧中心縦方向位置の数値化法

本研究では傾斜板の前傾角  $\theta$  を独立変数として幼児の姿勢維持機能の特徴を以上の 3 つの指標にもとづいて、年齢間、男女間での違いについて検討を行った。

統計処理はデータの分布特性を考慮し、男女間の比較は独立 2 群 t 検定を行い、3 群以上の年齢または  $\theta$  等の要因における水準間の差は反復測定データに対する一元配置分散分析を行った。有意差の見られた項目に関しては Tukey 法による多重性の検定を実施した。何れの検定においても統計学的有意水準は 5% 未満とした。

## 4. 結果

本研究では、水平面から前傾角度 ( $\theta$ ) を徐々に大きくし姿勢維持調節の難易度を高くしていく方法を用いた。難易度がピークとなる前傾角度  $\theta_{\max} = 15^\circ$  でも、被験児の誰一人として失

敗する者はおらず、すべて15秒間の立位試験を遂行することができていた。試験は被験児一人一人につき各 $\theta$ で1回ずつ施行し、その結果を以下の通りまとめた。

#### 4-1 全足圧に対する足趾圧配分 (TP) 比率の比較

最初に、本研究は $\theta$ の増加に伴い足趾圧配分比率:TPに着目した。図-3と図-4は $\theta$ の変化に伴うTPを表したものである。図-3は男児のデータで、図-4は女児のデータである。図-3では、年少の3歳男児の $\theta = 0^\circ$ のTP =  $2.0 \pm 2.1\%$ で $\theta = 10^\circ$ のTP =  $4.0 \pm 2.8\%$ に有意 ( $P < 0.05$ ) な増加を示した。同様に、 $\theta = 0^\circ$ と $15^\circ$  (TP =  $5.5 \pm 4.0\%$ ) 間にも有意

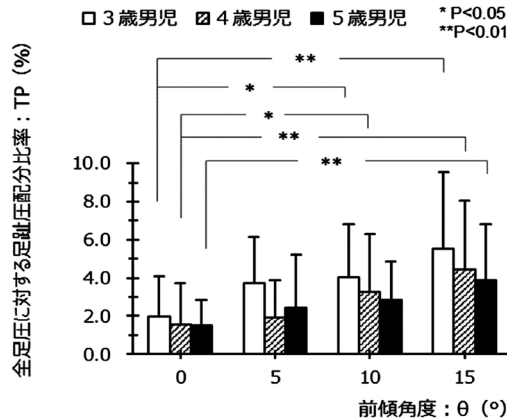


図-3 各年齢別男児の前傾角度の違いによる全足圧に対する足趾圧配分率の比較

差 ( $P < 0.01$ ) を認めた。年中の4歳男児の $\theta = 0^\circ$ のTP =  $1.6 \pm 2.2\%$ と $10^\circ$ のTP =  $3.3 \pm 3.0\%$ 間に有意差 ( $P < 0.05$ ) を認めた。同様に、 $0^\circ$ と $15^\circ$  (TP =  $4.5 \pm 3.6\%$ ) 間にも有意差 ( $P < 0.01$ ) を認めた。年長の5歳男児は、 $\theta = 0^\circ$ のTP =  $1.5 \pm 1.3\%$ と $15^\circ$ のTP =  $3.9 \pm 3.0\%$

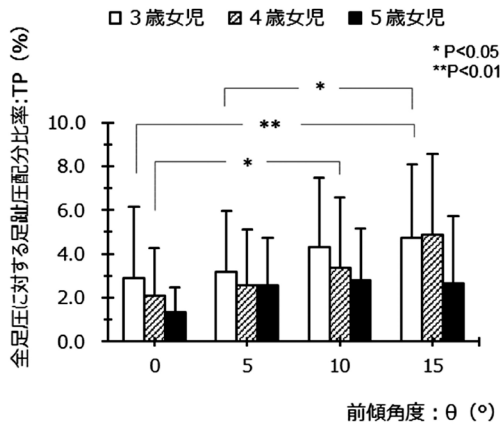


図-4 各年齢別女児の前傾角度の違いによる全足圧に対する足趾圧配分率の比較

間に有意差 ( $P < 0.01$ ) を認めた. 図-4では, 年少の3歳女児の  $\theta = 0^\circ$  の  $TP = 2.9 \pm 3.3\%$  で,  $15^\circ$  の  $TP = 4.7 \pm 3.4\%$  間には有意差 ( $P < 0.01$ ) を認めた. また, 3歳女児の  $\theta = 5^\circ$  の  $TP = 3.2 \pm 2.8\%$  と  $15^\circ$  の  $TP = 4.7 \pm 3.4\%$  間に有意差 ( $P < 0.05$ ) を認めた. 年中の4歳女児の  $\theta = 0^\circ$  の  $TP = 2.1 \pm 2.2\%$  と  $10^\circ$  の  $TP = 3.4 \pm 3.2\%$  間に有意差 ( $P < 0.05$ ) を認めた.

