
原 著

外反母趾患者における歩行時前足部足底圧分布の研究

奈良県立医科大学整形外科学教室

門野邦彦, 田中康仁, 阪本達哉, 秋山晃一,
米田岳史, 谷口晃, 高倉義典

PLANTAR PRESSURE DISTRIBUTION UNDER THE FOREFEET WITH HALLUX VALGUS DURING WALKING

KUNIHICO KADONO, YASUHIRO TANAKA, TATSUYA SAKAMOTO,
KOICHI AKIYAMA, TAKESHI KOMEDA, AKIRA TANIGUCHI
and YOSHINORI TAKAKURA

Department of Orthopedic Surgery, Nara Medical University

Received August 15, 2003

Abstract : We developed a new plantar pressure analysis method in which F-scan (Tekscan Inc.) and whole foot radiography were combined. In this study, we examined the pressure distribution under the forefeet of patients with hallux valgus during walking and compared the results with those normal subjects. Fifty-seven feet of 35 patients with hallux valgus and 36 feet of 18 normal volunteers were examined. F-scan sensor sheets were attached to their soles and plantar pressure during walking was measured. Subsequently whole foot radiographs were taken immediately with the sheets still attached to the soles. Then we could divide the region into eleven areas which correspond to the skeletal structures with the radiograph. The areas consisted of each toe, each metatarsal head and the lateral sesamoid. The loads applied on each area during walking were assessed. The load under the great toe was less in the hallux valgus group than the normal group. On the contrary, the loads under the second and third toes were increased in the hallux valgus group. The same pattern was observed in the level of the metatarsal heads. These findings showed that the second and third toes must compensate for the disability of the great toe in patients with hallux valgus.

Key words : plantar pressure, gait analysis, hallux valgus

緒 言

外反母趾は中年以降の女性に多く見られる足の変形をきたす病態である。外反母趾では第1趾は外側偏位し、第1中足趾関節(第1MTP関節)の亜脱臼と第1中足骨の内反を生じる。外反母趾変形を有する足においては多

くの症例で足底の疼痛性胼胝が認められる。胼胝の形成は、足部の変形によって足底へ加わる荷重の分布が変化し異常な集中を生じたことが理由と考えられる。これまでに外反母趾の足底に加わる荷重が種々の方法で検討され、第1趾への荷重の低下や足趾部全体への荷重の低下、第2,3中足骨骨頭の付近での圧力の上昇などが報告され

てきた^{2, 16, 18)}. しかし多くの研究では, 足底圧計測点の特定を足底紋そのものから行っており, 足部骨格の解剖学的な位置に照らし合わせて決定した報告はない. Bauman^ら¹⁾ Bransby^ら⁴⁾は足底に薄い圧力センサーを貼り付ける方式を用いたが, センサーの取り付け位置は皮膚上から決定していた. Henry^ら⁹⁾は, 外反母趾手術後の患者に対してフットプリント検査を行い, 中足骨骨頭部への荷重分布や母趾圧痕の有無などを検討した. しかし足底の分割は得られた足圧痕をもとにして設定しており, 足部骨格に対応したものではなかった. フットプリントを足部骨格に対応させる試みとしては, 津山^ら¹⁹⁾が, 西野の方法による下腿像消去足骨格背底X線像とプレスケールにより得られたフットプリントと重ね合わせる方法を報告している. しかしこの方法もX線像とフットプリントを同一条件で計測したものではなかった. またフットプリントによる荷重の計測は定量的ではない. 我々は歩行時の足底圧分布を足の解剖学的構造に正確に対応させて評価するため, 動的足底圧計測装置であるF-スキャン(株式会社ニッタ・Tekscan inc.)を用いた計測

に我々の考案した“全足部荷重時背底X線像”を組み合わせる足底圧分布を分析する手法を開発した¹⁵⁾. 本研究の目的は, 外反母趾症例における前足部足底圧分布の状態を我々の足底圧分析法を用いX線像上で第1から第5趾に対応する足趾および中足骨骨頭部の領域に分割して詳細に検討することである.

対象と方法

奈良県立医科大学附属病院整形外科にて, 手術治療を目的に入院した外反母趾患者35名57足を対象とした. 術前検査の一貫として足底圧計測を施行した. 内訳は女性33名・男性2名であり, 年齢は12~77歳, 平均52.3歳であった. 外反母趾の程度は外反母趾角と第1第2中足骨間角で評価し, 荷重時足部背底X線像上で計測した¹⁷⁾. 外反母趾角は第1中足骨と第1趾基節骨の骨幹部長軸が互いになす角度とし, 20~53度, 平均33.8度であった. 第1第2中足骨間角は第1中足骨と第2中足骨の骨幹部長軸の互いになす角度とし, 4~25度, 平均17.3度であった. 健常群として, 足部に疼痛を訴えず, 扁平足

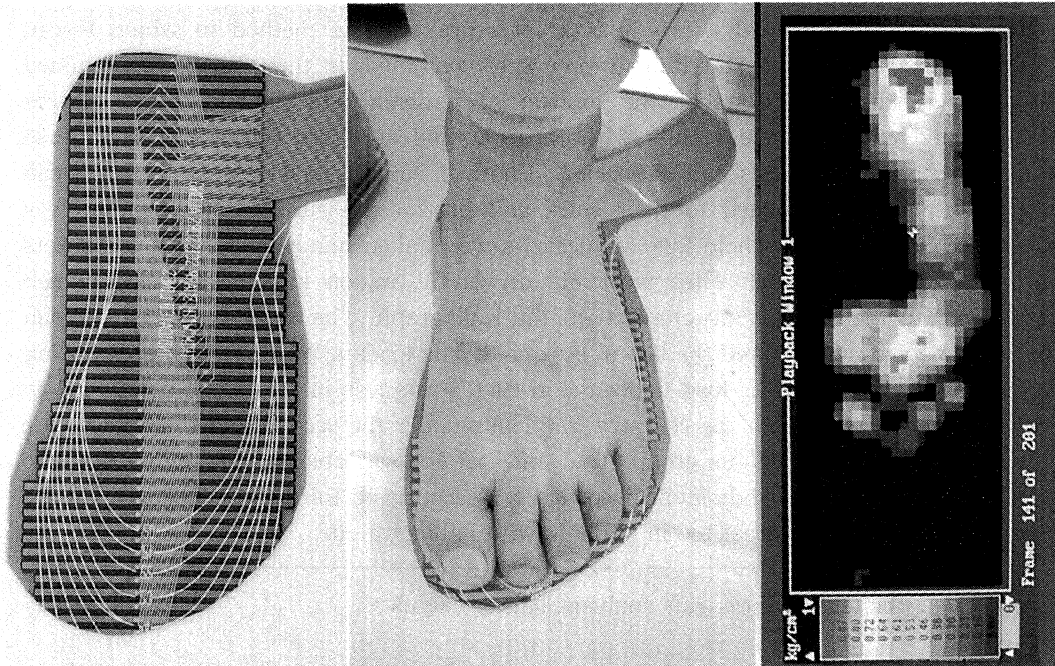


Fig.1 - a

Fig.1 - b

Fig.1 - c

Fig. 1 . F-scan sensor sheet was made of pressure sensitive film and showed a footprint shape (a). The sheet was very thin and flexible, therefore we could cut the sheet following the outline of the foot. Patients and normal volunteers were undergone plantar pressure examination with the sheets attaching on the soles by adhesive tape (b). Load applied on the soles during walking was recorded and displayed on a PC monitor (c).

などの変形を認めない病院スタッフから集めた健康成人ボランティア 18 名 36 足の歩行時動的足底圧計測を施行した。内訳は男性 13 名、女性 5 名であり、年齢は平均 36 歳(22-68 歳)であった。健康群の外反母趾角は 5~20 度、平均 13.7 度であり、第 1 第 2 中足骨間角は 8~16 度、平均 11.9 度であった。足底圧検査を行うに当たり被験者には検査内容を十分説明し同意を得た。

足底圧計測は F-スキャン(株式会社ニッタ, 大阪 Tekscan, inc., South Boston)を使用して行った。F-スキャンは厚さ約 0.15mm の薄いシート状の感圧センサーを用いた足圧分布測定システムである。センサーシートは薄く被験者の足の形に合わせて切りそろえることができ、これを靴底に入れたり足裏に貼り付けて計測することが可能である。今回足底圧の計測は被験者を裸足とし、足の大きさに切りそろえた F-スキャン用のセンサーシートを足底に貼り付けて歩行させて行った。計測は平坦な

屋内で行い、歩幅や歩速は指定せず本人の通常の歩行と同じように歩かせて測定した。センサーシートを装着した後、被験者が十分に慣れることができるように練習歩行の後計測を行った。F-スキャンのセンサーシートは 955 点の感圧セルによってマス目状に区切られており、足底に加わった荷重はこれらセンサーセルの一つ一つに加わった圧力が経時的に記録される。(Fig.1.) このセンサー格子は一辺 5.08mm であり、足趾部を 5mm 四方の小さな区画に分割して荷重を記録することが可能である。センサーのサンプリング周波数は 100Hz に設定した。このとき 1 回の測定で 2 秒間の歩行が記録が可能である。この設定で歩行させた時、1 回の計測で片側 3 歩分ずつが記録された。

足底圧の計測後、続けて荷重時全足部単純 X 線撮影を行った。(Fig. 2.) レントゲン撮影室の床に単純 X 線撮影フィルムのカセットを置き、被験者にはセンサーシー

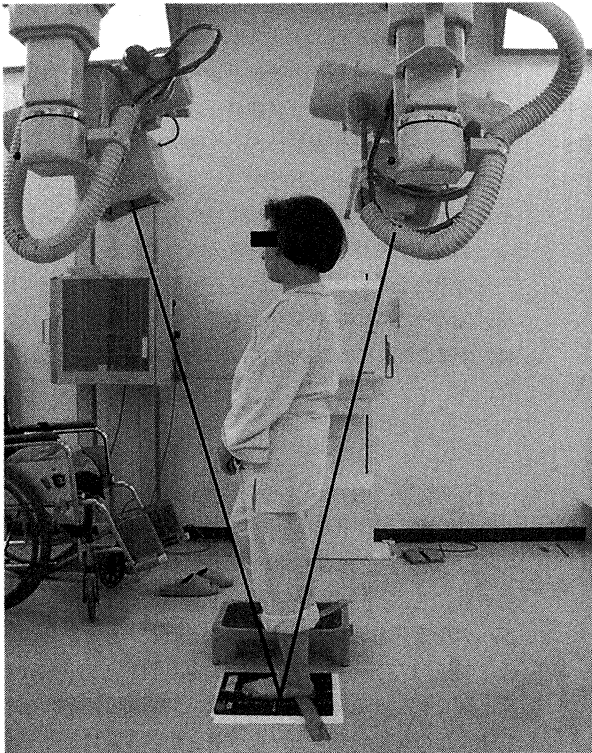


Fig. 2 - a



Fig. 2 - b

Fig. 2. After the plantar pressure examination, a whole foot radiogram was taken attaching the sensor sheet on the sole. Patients and normal volunteers stood on a film cassette laid on a floor. Two X-ray tubes were set an angle of 15 degree anterior and posterior at 1 m distance (a). Both whole of the tarsal bone and load cell of the sensor sheet were visible on the radiogram. Then we could relate any part of the footprint to the load cell of the sheet (b).

トを足裏に貼り付けたまま、片足をこのカセット上に載せて起立してもらう。この状態で1mの距離から前後15度の角度で、X線を二重に照射して足部の背底撮影を行った。まず前方からの照射を行うと、前足部がフィルム上に感光されるが下腿がフィルターの役目をはたすため後足部は感光されない。次いで後方からX線を照射すると、逆に後足部はフィルムに像を結ぶが、下腿の影に入る前足部は感光されず、二重露光することはない。こうして下腿像を消去して1枚のフィルムに足部全体を写し出すことが可能となった。この全足部X線写真上には、足裏に貼り付けていたセンサーシートの感圧セルがマス目状に写し込まれており、足部骨格とセンサー格子との位置関係が明確に判定可能である。先に計測したF-スキャンの足底圧データと、センサー格子入り全足部X線像を組み合わせることで、足裏の任意の領域に加わった荷重を評価することが可能であった。

外反母趾患者における歩行時前足部荷重分布を検討するため、前足部を11の領域に分割し、それらへ加わった荷重を調べた。その内訳は第1趾、第2趾、第3趾、第4趾、第5趾エリアの足趾エリアが5カ所であり、中足骨骨頭エリアは、第1、第2、第3、第4、第5中足骨骨頭エリア、外側の種子骨エリアの6カ所とし、前足部を合計11のエリアに分割した。(Fig. 3.) 第1趾エリアは

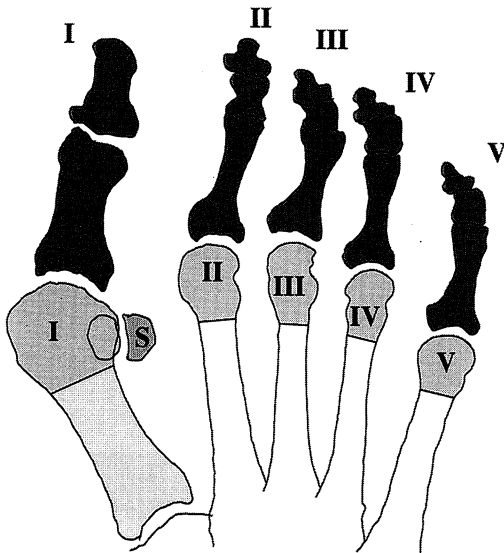


Fig. 3. The forefoot was separated into 10 areas according to a whole foot radiogram. There were the toe areas and the metatarsal head areas which corresponding to each digit. In hallux valgus group, the lateral sesamoid area (S) was determined.

基節骨および末節骨とし、その他の足趾エリアは基節骨、中節骨、末節骨とした。中足骨骨頭エリアは中足骨骨頭の球形部分とした。このエリアの近位端は、頸部の最狭部での中足骨軸に対する垂線とした。エリアの決定は全足部X線写真上でおこなった。該当するエリアと重なったセンサーの格子点をX線写真上で選び出した。感圧セルの三分の一以上が重なっていれば当該エリアとして採用し、境界線が同一のセル上を通るときは、広い面積が乗っているほうに含めた。1歩の間に足底に加わった荷重を分割されたエリアごとに合計し、それぞれのエリアへの荷重の分布を決定した。測定値は3歩分を平均した。また、対照とした健常群においては外側種子骨エリアは第1中足骨骨頭に重なっているため、これを除いた10エリアに分割し荷重分布を調べた。1歩の間にそれぞれのエリアに加わった荷重を合計し、各趾における分布割合を全足趾に対する百分率(%)で、各中足骨骨頭部における分布割合を全中足骨骨頭部に対する百分率(%)で表示した。分割した前足部の各エリアへの荷重を外反母趾群と健常群で比較した。

また疼痛と荷重分布の関係を調べるため、外反母趾群を中足痛の有無によって2群に分けた。外反母趾患者における第2中足骨骨頭下付近の疼痛の有無を調査し、疼痛があれば中足痛ありとした。外反母趾群のうち13例18足に中足痛の訴えが認められ中足痛あり群とし、中足痛なし群22例39足と前足部荷重分布を比較した。

統計学的な検討として、外反母趾群と健常群及び外反母趾群の中でも中足痛を有する群と有しない群との比較は、計測したエリア毎に独立二群のT検定を用いて行った。

結 果

外反母趾群においては、足趾部への荷重分布は第1趾に $36.3 \pm 14.1\%$ (平均値 \pm 標準偏差)、第2趾に $23.3 \pm 7.8\%$ 、第3趾に $19.9 \pm 5.8\%$ 、第4趾に $12.3 \pm 4.7\%$ 、第5趾に $8.1 \pm 6.1\%$ であった。(Fig. 4.) 健常群では足趾部への荷重分布は第1趾に $42.0 \pm 18.0\%$ 、第2趾に $18.8 \pm 8.0\%$ 、第3趾に $16.5 \pm 7.3\%$ 、第4趾に $14.1 \pm 7.7\%$ 、第5趾に $8.6 \pm 6.6\%$ であった。外反母趾群、正常群ともに第1趾の荷重が最大で、以下第2から5趾にかけて漸減していく共通のパターンを示した。しかし、1歩の間に第1趾から第5趾までの全ての足趾に加わった荷重の総和に占める第1趾の割合は、外反母趾群において正常群と較べ低下しており、反対に第2・3趾では、外反母趾群で有意に上昇していた。第4・5趾への荷重分布には差がなかった。

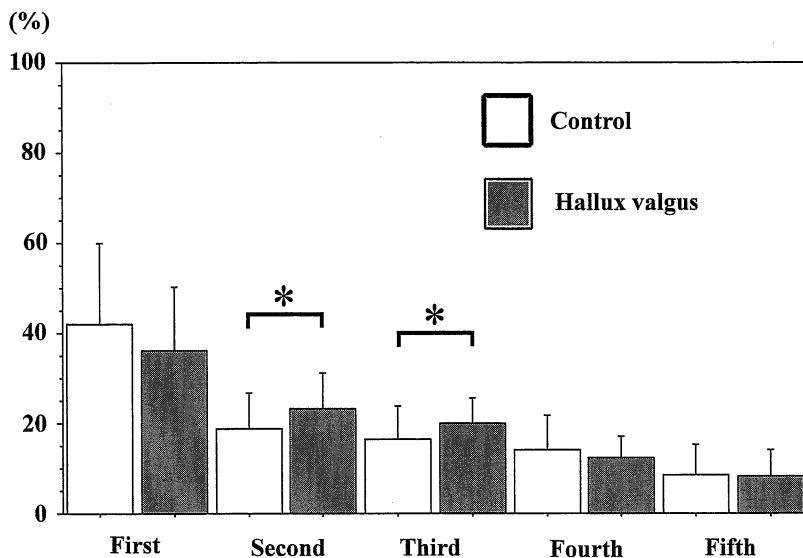


Fig. 4. Load distribution under each toe during a gait.

In both groups, the load under the toe was decreased from the great to the fifth toe

But the percentage of the load under the second and the third toe were significantly increased in the hallux valgus group than in the normal groups. (*: $P < 0.01$)

中足骨骨頭レベルでは、外反母趾群において第1中足骨骨頭に21.1 ± 15.7%、第2中足骨骨頭に26.2 ± 8.5%、第3中足骨骨頭に21.8 ± 8.4%、第4中足骨骨頭に13.2 ± 5.4%、第5中足骨骨頭に12.4 ± 11.8%が分布していた。第1中足骨外側種子骨部には5.3 ± 3.5%の割合で荷重が及んでいた。(Fig. 5) 健常群では第1中足骨骨頭に30.5 ± 15.2%、第2中足骨骨頭に25.4 ± 5.6%、第3中足骨骨頭に19.3 ± 6.2%、第4中足骨骨頭に14.5 ± 5.9%、第5中足骨骨頭に10.3 ± 6.0%が分布していた。この結果からは1歩の間に中足骨骨頭エリア全体に加わった荷重の内、健常群では第1中足骨骨頭に最大の荷重が加わり、以下第2から第5にかけて漸減していることが示されている。一方、外反母趾群では第1中足骨骨頭下への荷重が健常群に較べ有意に低くなっていた。第2から第5中足骨骨頭エリアでは、外反母趾群がやや高値を示したが、有意な差ではなかった。また外反母趾群では、外側種子骨が第1中足骨骨頭下から外側へ脱臼転位しており、このエリアにおよんだ荷重を計測したところ中足骨骨頭全体に加わった荷重の5.3%に達していた。

次に足底に胼胝をともない中足痛を有する症例と、中足痛の訴えの無い症例における前足部の荷重分布を比較した。中足痛あり群においては、足趾部への荷重分布は第1趾に34.0 ± 13.7%、第2趾に22.4 ± 7.7%、第3趾

に20.3 ± 6.1%、第4趾に13.6 ± 4.4%、第5趾に9.6 ± 7.2%であった。(Fig. 6) 中足痛なし群では足趾部への荷重分布は第1趾に37.4 ± 14.4%、第2趾に23.8 ± 7.9%、第3趾に19.7 ± 5.7%、第4趾に11.6 ± 4.7%、第5趾に7.4 ± 5.4%であった。足趾エリアでは、第1趾、第2趾エリアへの荷重割合が、中足痛を有する症例では、やや低下していた。一方第3、第4、第5趾エリアへの荷重は、中足痛を有する症例の方が高くなる傾向が見られた。健常群との比較では第1趾エリアの荷重が特に減少している様子が明らかであった。中足骨骨頭エリアへの荷重分布は、中足痛あり群において第1中足骨骨頭に14.7 ± 11.2%、第2中足骨骨頭に25.9 ± 7.9%、第3中足骨骨頭に24.0 ± 8.5%、第4中足骨骨頭に14.1 ± 6.0%、第5中足骨骨頭に17.2 ± 15.7%が分布していた。種子骨部には4.1 ± 2.6%の割合で荷重が及んでいた。(Fig. 7) 中足痛なし群では第1中足骨骨頭に24.1 ± 16.7%、第2中足骨骨頭に26.4 ± 8.7%、第3中足骨骨頭に20.8 ± 8.2%、第4中足骨骨頭に12.7 ± 5.2%、第5中足骨骨頭に10.1 ± 8.8%、種子骨部に5.8 ± 3.7%が分布していた。中足骨骨頭エリアにおいても、中足痛を有する症例では第1、第2中足骨骨頭エリアへの荷重が低下していた。特に第1中足骨骨頭エリアにおいては、中足痛を有する症例で中足痛のない症例よりも有意に低下していた。健常群の30.4%と比べると約半分にまで低下し

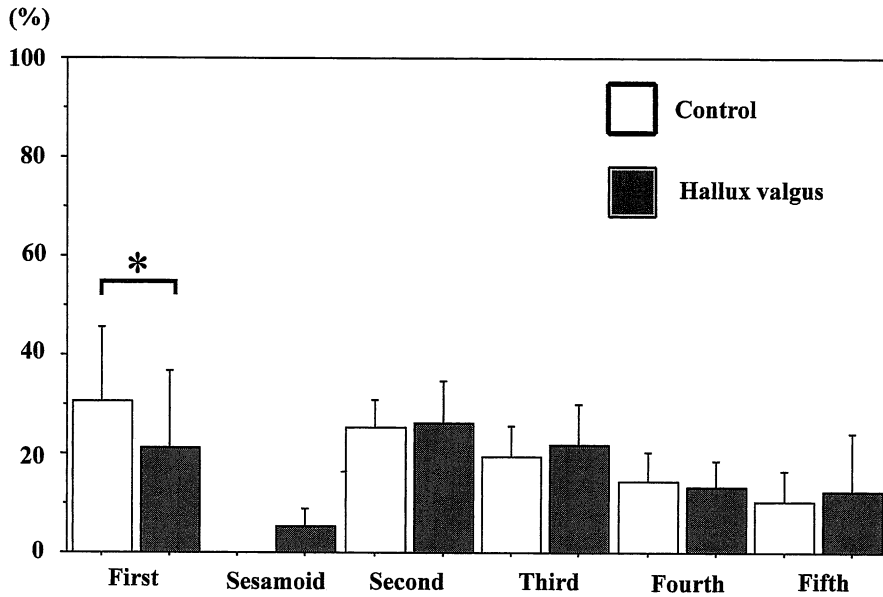


Fig. 5. Load distribution under each metatarsal head during a gait. The load under the metatarsal head was decreased from the first to the fifth in the control group. In the hallux valgus group, the load under the first metatarsal head was significantly lower than in the control group. (*: $P < 0.001$).

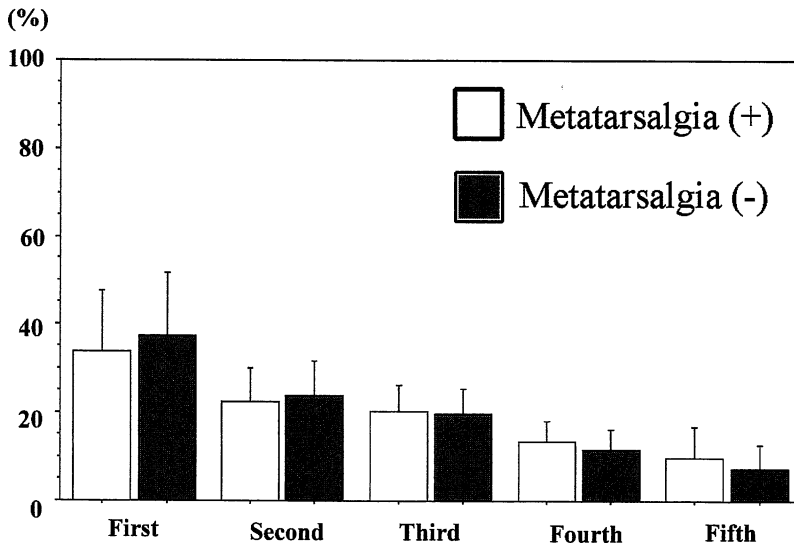


Fig. 6. Load distribution under each toe during a gait in the patients with and without metatarsalgia were shown. In the metatarsalgia group, the load under the first toe was decreased than in the without metatarsalgia group.

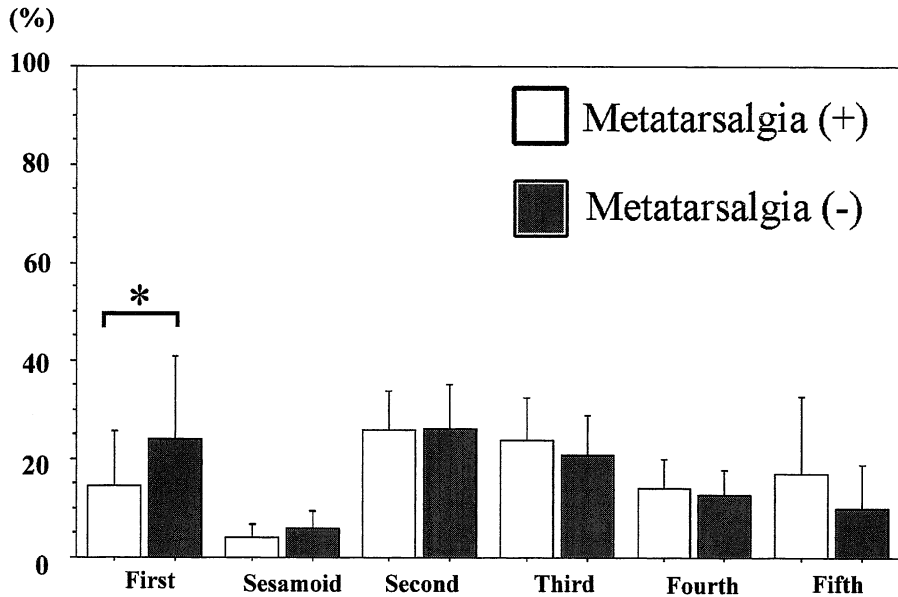


Fig. 7. Load distribution under each metatarsal head during a gait.

In the patients with and without metatarsalgia.

The load under the first metatarsal head in the patients with metatarsalgia was decreased than in the patients without metatarsalgia.

In comparison with normal group, the load under the first metatarsal head was remarkably diminished in the metatarsalgia group. (*: $P < 0.001$).

ていた。第3, 第4, 第5中足骨骨頭エリアへの荷重は, 中足痛を有する症例が, 中足痛の無い症例よりも高くなる傾向が認められ, その上昇幅は第5中足骨骨頭エリアが大きかった。

考 察

歩行時に足底にかかる負荷を計測しその分布を調べ, 疾患の診断や治療に役立てるべく種々の方法がこれまでに考案されてきた。Beely²⁾による plaster bag を用いた方法や, インクパッドを用いて足形を採取する方法や, ゴム製のシートを用いる方法などが報告されている¹²⁾。これらの方法はいずれも静的な荷重分布の評価であったが, Elftman ら⁸⁾はピラミッド型のゴム製突起上を歩行させ, 動的な足底への荷重の様子を調べる方法を考案した。Stokes ら¹⁰⁾は, 床面に細長い strain gauge を敷いた走路上を歩行させ, Hutton ら¹³⁾は, 床面に小さなロードセルをタイル状に敷き詰めた走路上を歩行させ, 動的な足底圧計測を報告している。これまでも足底紋をいくつかの領域に分けて, 足底のそれぞれの部位に加わった荷重を特定しようとした報告が散見されるが, 足底のエリアの分割方法を足部骨格と明確に対応させたものはなかつ

た¹⁰⁾。F-スキャンは足形をした薄いフィルム状の感圧センサーシートを利用した動的足底圧計測装置である^{5, 6, 7, 14, 21)}。センサーシートは被験者の足裏に貼り付けて測定が可能であり, 測定後センサーシートを貼り付けたまま全足部 X 線像を撮影することで, 足部骨格とセンサーの位置を対応させることが可能である。F-スキャンは1つ1つの感圧セルにおける動的な荷重変化を記録しているため, 本法を用いることで足部骨格に対応した部分の歩行時の動的な負荷を正確に決定することが可能となった。

本研究において我々は外反母趾患者における前足部荷重分布を検討した。足趾部分での荷重は, 外反母趾群, 健常群ともに第1趾が最大で, 以下第2から第5趾へと漸減していく同様の荷重分布パターンを認め, 中足骨骨頭部分への荷重パターンもほぼ同様であった。Hughes ら¹⁰⁾は歩行において足趾部は中足骨骨頭部と同等に荷重を支えていると述べており, 今回の結果は過去の報告に矛盾していなかった。両群を詳細に比較してみると, 外反母趾群では正常群に較べ第1趾への荷重分布が減少する傾向が見られた。さらに外反母趾群のなかでも中足痛を有する症例では第1趾への荷重が一層低下しており, 第1趾の機能低下が考えられた。一方第2, 3趾への荷重

分布は増加しており、第1趾の機能低下を第2, 3趾が代償する方向に作用していることを示唆するものと考えられた。外反母趾では第1趾列の機能不全が生じているとされており、このことを証明するものと考えられた。もっとも、これまでの外反母趾における足底圧に関する報告では、足趾部分への荷重を調べたものはほとんどない。荻内ら¹⁹⁾は、外反母趾では足趾全体への荷重分布が減少していたと報告しているが、足趾1本ずつを分けて調べたものではなかった。足趾への荷重を独立して1本ずつ評価することは技術上困難であったためと思われる。このような足趾への荷重を独立して評価することは、我々の方法によってはじめて明らかになったものである。

中足骨骨頭レベルの結果では、第1中足骨骨頭エリアへの荷重分布割合が外反母趾群では健常群に較べて有意に減少しており、外反母趾における第1趾列の機能不全を反映するものと考えられた²⁰⁾。中足骨骨頭レベルへの荷重を調べた報告は散見されるが、Beverlyら³⁾は外反母趾例では第2, 3中足骨骨頭下において最大圧が増大していたとし、Tangら¹⁸⁾は第1, 2中足骨骨頭下で最大圧が上昇していたと述べている。我々の結果では外反母趾における第2及び第3中足骨骨頭エリアへの荷重分布は、健常群と大きな差を認めなかった。ただし外反母趾群では第1第2中足骨骨頭の間に位置する種子骨エリアにも荷重が分布しており、種子骨エリアと第2中足骨骨頭を合わせた部位への荷重は健常群よりも多いといえた。進行した外反母趾においては、第1第2中足骨間角が開大し外側種子骨が中足骨骨頭下から脱臼し外側へ転位するが、このとき種子骨エリアへは約5%の荷重が加わっていた。これは第2中足骨骨頭エリアへの荷重の約5分の1に相当した。これまでに種子骨部分への荷重を検討した報告は認められず、このような小さなエリアにおける荷重の分布はF-スキャンと全足部X線像を組み合わせた我々の方法ではじめて可能となったものである。

外反母趾患者において、第2中足骨骨頭下付近の疼痛の訴えがしばしば認められる。今回の対象のうち、57足中18足に中足痛の訴えがあった。中足痛を有する症例と、中足痛の訴えの無い症例における前足部の荷重分布を検討したところ、中足痛のある症例では第1趾および第2趾エリアへの荷重が中足痛の無い症例よりも少なくなる傾向を認め、残りの第3, 第4, 第5趾エリアへの荷重は反対に高くなる傾向が認められた。この傾向は中足骨骨頭エリアにおいても同様であり、中足痛のある症例では第1及び第2中足骨骨頭エリアへの荷重が減少し、第3, 第4, 第5中足骨骨頭エリアへの荷重が増加する傾向を認めた。特に第1趾および第1中足骨骨頭エリアにおける

低下は健常群と比較すると著明であり、外反母趾における第1趾列の機能不全の存在を示しており、中足痛の要因であると考えられた。

結 論

1. 動的足底圧計測装置(F-スキャン)と全足部荷重時背底X線像を組み合わせた測定圧分布解析法を用いて健常者と外反母趾患者の足底圧を計測解析した。
2. 健常群と比較して外反母趾群においては、第1趾および第1中足骨骨頭への荷重分布が減少し、反対に第2, 3趾への荷重が増加していた。このことは外反母趾における第1趾列機能の低下を第2, 3趾が代償するように働いていることを示している。
3. 中足痛を有する外反母趾症例では、第1中足骨骨頭領域への荷重が中足痛のないものに較べ低下していた。この結果は第1趾列の機能低下を示すもので中足痛の要因である。
4. 本法はこのように足底の任意の小さな領域にかかる荷重を詳細に検討可能であり、足底圧分析法として有用である。

文 献

- 1) Bauman, J. H. and Brand, P. W.: Measurement of pressure between foot and shoe. *Lancet* 1 : 629-632, 1963.
- 2) Beely, F. : Zur Mechanik des Stehens.: Über die Bedeutung des Fussgewolbes beim Stehen. *Langenbecks Archiv für klinische Chirurgie*, 27 : 457-471, 1882.
- 3) Beverly, M. C., Horan, F. T. and Hutton, W. C. : Load cell analysis following silastic arthroplasty of the hallux, *Int Orthop.* 9 : 101-104, 1985
- 4) Bransby-Zachary, M. A. P., Stother, I. G. and Wilkinson, R. W. : Peak pressures in the forefoot. *J. Bone. Joint Surg. Br.*, 72-B : 718-721, 1990.
- 5) Brown, M., Rudicel, S. and Esquenazi, A. : Measurement of dynamic pressures at the shoe-foot interface during normal walking with various foot orthoses using the FSCAN system. *Foot Ankle Int.*: 152-156, 1996.
- 6) Caudron, I., Grulke, S., Farnir, F., Vanschepdael, P., and Serteyn, D. : In-shoe foot force sensor to assess hoof balance determined by radiographic method in ponies trotting on a tread-

- mill. Vet Q. **20** : 131-135, 1998.
- 7) Collis, W. J. M. F. and Jayson, M. I. V. : Measurement of pedal pressure, an illustration method, *Ann rheum. Dis.* **31** : 215-217, 1972.
 - 8) Elftman, H. : A cinematic study of the distribution of pressure in the human foot. *Anat. Rec.* **59** : 481-491, 1934.
 - 9) Henry, A. P., Waugh, W. and Wood, H. : The use of footprints in assessing the results of operations for hallux valgus. A comparison of Keller's operation and arthrodesis, *J. Bone Joint Surg. Br.* **57** : 478-481, 1975.
 - 10) Hughes, J., Clark, P. and Klenerman, L. : The importance of the toes in walking, *J. Bone Joint Surg. Br.*, **72-B**: 245-251, 1990.
 - 11) Hutton, W. C. and Dhanendran, M. : A study of the distribution of load under the normal foot during walking. *Int. Orthop.* **3** : 153-157, 1979.
 - 12) Morton, D. J. : Structural factors in static disorders of the foot. *Am. J. Surg.*, **9** : 315-326, 1930.
 - 13) 荻内隆司, 山本晴康, 宗田 大 : 外反母趾手術前後の足底圧解析, *日整会誌*, **72** : 1404, 1998.
 - 14) Oliveira, G. S., Greve, J. M., Imamura, M., Bolliger, N. R. : Interpretation of the quantitative data of the computerized baropodometry in normal subjects. *Rev. Hosp. Clin. Fac. Med. