

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：32672

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K21417

研究課題名(和文) 足底圧分布パターンの定量化から発育に伴う歩行・走行動作の発達を評価する試み

研究課題名(英文) Evaluate of a gait and running with development from quantification of a plantar pressure distribution pattern

研究代表者

柏木 悠 (KASHIWAGI, Yu)

日本体育大学・体育学部・助教

研究者番号：30738638

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、発育発達に伴う歩行・走行動作中の足底圧分布データから幼児・児童の足底圧分布パターンの定量化を行うことを目的とした。参加者は、幼児と児童および成人男女を対象とし、歩行および疾走動作中の足底圧分布データから足底を11部位に分割し、接地時間、接地面積、最大反力、最大圧力、力積量および圧力力積量を算出した。幼児の児童の足底圧分布データにおける、中足骨部位の圧力は、25mタイムに有意な負の相関関係を示した。また、発育に伴い、中足骨外側部位の圧力値が増加し、6歳前には、成人に近い足底圧分布パターンを獲得していることが示された。

研究成果の概要(英文)：This study was aimed at quantifying a plantar pressure distribution pattern of infant / a child from plantar pressure distribution data during a gait and running with development. A participant intended for infant and a child and an adult man and woman and divided plantar pressure distribution in eleven sub-area from a gait and running, and contact time, contact area peak force, peak pressure, force time integral and pressure time integral were calculated. Metatarsal peak plantar pressure data of a child of infant showed a significant negative correlation in 25m time. In addition, with development, metatarsal lateral plantar pressure values were increased, and this study was indicated that infant gets the plantar pressure pattern that is similar to an adult by 6 years old.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：足底圧分布 歩行 走行 足圧中心 発育発達 幼児 児童

### 1. 研究開始当初の背景

歩行・走行動作における足底圧分布を研究対象とした報告の多くは、成人を対象にした報告が多く、年齢を詳細に考慮した発育発達に伴った歩行・走行中の足底圧分布パターンや COP 軌跡 (足圧中心) の変化はあまり報告されていないのが現状である。一般的に歩行中の足底の COP 軌跡は、踵部位から中足部位、中足骨の外側から第 2 中足骨、母指部位に移動する「煽り」といわれる COP 軌跡がみられる。この足底の COP 軌跡は足部構造に依存しているためアーチ形成がみられる幼児期から児童期へ移る 6 歳頃に標準的な歩行動作の指標となる COP 軌跡の「煽り」が獲得されているかは不明である。特に近年では、「運動嫌い」や「スポーツ離れ」による子ども体力低下、また社会の便利さによって身体活動量が低下し、肥満の子どもが増え、足底に脂肪組織の附着が多くなることでアーチ形成がみられない「扁平足」の子どもが増加が報告されている。この扁平足による更なる悪循環は、外反母趾、浮き指などの足の障害リスクを引き起こす可能性がある。したがって足底から、幼児・児童の足底圧分布パターンを定量化し、発育発達に伴う変化を議論することは重要であると考えられる。

歩行・走行動作は、日々の生活の中で自然に学習され獲得される運動パターンであると考えられている。申請者は、陸上選手と一般成人の歩行中の COP 軌跡、速度を検討した結果、陸上選手の効率的でスムーズな重心移動が確認され、専門的な競技トレーニングが歩行中の COP パターンを変化させることを報告した。つまり歩行とは訓練によって改善できる動作であることが示唆される。幼児期から、小学校低学年まで神経系の発育成達は著しく、この時期の運動経験はその後の運動神経に大きく関わると考えられている。その中でも特に「脚の速さ」は、幼児・児童期に運動の「楽しさ」、「有能さ」を感じられる経験の一つである。したがって将来の運動継続、QOL 向上の一つのポイントになりうることから歩行・走行動作は、学校体育で現在展開されている他の教材と同様に専門的に取り入れられるべきではないかと考えられる。しかし、歩行・走行動作を評価する基準として 50 m 走などの記録は存在するが、このタイムを向上させるための学校教育に用いられる資料は、少ないのが現状である。

足底圧分布データは、足底からヒトの動きの感覚「感じ」と力感の強弱を色のコンターによって定量的に捉え、動作のイメージを想像しやすいデータとして、スポーツ現場などで用いられている。幼児・児童の足底圧分布パターンを定量化することで、幼児・児童期に必要なとされる正しい「歩き方、走り方」の評価資料を作成し、現代の子どもの体力低下の改善、身体に関する諸問題の解決に寄与すると思われる。そこで本研究の目的は、足底圧分布パターンの定量化から発育に伴う幼