#### 4-2 足圧中心の縦方向比率 (COPD) の比較

姿勢の維持調節を力学的に評価するには COP が足の支持基底面上の何処に設定されているかを知ることが重要であり, ここでは COPD を求めた. その結果,  $0^\circ$  の場合, 年少の3歳男児で最小値は  $30\%$  で最大値は  $49.6\%$  であり, 女児は最小値が  $38.6\%$  で最大値が  $55.3\%$  であった. 年中の4歳男児は最小値が  $38.5\%$  で最大値が  $54.8\%$  であり, 女児は最小値が  $33.0\%$  で最大値が  $55.4\%$  であった. また, 年長の5歳男児は最小値が  $33.6\%$  で最大値が  $58.4\%$  であり, 女児は最小値が  $34.2\%$  で最大値が  $54.9\%$  であった. 最小と最大値の幅は  $16.3\% \leq \text{COPD}_{(0^\circ)} \leq 24.8\%$  であった. これに対して,  $\theta$  が最大の  $15^\circ$  では, 年少の3歳男児で最小値は  $35.2\%$  で最大値は  $56.9\%$  であり, 女児は最小値が  $35.6\%$  で最大値が  $60.9\%$  であった. 年中の4歳男児は最小値が  $31.5\%$  で最大値が  $65.2\%$  であり, 女児は最小値が  $36.2\%$  で最大値が  $59.9\%$  であった. 年長の5歳男児は最小値が  $32.5\%$  で最大値が  $60.7\%$  であり, 女児は最小値が  $30.3\%$  で最大値が  $64.8\%$  であった.  $\theta$  が  $15^\circ$  に変化することで最小と最大値の幅が  $21.7\% \leq \text{COPD}_{(15^\circ)} \leq 34.5\%$  に大きく広がった.

そこで, 図-5は  $\theta$  の違いによる男児の COP 位置の縦方向に占める割合 (COPD) を棒グラフ

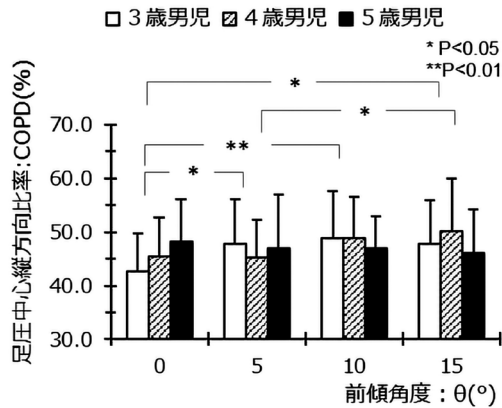


図-5 各年齢別男児の前傾角度の違いによる足圧中心縦方向比率の比較

フに表した. 図-6は女児の場合である. 男女児とも  $\theta$  の増加に伴い COP はつま先側に変位した. COP は  $\theta$  の増加とともに前方に変位し, 年少の3歳男児は  $\theta = 0^\circ$  の  $\text{COPD} = 42.7 \pm 7.1\%$  で  $\theta = 5^\circ$  の  $\text{COPD} = 47.8 \pm 8.3\%$  に増加し有意差 ( $P < 0.05$ ) を認めた. 同様に,  $\theta = 0^\circ$  と  $10^\circ$  ( $\text{COPD} = 48.8 \pm 8.7\%$ ) 間にも有意差 ( $P < 0.01$ ) があり, さらに  $\theta = 0^\circ$  と  $15^\circ$  ( $\text{COPD} = 47.8 \pm 8.1\%$ ) 間にも有意差 ( $P < 0.05$ ) を認めた. 年中の4歳男児は  $\theta = 5^\circ$  の  $\text{COPD} = 45.2 \pm 7.0\%$

