

歩行時立脚期の足圧分析による ポスチュアウォーキングの特性の検討

Study on the Characteristics of Posture Walking by Foot Pressure Analysis during the Stance Phase of Walking

キーワード：ポスチュアウォーキング、足圧分析、熟練者

Keywords : Posture walking, Foot pressure analysis, expert

祝原 豊^{1, 4)}

Yutaka Iwaihara

KIMIKO³⁾

KIMIKO

谷津 祥一^{2, 4)}

Syoichi Yatsu

前澤 康代⁴⁾

Yasuyo Maezawa

辻川 比呂斗^{2, 4)}

Hiroto Tsujikawa

杉山 康司^{1, 4)}

Koji Sugiyama

I. はじめに

我が国では、急速な高齢化と自立した生活が困難な高齢者の増加(岡本, 1995)という課題に直面している。これに対し、21世紀における国民健康づくり運動(健康日本21)では、日常生活における歩数の増加、運動を習慣とする者の増加、身体活動・運動に対する意識の向上等を掲げ、国や地方の施策を切り口にスポーツを通じての健康長寿が実現しつつある。現在、スポーツマスターズのように競技としてスポーツに親しむ中高年が増加する一方で、健康増進をねらいとした手軽な運動が注目を集めている。特に習慣的なウォーキングは広く活用され、文部科学省の世論調査によると、実施者は増加傾向にあり、その割合は他の種目に対し最も高いと報告されている(文部科学省, 2013)。

習慣的なウォーキングは呼吸循環系を刺激し健康の維持増進に寄与するといえるが、より効果を高めるために「腕を大きく振る」、「より速くそしてストライドを大きくして歩く」等のアレンジが加えられたウォーキングが紹介されている(岡本ら, 2004)。また姿勢について「首筋と背筋を伸ばし視線は10～20m先を見る」、「腰から足を降り出すイメージで歩く」等のポイント(田中, 2000)が示されることがある。これらは健康や体形維持

だけでなく、美しい姿勢や動作も意識され、多くの中高年に支持されている。

近年、健康を確保しつつ歩容を美しくみせるウォーキングスタイルとして、ポスチュアウォーキング(以下PsW)が女性を中心に注目を集めている。これは、出産による肥満や猫背等の体型改善を目的として、ウォーキングを基とし改良を重ね独自のウォーキングメソッドとして構築された。2001年から普及活動が始まり、現在では全国各地で講習会や指導者の養成、また大学にて教材として紹介されている。ポスチュアとは姿勢を意味し、主な意識ポイントは「背筋を伸ばし踵に重心をのせる」「踵から着床しつま先で地面を押し蹴る」「腕は後ろへ伸ばす」がある(KIMIKOら, 2014)。正しいアライメントで姿勢を保ち、踵での接地とつま先での押し蹴りを強調することで、前脛骨筋、腓腹筋およびヒラメ筋等をより刺激し、上肢や体幹の動員も相まって、より全身的な運動となる可能性がある。新たな健康的で美しいウォーキングとして期待されている。

PsWを紹介する本やDVDも多数出版され、そこには姿勢を整え継続的に行うことで体型改善に至ると述べているが、その土台となる重心や足底圧に関するデータは十分でない。ウォーキング指導や医療機関では、姿勢や歩容を目視で捉え伝える手法が多くなされているが、も

1) 静岡大学 Shizuoka University

2) 順天堂大学 Juntendo University

3) ポスチュアウォーキング協会 Posture walking Association

4) 国際ブローライフル協会 International BlowRifle Association

し模範となるポイントが定量化され、動きとともに資料やデータで提示できるなら、受講者の理解度をよりスムーズに深め、効果を高めることに繋がるに違いない。

そこで本研究は、PsW および通常ウォーキング(以下 W)条件の立脚期の足圧分布を測定し、荷重最大値、時間的パラメータおよび歩幅の比較から、PsW の特性について検討することを目的とする。

II. 方法

1. 被験者

日常的に PsW を行う健康な女性 6 名であった。彼らの年齢、身長、体重および体脂肪率はそれぞれ、50.2±7.4歳、162.4±7.6cm、52.3±4.6kg、24.4±2.4%であった(表 1)。被験者は、毎日30分～4 時間程度の PsW を実施し、かつ PsW のレッスン講師を担当する熟練者(ポスチュアスタイリスト)で、実施歴は7.7±3.9年であった。測定に先立ち、目的、方法、安全性などについて、口頭および書面にて詳細に説明し、同意を得られた上で実験に参加した。

表 1 被験者の身体的特徴および PsW 実施歴

被験者	身長	体重	年齢	実施歴
	cm	kg	yr	yr
A	173.9	61.0	54	14
B	158.6	48.0	61	10
C	154.7	47.8	56	8
D	153.1	55.0	47	8
E	165.1	49.8	42	4
F	169.0	52.0	41	2
Mean	162.4	52.3	50.2	7.7
SD	7.6	4.6	7.4	3.9

2. 実験方法

1) 実験概要

PsW の特性を捉えるため、PsW と W 条件との比較検討を試みた。測定は、足圧センサーシートによる感度の違いや気温・湿度を考慮し、より正確なデータ抽出を期し、両条件を同日中に平坦な実験室内で行った。歩行エリアとして、歩行の安定する直線距離を確保し、うち後半 7m をデータ処理の対象とした。

両条件の測定間は十分な休憩をとり、測定前のコンディションが同レベルであることを確認したのち、他条件の測定を開始した。両条件の試行順は無作為とした。

2) 歩行速度設定

速度については、先行研究に適切なデータがないため、事前に速度調整しながら全被験者に対し PsW の適正な速度を捉える予備測定を行った。その結果、日常実施する、また指導する PsW 速度は概ね55m/min (以下 Sp55)であった。本測定では、W 条件との比較も考慮し、さらに65m/min (以下 Sp65)も加え、2 種の速度で行うこととした。なお、本研究における速度は、高速度カメラを用い規定距離の移動タイムを計測し、その距離を除き算出した。サンプリング対象は、両速度の近似タイム(誤差±5%)を示した場合とし、この範囲を超える場合は再試行した。

3) 測定項目(足圧分布、歩幅)

使用する足圧分布システム(NITTA 社製:F-scan)は、体重による圧がセンサーシートに加わり、各セルの電気抵抗値の変化を読み取ることで圧の分布と大きさを検出する。本測定では、左足シューズインソールにシートを固定し、足首に伸縮性バンドを用いカフユニットを装着した。サンプリング周期は60frame/sec とした。

本研究の足圧分析では、左足踵の接地からつま先離地までの歩行動作を、先行研究の5つの状態に分け捉えることとした(寫田ら、2004)。

- ① Heel contact : 踵が接地するとき
- ② Heel strike : 踵での荷重が最大するとき(HS 期)
- ③ Heel off : 踵が接地してから離れるとき
- ④ Kick up : 前足部での荷重が最大するとき(KU 期)
- ⑤ Toe off : 前足部が床から離れるとき

今回は PsW のポイントである「踵から着床しつつ先で地面を押し蹴る」に着目し、歩行時の Heel strike (以

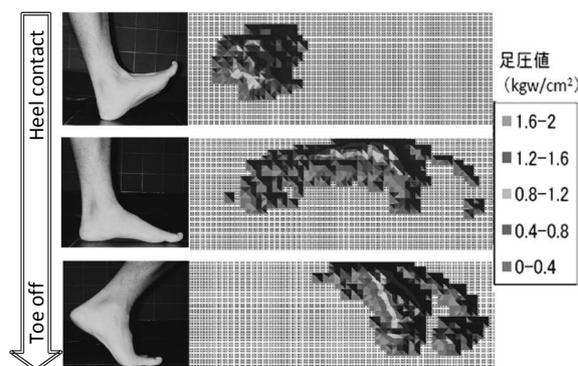


図 1 踵接地からつま先離地までの足圧分布の例

下HS期)およびKick up(以下KU期)の、時系列足圧合計値と足圧最大値を分析に用いた。足圧合計値とは、各frameのセル値総和であり、足圧最大値は各frameのセル値の中で最大のものを示す(図1参考)。