児・児童の歩行・走行動作の発達の評価を試みた。

### 2. 研究の目的

本研究の主な目的は、発育発達に伴う歩行・走行動作中の足底圧分布データから幼児・児童の足底圧分布パターンの定量化を行う。発育発達に伴う足底圧分布パターンの定量化は、アーチ形成に伴う子どもの成人とは異なる足底機能の新たな知見が得られる可能性がある。また、足底圧分布パターンの定量化から幼児・児童の正しい「歩き方、走り方」を検討することは、学校体育や子どもの体力低下の改善に寄与し、更に、現在の生活様式の変化によって子どもの体力、身体活動量の低下が報告されるように、現代の子どもに関するデータを新たに収集することに意義があると考えられる。

### 3. 研究の方法

実験参加者は、幼児と児童を対象とし、また、比較対象として成人男女を対象とした。参加者と参加者の保護者には、実験の趣旨、内容を説明し同意を得た。また、本研究は、大学が規定する倫理審査委員会の承認を得て実施した。歩行・疾走中の足底圧分布の計測に関しては、約 20m の走路中心に 1.2m の足底圧計 (Novel 社製, 100Hz) を設置し、参加者の歩行・疾走中の足底圧分布データを取得した。同時に、側方よりハイスピードカメラ (Fastec 社製 200Hz) によって動作および歩行・走行中の時空間パラメータを取得した。参加者は、足底圧計上を通常歩行 (至適な速度) とジョギングを数回行った。試技中に、足底圧計を踏み外した場合などは、再試行を行い、左右のどちらかの一方の足底圧分布データを取得した。ジョギングの試技に関しては、接地パターンを足底圧計からモニタリングし、踵接地パターンのみを分析対象とした。得られた足底圧分布データは、足底を 11 部位に分割 (MH:medial hidfoot, LH:Lateral hidfoot, midfoot, Metatarsal head:MH1 ~ MH5, Big toe, toe2, toe2 ~ 3) し、それぞれの部位の接地時間、接地面積、最大反力、最大圧力、力積量および圧力力積量を算出した。足底圧分布計測には、足の構造が関係するため、三次元足部形状スキャナー Infoot (アイウェアラボラトリー社製) を用いて、足部形態計測を行った。足部に貼付した解剖学的ランドマーカー位置より、足長、足囲およびアーチ形状の指標となる、舟状骨の高さを算出した。

本研究は、これらの方法を用いて以下の (1) ~ (3) の研究課題を遂行した。

#### (1) 子どもの足底圧分布データの再現性および妥当性の検討

足底圧分布データに関して、成人データにおいては、そのデータの再現性や妥当性に関して先行研究によって示されているが、子ども

においては、足部の発育発達、特にアーチの形成が足底圧分布データに影響を与えるため、子どもの足底圧分布データの再現性や妥当性に関して検討を行った。児童 11 名を対象に、通常歩行およびジョギング動作をそれぞれ 3 回ずつ行い、その時の足底圧分布データに関する変数の 3 回の計測値の差および信頼度を評価するために級内相関係数 (ICC) を算出した。

#### (2) 歩行・疾走中の足底圧分データと運動能力の関係

足底圧分データから、歩行・疾走の評価を行うために、運動能力と足底圧分布パターンの検討を行った。運動能力テストは、幼児 69 名 (年齢;  $5.1 \pm 0.6$  歳, 身長;  $106.7 \pm 5.5$  cm, 体重;  $17.7 \pm 2.4$  kg) を対象に、立幅とび、体支持持続時間、両足連続跳び越し、捕球運動、テニスボール投げ、25m 走および足指筋力の計 8 種目を計測し、これらの計測項目と、足底 11 部部位の変数の関係性について検討を行った。

#### (3) 発育に伴う歩行・疾走中の足底圧データの検討

幼児 69 名 (年齢;  $5.1 \pm 0.6$  歳, 身長;  $106.7 \pm 5.5$  cm, 体重;  $17.7 \pm 2.4$  kg) を対象に歩行・疾走中の足底圧分布データを、4 歳前半 (15 名, 年齢;  $4.29 \pm 0.09$  歳, 身長;  $101.1 \pm 4.1$  cm, 体重;  $16.1 \pm 2.1$  kg), 4 歳後半 (15 名, 年齢;  $4.76 \pm 0.15$  歳, 身長;  $104.4 \pm 3.2$  cm, 体重;  $16.8 \pm 1.5$  kg), 5 歳前半 (16 名, 年齢;  $5.24 \pm 0.74$  歳, 身長;  $107.3 \pm 6.3$  cm, 体重;  $17.3 \pm 2.5$  kg) および 5 歳後半 (19 名, 年齢;  $5.76 \pm 0.61$  歳, 身長;  $110.8 \pm 6.6$  cm, 体重;  $19.1 \pm 2.2$  kg) の 4 群に分類し、足底圧分布の各変数に関して、1 元配置分散分析を行い、有意差が認められた場合は多重比較検定を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 子どもの足底圧分布データの再現性および妥当性の検討

足底圧分布データは、足底部位ごとの面積とその部位に加わる、荷重によって算出されるため、特にこの 2 つの変数がデータに大きな影響を与える。児童の歩行・疾走中の足底圧分布データの再現性を級内相関係数によって検討した結果、歩行中の接地面積では、足指部位以外において、 $0.75 \sim 0.87$  の相関係数を示した。一方で、最大反力においては、LH や MH2 部位において相関係数はそれぞれ、 $0.85, 0.95$  の高い再現性を示したが、その他の部位の相関係数は低い傾向を示した。疾走中における、同級内相関係数の検討では、接地面積および最大反力の足指部位以外で、 $0.75$  以上の値を示し、歩行中よりも足底圧分布データは高い再現を示した。また、力積量や圧力力積量においても、歩行動作と比較して、疾走動作が高い級内相関係数を示した。

先行研究において成人における、足底圧分布データは高い再現性が示されている。しかし、子どもの足底圧分布データは、足部の発育やアーチの形成などによって、足底の面積計測の再現性が低くなり、そこから算出されるデータの再現性が低くなると仮説をしたが、足底の面積計測の再現性は、級内相関計測が  $0.75$  以上と高い値が示された。しかし、圧力力積量や力積量の値においては、再現性が低かった。これは、接地時間の再現性が低いことが影響し、子どもにおける足底圧分布データの計測は、足部の形態の発達よりも動作時間の再現性、つまり時空間パラメータの再現性が足底圧データの再現に依存することが示された。一方で、子どもの足底圧分布データが歩行データより疾走データの再現性が高かった結果については、「歩く」という日常的に行う単純なヒトの基本動作であるが、子どもを対象とする場合は、その計測の理解度なども影響するため、計測者は注意するべきであることが示唆される。本研究の結果から、子どもの疾走中の足底圧分布データの再現性および妥当性が示され、子どもの歩行・疾走動作中の足底の機能を評価する有効性が示唆された。

#### (2) 歩行・疾走中の足底圧分データと運動能力の関係

本研究は、歩行・疾走中の足底圧分布データと運動能力テストの検討を行った。その結果、運動力の 25m 走タイムと足底圧分布データの疾走中の特に中足骨部位のおよび母指部位の最大圧力において、有意な負の相関係数が得られた ( $p < 0.05$ )。一方で、歩行中の足底圧分布データと 25m 走タイムには、第 3 中足骨部位のみに有意な負の相関係数が得られた ( $p < 0.05$ )。つまり、中足骨部位の圧力の大きさは、25m 走の運動能力に関係していることが示された。足底圧分布データは、移動速度の増加に伴って最大圧力が増加することが示めされているが、本研究の足底圧分布データは、25m 走テストとは別の試技に足底圧分布データを取得しているため、その影響は低いと考えられた。足底の荷重や圧力の増加の要因としては、先行研究において下腿から足部に関する筋群の活動が示されている。更に近年、足指筋力の強さがスプリンターのパフォーマンスへ影響することや、児童の運動能力にも関係していることも明らかとなっている。本研究における、幼児の足指筋力と 25m タイムの間には、有意な負の相関係数 ( $r = -0.59, p < 0.001$ ) がみられたことから、歩行・疾走中の最大圧力の大きさに足底筋力が関係している可能性が考えられた。これまでの歩行中や疾走中の足底圧分布データは、主に整形外科的な診断や、障害予防のための知見として用いられてきており、歩行・疾走中のデータからその動作自体の評価はあまり行われていない。足底面積から子ども体力を検討した研究においては、近年、

「浮き指」という足指が地面に接地しないという現象が報告され、子どもの体力低下による足部の機能低下が示唆されている。このようなエビデンスは、子どもの裸足教育の取り組みを更に支持するデータとなり、本研究の結果からも歩行・疾走中の足底圧分布データを評価することにより、幼児の疾走能力の評価する可能性が示された。