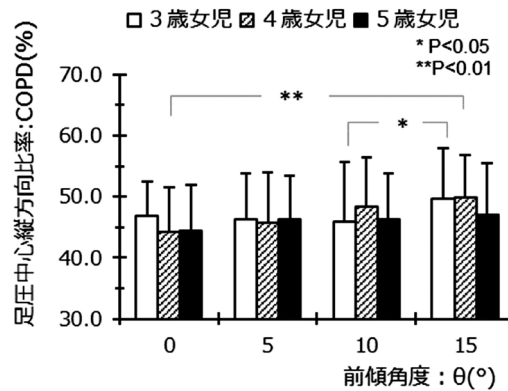


図-6 各年齢別女児の前傾角度の違いによる足圧中心縦方向比率の比較

で  $15^\circ$  の  $COPD = 50.1 \pm 9.9\%$  に増加し有意差 ( $P < 0.05$ ) を認めた。なお、 $\theta = 0^\circ$  では、3歳男児の  $COPD = 42.7 \pm 7.1\%$  と5歳男児の  $COPD = 48.2 \pm 7.9\%$  間に有意差 ( $P < 0.05$ ) を認めた。図-6の女児では、年少の3歳女児の  $\theta = 10^\circ$  の  $COPD = 45.9 \pm 8.7\%$  で  $15^\circ$  の  $COPD = 49.7 \pm 8.2\%$  に増加し有意差 ( $P < 0.05$ ) を認めた。また、4歳女児の  $\theta = 0^\circ$  の  $COPD = 44.3 \pm 7.2\%$  で、 $15^\circ$  の  $COPD = 49.8 \pm 7.1\%$  に増加し有意差 ( $P < 0.01$ ) を認めた。

以上の結果より、男女児とも  $\theta$  の増加に伴い  $COPD$  は増加したが、唯一、5歳男児は  $\theta = 0^\circ$  の  $COPD = 48.2 \pm 7.9\%$  で、 $\theta$  の増加とともに徐々に減少し、 $\theta = 15^\circ$  では  $COPD = 46.1 \pm 8.0\%$  に減少した。

#### 4-3 足圧中心移動軌跡長 (COPL) の比較

図-7と図-8は  $\theta$  の変化に対する15秒間静止立位時の足圧中心移動軌跡長:COPL値を示したものである。これより、 $\theta$  の増加に伴いCOPLは増加傾向を示した。先ず、図-7

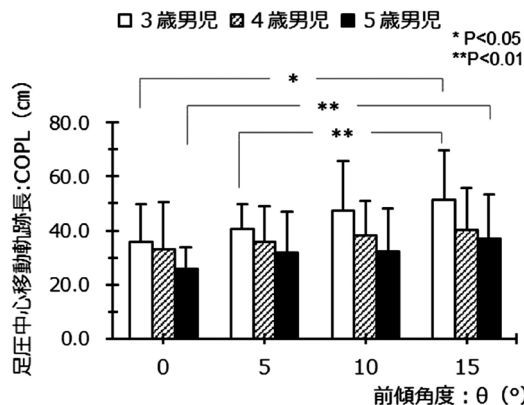


図-7 各年齢別男児の前傾角度の違いによる足圧中心移動軌跡長の比較



の年少の3歳男児は  $\theta = 0^\circ$  の  $COPL = 35.9 \pm 13.9$  cmで、 $\theta = 15^\circ$  の  $COPL = 51.4 \pm 18.3$  cmに増加し有意差 ( $P < 0.05$ ) を認めた。また、3歳男児の  $\theta = 5^\circ$  の  $COPL = 40.6 \pm 9.2$  cmは  $\theta = 15^\circ$  の  $COPL = 51.4 \pm 18.3$  cm間でも有意差 ( $P < 0.01$ ) を認めた。年長の5歳児は  $\theta = 0^\circ$  の  $COPL = 25.8 \pm 8.2$  cmで、 $\theta = 15^\circ$  の  $COPL = 37.1 \pm 16.3$  cmに増加し有意差 ( $P < 0.01$ )