また、分析に用いる歩幅については、歩行の安定したエリアでの移動距離(1cm単位)を高速度カメラにて捉え、同時に読み取った歩数で除し、1歩あたりの長さに換算し推定値として用いた。

3. 統計処理

足圧データ処理に際し、対象データは歩行の安定した10歩のうち、欠損やエラーのない3~5歩の算術平均を各被験者で求め、代表値として用いた。本測定で得られた全ての値は平均値±標準偏差で示し、各パラメータの条件間比較には一元配置分散分析を用い、有意差が認められた場合には対応のあるt-testにより差を比較した。有意水準は全て5%未満とした。

III. 結果

1. 足圧値

歩行時の足圧合計値の曲線は、その最大値が2峰示すことを全被験者より確認した。うち踵接地後の峰を以下HS期、前足部離地前の峰をKU期とする(図2)。

1) HS期足圧値

HS期の足圧合計最大値は、Sp55のWで $153.0 \pm 15.7 \text{ kg/cm}^2$ 、PsWで $143.4 \pm 15.8 \text{ kg/cm}^2$ 、Sp65のWで $161.7 \pm 22.0 \text{ kg/cm}^2$ 、PsWで $148.7 \pm 22.1 \text{ kg/cm}^2$ であった。

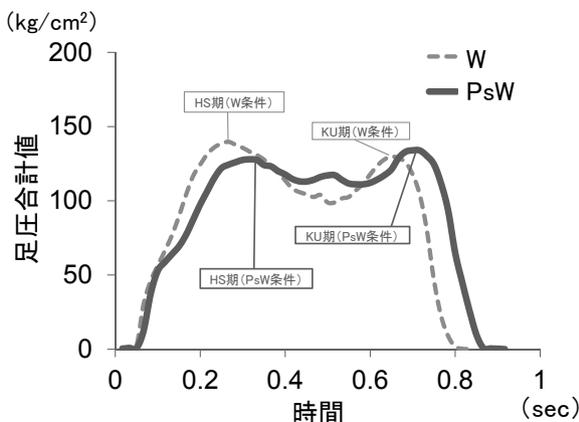


図2 足圧合計値の変化一例(被験者A, Sp55)

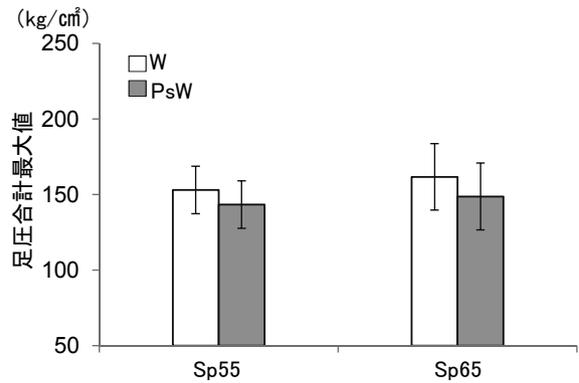


図3 HS期の足圧合計最大値の比較

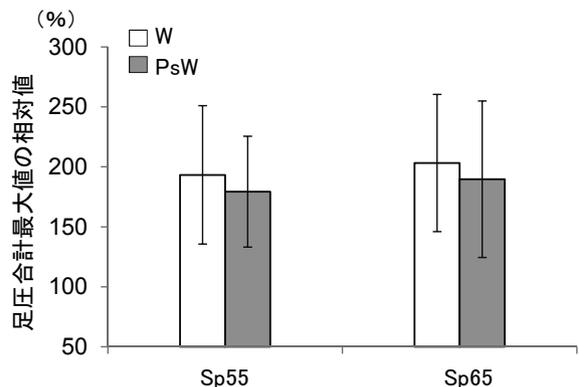


図4 HS期の足圧合計最大値の相対値(体重補正)