### (3) 発育に伴う歩行・疾走中の足底圧データの検討

幼児 69 名 (年齢:  $5.1 \pm 0.6$  歳, 身長:  $106.7 \pm 5.5$  cm, 体重:  $17.7 \pm 2.4$  kg) を対象に歩行・疾走中の足底圧分布データを検討した。幼児は、年齢によって 4 歳前半、4 歳後半、5 歳前半および 5 歳後半の 4 群に群分けし、足底圧分布データに関して横断的な検討を行った。発育発達に伴う足底圧分布パターンの定量化を行うことは、アーチ形成に伴う子どもの足底圧分布パターンが成人のパターンと異なる足底機能を有するのを明らかにし、新たな知見が得られると仮説した。また発育発達における足底圧分布データは、足部の形態的特徴が、特に足底面積に影響するため、足底圧分布データの計測の前に、足部 3 次元スキャンデータの収集を行った。その結果、4 歳前半から 5 歳後半にかけて有意に足部の長さ、足囲の発達がみられ ( $p < 0.05$ )、更に、舟状骨の高さに違いがみられた。歩行中の足底圧分布データは、第 3~5 中足骨部位の変数に違いがみられた (図 1)。特に、第 4~5 中足骨部位の接地時間が発育に伴って有意に増加する傾向がみられた ( $p < 0.05$ )。これに伴い、第 4~5 中足骨部位の最大圧力および最大圧力積量の増加がみられた。発育に伴う、足底部位外側への圧力の増加は、舟状

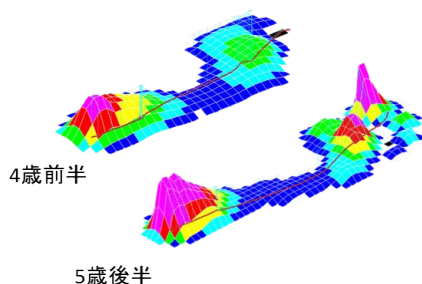


図1 発育に伴う歩行中の足底圧分布の比較

骨高の大きさが増加するようにアーチの形成が関係していると考えられた。足底の外側への圧力の増加は、足圧中心が踵部位から中足部位、中足骨の外側から第 2 中足骨、母指部位に移動する「爛り」といわれる軌跡のパターンに関係し、一方でアーチが低い場合、足底内側への圧力が増加し、足圧中心は、より直線的な軌跡を示すことが考えられる。これらの結果から、5 歳児後半には、アーチ形成によって、第 3~4 中足骨部位外側への圧力が増加し、足底圧中心の一般的なパター

ンである足部の「爛り」が獲得されることが示唆された。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件)

柏木悠, 平野智也, 山岸道央, 袴田智子, 金子憲一, 船渡和男: 矢状面カーブ形状の走路を有する自走式トレッドミル上でのランニング動作時の地面反力および下肢キネマティクスの特徴. 査読有 体力科学 64(3):333-344, 2015

金子憲一, 石井信子, 袴田智子, 柏木悠, 伊藤知之, 船渡和男: アプローチ走速度の違いが方向転換走タイムに及ぼす影響 - レーザ距離計測装置による瞬時速度の分析から - . 査読有 トレーニング科学 26(4):241-249, 2015.

Hirano T., Kashiwagi Y., Yamagishi M., Senba S., Kato T., Funato K.: Sex differences in race profile and stroke variables during 200-m sprint in junior kayakers. 査読有 34th International Conference of Biomechanics in Sports, 629-639, 2016.

[学会発表](計 20 件)

Kashiwagi, Y., Hirano, T., Hakamada, N., Funato, K., Wada T., Mizuno M.: Characteristics in center of pressure trajectory during walking in sprinters. The 25th Congress of international society of biomechanics, 2015 July(Glasgow, UK)

Funato, K., Kashiwagi, Y., Soma, M., Hakamada, N: Statistical methods for the estimation of body shape by fitting 3D whole-body scanning data to homologous body model in Japanese elite female athletes. 21th Annual Congress of the European College of Sports Science, 2016, July (Vienna, Austria)

Kashiwagi, Y., Yamagishi, M., Hakamada, N., Kato T., Funato, K: Quantitative analysis for acquisition of snatch skill in junior weight lifter. 21th Annual Congress of the European College of Sports Science, 2016, July (Vienna, Austria)

Yukina, Y., Kashiwagi, Y., Yamagishi, M., Funato, K.: Changes in isometric knee flexion torque and hamstrings EMGs under the different of muscle-tendon length conditions. 21th Annual Congress of the European College of Sports Science, 2016,

July (Vienna, Austria)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

柏木 悠 (KASHIWAGI Yu)

日本体育大学・大学院・トレーニング科学  
系・助教

研究者番号：30738638