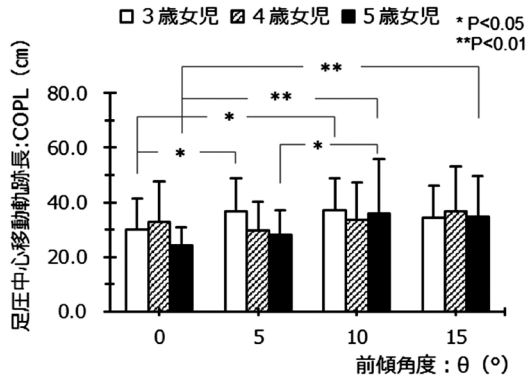


図-8 各年齢別女児の前傾角度の違いによる足圧中心移動軌跡長の比較

を認めた。図-8の女児の場合は、年少の3歳女児は  $\theta = 0^\circ$  の  $COPL = 29.9 \pm 11.5$  cmで、 $\theta = 5^\circ$  の  $COPL = 36.7 \pm 12.1$  cmに増加し有意差 ( $P < 0.05$ ) を認めた。また、同様に、 $0^\circ$  と  $10^\circ$  の  $COPL = 37.2 \pm 11.4$  cm間にも有意差 ( $P < 0.05$ ) を認めた。年長の5歳女児は、 $\theta = 0^\circ$  の  $COPL = 24.1 \pm 6.8$  cmで、 $\theta = 10^\circ$  の  $COPL = 35.9 \pm 20.1$  cmに増加し有意差 ( $P < 0.01$ ) を認めた。同様に、 $\theta = 0^\circ$  と  $15^\circ$  ( $COPL = 34.6 \pm 14.9$  cm) 間でも有意差 ( $P < 0.01$ ) を認めた。さ

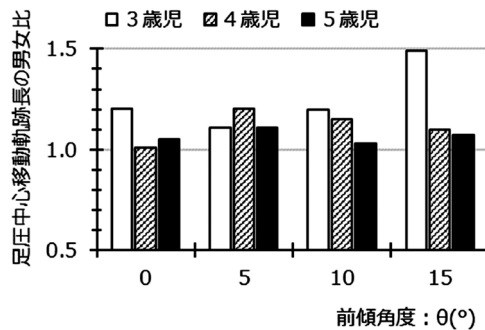


図-9 各年齢における前傾角度別足圧中心移動軌跡長の男女比の比較

らに、5歳女児では  $\theta = 5^\circ$  の  $COPL = 28.2 \pm 8.8$  cmと  $10^\circ$  の  $COPL = 35.9 \pm 20.1$  cm間にも有意差 ( $P < 0.05$ ) を認めた。なお、 $\theta = 5^\circ$  の3歳女児の  $COPL = 36.7 \pm 12.1$  cmと5歳女児の  $COPL = 28.2 \pm 8.8$  cm間に有意差 ( $P < 0.05$ ) を認めた。

図-9はCOPLの男女比を表したものである。男女比はほぼ全てにわたり1.0を超えており、女兒が男児に比べ動揺が少ないことを示している。

そこで、COPL値の男女間で有意差検定を行ったところ、 $\theta = 10^\circ$ の3歳男児のCOPL =  $47.6 \pm 18.2$  cmで、女兒のCOPL =  $37.2 \pm 11.4$  cmで有意差 ( $P < 0.05$ )があった。また、 $\theta = 15^\circ$ の3歳男児COPL =  $51.4 \pm 18.3$  cmと、女兒のCOPL =  $34.5 \pm 11.6$  cmの間にも有意差 ( $P < 0.01$ )があり、女兒が男児に比べ身体動揺は少なかった。

## 5. 考察

本研究は幼児の立位姿勢特徴を力学的側面から浮き彫りにする目的で、通常の平坦な面上での立位試験に加え、前傾角度 $\theta$ を変更できる板上での立位試験を実施した。 $\theta$ による影響を加味しながら、特に足趾が床面に及ぼす力に着目し、足の支持基底面内におけるCOP位置ならびにCOPの移動軌跡長等を指標として、年齢間および男女間での違い等について比較検討を行った。

通常、静かに立っている状態の人体に働く外力は重力である。平らな面での立位姿勢では足部に働く力は垂直方向の力のみで水平方向の成分は作用しない。しかし、この面が前傾し斜面上での立位姿勢では足部に斜面方向の力の成分が作用することになり、また踵側が高くなることで足関節回りには平面より大きい反時計回りのモーメントが作用することになる。これに対抗するには体幹や下肢後方の抗重力筋、足底内在筋や足趾屈筋群等を機能させ時計回りのモーメントを産生し体重心が支持基底面から逸脱しないようにする必要がある。

最終的には、この反時計回りと時計回りのモーメントが打ち消し合って力学的に釣り合うことで、立位状態が保たれることになる。

そこで、本研究では $\theta$ を大きくしていくことで重力による反時計回りのモーメント（前方への回転モーメント）を増大するが、それに対抗する力として足趾が重要な役割を果たすと仮定した。その結果、 $\theta$ の増加に伴い足趾圧配分比率であるTP値は増加した。

特に年長の5歳児は身長や体重等の体格はこの中で最も大きいので、 $\theta$ の増加に伴い反時計回りのモーメントは理論上大きくなることが予想されるが、実際は低い値を示した。図-8, 9では年齢が上がることでTP値は徐々に低下しているように見えることから、加齢により前方への回転モーメントの増加を抑えるための手段として足趾に依存しない戦略を利用している可能性が見て取れる。

$\theta$ が最大となる $15^\circ$ においても5歳児の足趾部圧が低かったのは体重心を支持基底面後方に移動させる戦略がとられたものと考えた。そこで、足の支持基底面上でCOP位置の制御がどのように行われているかに着目した。18歳-24歳のアスリートのCOPの位置を測定した藤原ら<sup>14)</sup>の報告では男子で42.3-54.1%、女子では36.6-51.8%の範囲に設定されていたとしている。本研究で対象とした幼児は平坦な面上で30%前半～50%後半で藤原らのデータに比べ広い範囲に分布していることが分かった。幼児は姿勢維持機能面で発達途上にあるため成人アスリートに比べCOPは広範囲に分布したものと考えられる。 $\theta$ の増加に伴い、その分布範囲はさらに広がっており、人体に加わる前方への回転モーメントの増加に対する反応性の一つではないかと考える。

望月ら<sup>15)</sup>によると、姿勢安定度の評価では「姿勢が安定しているということは外力などが働いて身体重心線が大きく動揺しても支持基底面を崩さずに姿勢を長く保てることで、この姿勢の安定性という概念にはその姿勢を崩す頻度が少ないとの確率的な考え方が含まれること、すなわち安定域内に身体重心線が収まっている確率が大きい」こととしており、この安定域は重心線の移動できる範囲を表す安定域の大きさと、身体重心線の揺らぎの程度を表す重心動揺の大きさであることを述べている。この考え方に沿って本研究の結果を整理すると、女児は男児に比べ安定域が狭く、中でも年長の5歳児は斜面の勾配が最もある $15^\circ$ でも足の支持基底面上の狭い範囲にCOPをコントロールできていたことから、足趾の負担も少なく抑えられたものと考えた。女児が男児に比べ姿勢の安定性が高かったことに関しては、幼児立位時の重心動揺検査の男女比較では女児が男児に比べ重心動揺が少なく安定性が高い傾向を示したとの報告がある<sup>16,17,18)</sup>。その理由については現状では明らかになってはいない。また、後藤らは同時に、片脚立位試験を実施し両脚立位の結果との関連を調べたが相関はなく、同じ立位姿勢でも両者は異なると報告している<sup>18)</sup>。これに対して、基礎運動機能の反復横跳びの結果は重心動揺の結果と相関があったとしており、両者の因果関係には言及されていない。このような結果から幼児の立位姿勢動作のメカニズムは簡単ではなく複雑な様相を呈することが理解できる。また、幼児と成人の姿勢調節の特徴として、幼児は一般的に深部感覚より視覚情報が優先され、中枢神経系の情報処理能力が低いとされ、成人と大きく異なると言われている。今回の解析結果で、被験児一人一人の測定値のばらつきが大きいのもこうした背景からではないかと推察される。

本研究では幼児の立位姿勢で足趾が姿勢保持等に果たす機能の一側面の情報を得ることができたが、昨今、注目されている浮き趾との関係は不明である。そもそも本装置受圧部の感圧センサの検出能力は最低40 kPaで、これを超える圧力が加わらない部位において圧力の測定が困難である。

従って、この幼稚園で浮き趾の幼児がどの程度いたかは不明である。ただ、今回の足圧分布測定データで左右足趾のどちらかで全く圧反応がなかった幼児は $\theta = 0^\circ$ で、男児全体の31%、女児全体の30%であり、男女ともに30%程度が左右足趾のどちらか一方で圧反応が認められなかった。 $\theta$ の増加に伴い男女とも値は減少し、 $\theta_{\max} = 15^\circ$ では男児20%、女児25%に減少した。この結果は $\theta$ の増加により足趾部圧反応が見られたことで、 $\theta$ による圧反応の誘発を促すことを示したものである。この現象が浮き趾等にどのような影響を及ぼすかは今後の浮き趾調査と合わせて検討をしたいと思う。また、現状、本装置では足趾圧が40 kPaを超えなければ検出できないので、これよりも低い足趾圧を検出するには感圧センサの感度を上げるための装置の改良も必要となる。幼児の足趾圧に着目し議論を展開するには感圧センサの感度がどの程度必要か、今後、こうした点も含めて検討を加えたいと思う。

## 6. 結言

本研究では、傾斜板利用により幼児の立位姿勢が前傾角の変化に応じて足趾圧や足の支持基底面上のCOP位置ならびにCOP移動軌跡長等に及ぼす影響を調べた結果、以下のような結論に達した。①男女児とも足趾圧比率は $\theta$ の増加に伴い有意に増加した。②男女児ともに4歳

児は $\theta$ の増加に伴いCOP移動軌跡長が有意に増加した。③男女児ともに5歳児は3,4歳児よりもCOP軌跡長は有意に短かった。④3歳児は女児よりも男児でCOP軌跡長が有意に長かった。なお、女児が男児と比べ姿勢の安定性が高いことを認めたが、対象が一園に限定された結果であるため、これを広く幼児の特徴とすることはできない。当園の教育プログラムが測定結果に大きく影響を与えている可能性もあるので、今後は他の園にも協力を仰ぎながら実施したいと考える。

## 引用文献

- 1 幼児期運動指針(文部科学省) :  
[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/sports/undousisin/1319771.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/sports/undousisin/1319771.htm) (2021年10月30日利用) <https://www.msn.com/ja-jp/feed>
- 2 Scammon, R.E. 'The Measurement of the Body in Childhood', in Harris, J.A., Jackson, C.M., Paterson, D.G. and Scammon, R.E. (eds), *The Measurement of Man*, Minneapolis: University of Minnesota Press, 1930
- 3 藤井勝紀. 発育発達とScammonの発育曲線. スポーツ健康科学研究 35 : 1-16 (2013)
- 4 上出香波. 幼児の運動能力における40年間の推移, 共立女子大学家政学部紀要第65号, 113-122 (2019)
- 5 高原和子, 角南良幸, 瀧信子. 幼児の体力, 身体活動を取り入れた遊びが運動能力に及ぼす影響について, 福岡女学院大学紀要人間会計学部編第15号p.63-71 (2014)
- 6 Shumway-Cook A, Woollacott M.H, *Motor Control: Theory and Practical Applications*, Philadelphia: William & Wilkins, 2001
- 7 公益財団法人日本学校保健会, 子供の足の健康に関する啓発資料作成委員会編. 「子供の足の健康のしおり」 p.1-25 (2019)
- 8 原田碩三. 幼児の1980年と2000年の足について, 靴の医学15(2) : 14-18 (2002)
- 9 井上文夫, 浅井千恵子, 熊本美紀江他2名. 小学生の浮き趾(不接地趾)と生活習慣に関する調査, 京都教育大学紀要第114号p.11-18 (2009)
- 10 福山勝彦. 浮き趾例における足趾機能, 医療保健学研究第5号p.15-40 (2014)
- 11 久保温子, 村田伸, 平尾文, 小淵可奈子, 幼児期における開眼片足立ち測定の妥当性の検討, *Japanese Journal of Health Promotion and Physical Therapy* Vol.4 No.2, 77-81, (2014)
- 12 村田伸, 忽那龍雄, 足把持力測定の試み, 理学療法科学, 17(4)243-247, 8 (2002)
- 13 武井和人, 村田伸, 甲斐義浩. 足趾圧力測定器の開発, 理学療法科学22(4) : p.479-482 (2007)
- 14 藤原勝夫, 池上春夫. 足圧中心位置と立位姿勢の安定性との関係について, 体育学研究第26巻2号, p.137-147 (1981)
- 15 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及び妥当性, 理学療法学, 第27巻第6号, 199-203頁(2000)
- 16 小島幸枝, 竹森節子. 小児の身体平衡の発達について—正常小児, 起立位中心に. 耳鼻臨床, 73(5) : 865-871 (1980)
- 17 種田行男, 江橋博, 一木昭男他1名. 小児の視覚による姿勢制御系の発達について—閉眼および視野狭窄時における重心動揺の周波数分析から, 体力科学41(2) : p.220-232 (1992)
- 18 後藤洋子, 早川ひろみ, 脇田裕久, 幼児の静的バランス能力, 三重大学教育学部研究紀要, 自然科学52, p53-63 (2001)

## 謝辞

本研究の遂行に当たり、学校法人アソカ学園、朝田幼稚園のスタッフの方々ならびに保護者の皆様には多大なるご理解とご協力を賜りました。ここに、この紙面をお借りし深く感謝の意を表します。