各速度においてPsWはWよりも低い傾向にあったが、有意な差は認められなかった(図3)。また、足圧合計最大値を各被験者6名静止時の足圧合計値で除し相対値として示した(図4)。Sp55のWで $193.3 \pm 57.6\%$ 、PsWで $179.3 \pm 46.2\%$ 、Sp65のWで $203.2 \pm 57.2\%$ 、PsWで $189.7 \pm 65.2\%$ であった。各速度においてPsWはWよりも低い傾向にあったが有意な差は見られなかった。さらに、条件ごとの歩幅に対する足圧合計最大値を算出したところ、Sp55のWで $2.5 \pm 0.3 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$ 、PsWで $2.1 \pm 0.3 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$ 、Sp65のWで $2.4 \pm 0.3 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$ 、PsWで $2.0 \pm 0.3 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$ であった。両速度ともに有意にPsWが低値を示した(図5)。

2) KU期足圧値

KU期の足圧合計最大値は、Sp55のWで $147.8 \pm 42.3 \text{ kg/cm}^2$ 、PsWで $138.9 \pm 31.9 \text{ kg/cm}^2$ 、Sp65のWで $137.0 \pm 42.1 \text{ kg/cm}^2$ 、PsWで $137.3 \pm 26.0 \text{ kg/cm}^2$ であった。各速度において有意な差は認められず、同レベルであっ

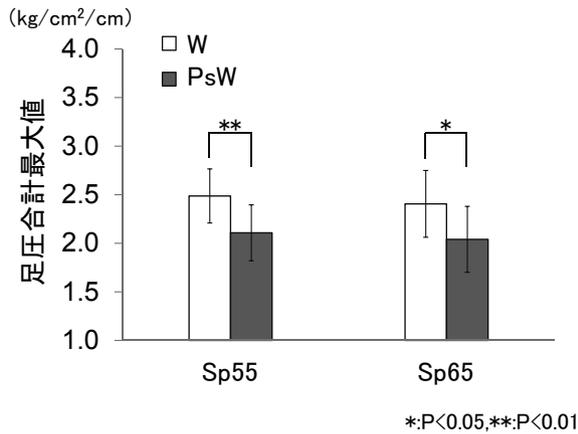


図5 HS期の各歩幅あたりの足圧合計最大値

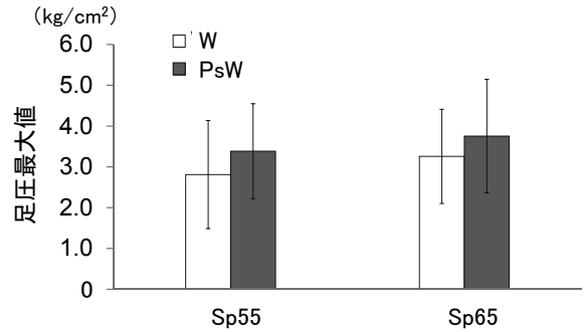


図7 KU期における前足部足圧の最大値

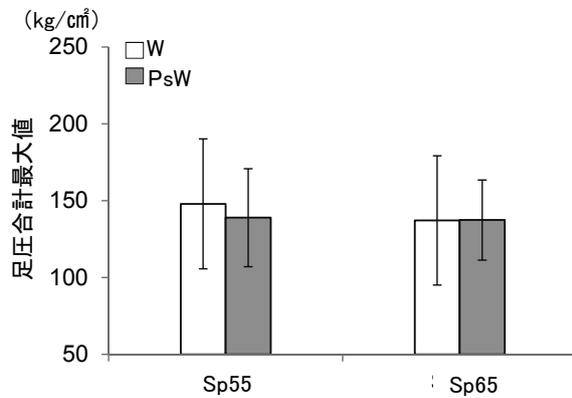


図6 KU期の足圧合計最大値の比較

た(図6)。一方、合計値の基となる各セルの最大値(足圧最大値)は、Sp55のWで $2.8 \pm 1.3 \text{ kg/cm}^2$ 、PsWで $3.4 \pm 1.2 \text{ kg/cm}^2$ 、Sp65のWで $3.3 \pm 1.2 \text{ kg/cm}^2$ 、PsWで $3.8 \pm 1.4 \text{ kg/cm}^2$ であった。各速度でPsWはWよりも高い傾向にあったが、有意な差は認められなかった(図7)。

2. 1歩行周期における立脚相の時間データ

踵接地から前足部離地までの時間、足圧合計最大値(HS期、KU期)検出時間、およびHS期からKU期の時間を、立脚相に対する割合と合わせ表2に示す。各速度において比較すると、踵の接地から前足部離地までに要する時間は、Sp55においてPsWが有意に大きかった。また各被験者の1歩行周期における立脚相の時間で補正してもHS期の確認された時間は有意に遅かった。

3. 歩幅

各条件における歩幅は、Sp55のWで $61.7 \pm 3.3 \text{ cm}$ 、PsWで $68.3 \pm 2.3 \text{ cm}$ 、Sp65のWで $67.4 \pm 3.9 \text{ cm}$ 、PsWで $73.1 \pm 2.9 \text{ cm}$ であった。両速度条件においてWに比べPsWは歩幅が大きく、条件間で有意な差が認められた。また、身長に対する歩幅の割合は、Sp55のWで $38.0 \pm 0.8\%$ 、PsWで $42.3 \pm 1.9\%$ 、Sp65のWで $41.5 \pm 1.5\%$ 、PsWで $45.1 \pm 2.1\%$ であった。各速度のWとPsWの条件間で有意な差が認められた(図8)。

表2 1歩行周期における立脚相(踵の接地から前足部離地まで)の時間データ

条件	1歩行周期における立脚相		足圧合計最大値検出時間 (①に対する割合)		HS期からKU期		
	時間(①) sec	Sp55,W条件との比 %	HS期 %	KU期 %	時間 sec	①に対する割合 %	
Sp55	W	0.85 ± 0.05	100 ± 0	28.0 ± 3.6	74.6 ± 4.5	0.39 ± 0.05	46.3 ± 5.3
	PsW	0.91 ± 0.04 *	107 ± 5 *	30.2 ± 3.9 **	75.5 ± 3.2	0.41 ± 0.05	45.2 ± 4.5
Sp65	W	0.81 ± 0.08	95 ± 6	29.1 ± 4.6	76.8 ± 3.1	0.39 ± 0.06	47.7 ± 5.0
	PsW	0.82 ± 0.05	97 ± 6	27.3 ± 3.3	76.2 ± 4.9	0.40 ± 0.05	48.9 ± 4.5

*: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$, Sp55のW条件に対する有意差

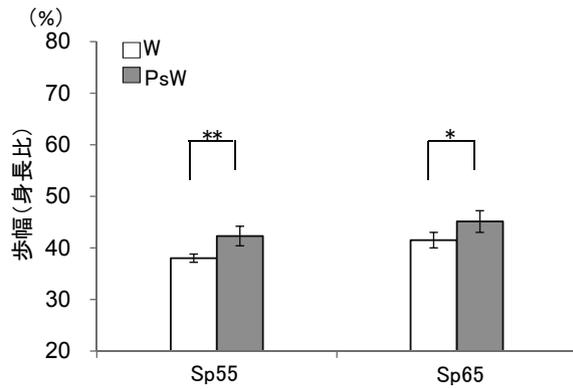


図8 各速度における身長に対する歩幅の割合

IV. 考察

本研究は立脚期足圧に着目し、熟練者の PsW の特性を W と比較し明らかにすることが目的であった。

踵接地時の足圧値は、合計値では PsW が低い傾向にあったが有意レベルではなかった(図3)。ただ、別に求めた歩幅は、今回の被験者で約 6 cmPsW が大きかった。歩幅の増加は筋の動員をより多くし(宮下、2006)、踵接地時の圧増大を誘発するが、本研究では歩幅が増大したにも拘らず足圧は同レベルを維持していた。これは、PsW が意図せず歩幅を増大させ下肢筋力の動員を促すことで筋を刺激しつつ、下肢負担は維持し膝や腰への障害リスクは高めない可能性を示している。関連して、足圧合計値を各条件の歩幅に対する割合として求めると、両速度において PsW が有意に低い値を示した(図5)。この要因として、1 歩行周期における立脚相の時間が考えられる。立脚相は PsW が有意に長く ($p < 0.05$)、各条件の立脚相の時間で補正すると、HS 期までの時間は PsW が有意に長かった ($p < 0.01$)。これらから、PsW は踵接地から速やかに加重を後足部や中足部に移行させるのではなく、時間をかけ丁寧に接地しながら踵支持に繋げていると推察される。さらに、高齢者は加齢による椎間板変性や骨密度の減少による椎体の変性から、重心が前方に偏位してしまうため、小刻み歩行やすり足歩行となり重心移動を利用した歩行が困難となり転倒へ繋がる可能性があると報告されている(酒井ら、2011)。踵での接地と踵に重心を乗せることをポイントのひとつとして強調する PsW は、正しく重心移動する技能習得の切り口となり、ひいては転倒予防への効果も

期待される。

立脚相後半の KU 期について、足圧合計値では条件間に差は認められず(図6)、データからは PsW のポイントの「つま先で地面を押し蹴る」は確認されなかった。しかし、各セルの最大値では、有意差はないものの PsW が高い傾向を示し、加えて KU 期の圧が検知されたセル数(足圧面積)は約10% PsW が小さかった。KU 期について、トータルの圧は同レベルだが、前足部の特定部位に意図して圧が加わり、より狭い範囲に圧が集中したと考えられる。PsW の「地面を押し蹴る」の特性は、明確ではないがこれらのデータから推察される。

さらに、KU 期の足圧分布範囲をみると、被験者により PsW でも中足骨付近での加重に留まるケースもあったが、W に対し足趾も利用し Toe off する傾向にあった(図9)。先行研究では、足趾の筋力が高くなることで、歩幅の増加および歩行速度の上昇にも繋がり(太箸ら、2005 / 加辺、2003)、平衡機能や歩行能力に影響を及ぼす(相馬ら、2012)と報告され、高齢者については転倒や障害の予防につながる可能性がある。PsW のポイントとしての足趾を含む前足部での離地が体現され、無理なく継続的に行うことで、中高年の自立した生活のための体力の基礎獲得への影響が期待される。

本研究にて、PsW は接地からの踵支持や前足部での押し蹴りを一要因として、立脚相(時間)が長くなり歩幅が増大することが示唆された。これは、筋活動時間が延長し脚の筋活動が促され負荷が増大する可能性もある。また一方で、つま先離地の際に脚を伸展しきるが、上肢の「腕は後ろへ伸ばす」動きも相まって、連続する

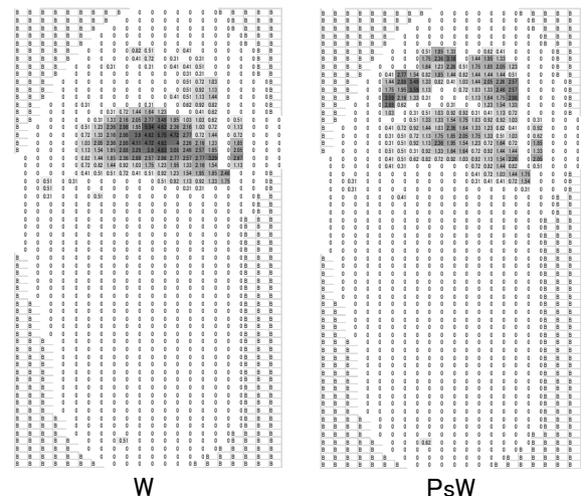


図9 KU 期の足圧分布(被験者 A, Sp55)

ことで筋が硬直し肩こり等を誘発(LarssonSE et al.1993)するとも考えられる。関連して、初級者には主観的に運動強度が高く感じ、過度な負担がかかる危険性もあるため、データに基づく適切な指導および適度な時間配分での実施が求められる。

PsWは、歩幅が増大する一方で、足圧分析より無理のない踵接地と前足部で押し蹴る傾向が確認された。足圧分布や荷重移行パターンなどの検討を加えることで、さらにPsWの特性を明らかとしたい。また今後、安全で効果的に実施・活用されるためには、長時間継続する際の下肢への負担や、呼吸循環器系への影響および効果についての検討が求められる。

V. まとめ

足圧分析によりPsWは、Wと比して歩幅は増大するが、接地時の圧は軽減しつつ、前足部で押し蹴る傾向が確認された。継続的な実施により、足趾筋力が向上し、日常歩行での歩幅や速度の増加、ひいては転倒防止や体力の維持増進に繋がると期待される。

VI. 謝辞

測定に際し快くご協力いただいたポスチュアウォーキング協会スタイリストの皆様、測定と分析を担った桑原明里様ならびにご支援いただいた方々に、心より感謝申し上げます。

参考文献

1. 太著俊宏・坂口光晴・菅原仁・中川仁・金原一宏(2005):

足趾把持力が歩行に及ぼす影響:歩幅と歩行率の観点から、理学療法学 32: 243.

2. 加辺憲人(2003):足趾の機能、理学療法科学18(1): 41-48.
3. KIMIKO・上大岡トメ(2014):歩くだけ!ポスチュアウォーキングでかんたんキレイ!心も変わる!、講談社、東京.
4. Larsson S.E et al(1993): Microcirculation in the upper trapezius muscle during varying levels of static contraction, fatigue and recovery healthy women a study using percutaneous laser-doppler flowmetry and surface electromyograph, Eur. Appl. Physiol. 66: 483-488.
5. 宮下充正(2006):ウォーキングブック科学に基づいたウォーキング指導と実践、大日本印刷、東京、pp44-51.
6. 文部科学省スポーツ青少年局スポーツ振興課(2013):体力・スポーツに関する世論調査、文部科学省、東京、pp14-28.
7. 岡本勉・岡本香代子(2004):ニューエクスサイズウォーキング、歩行開発研究所、大阪、pp19-50.
8. 岡本祐三(1995):医療と福祉の新時代、日本評論社、東京、pp35-50.
9. 田中俊夫(編)(2000):くらしの中の健康運動-生活習慣病、腰痛、膝痛の改善法-、大学教育出版、岡山、pp14-25.
10. 酒井孝文・河村顕治・山下智徳(2011):トレッドミル上での連続歩行時における足圧中心の加齢変化について、日本理学療法学会大会.
11. 鳥田聡・石田和文・大塚作一(2004):足圧分布画像を用いたヒト歩行時の下肢姿勢推定、映像情報メディア学会誌:映像情報メディア 58(7): 944-951.
12. 相馬正之・五十嵐健文・工藤渉・中江秀幸・安彦鉄平(2012):足指把持力トレーニングがFunctional Reach Testや最大1歩幅、歩行能力に与える影響について、ヘルスプロモーション理学療法研究2(2): 59-63.

Abstract

In recent years, Posture Walking (PsW) has attracted attention as a healthy and beautiful walking style. This study aims to reveal the characteristics of PsW by conducting a foot pressure analysis.

With six female PsW experts in good health as research subjects, a comparison of walking style between normal waking and PsW was conducted. Foot pressure value was measured using a sensor sheet placed in the subjects' shoe for left foot.

The results confirmed that in PsW the length of stride increased, while there was a tendency that the pressure on the heel decreased when it made contact with the ground as well as a characteristic that the subjects pushed off from the ground with their toes. This suggests that, by continuing this walking style, the muscle strength of toes will be improved and the length of stride and speed in daily walking will be increased, and it will also lead to the prevention of falls and the maintenance of physical fitness.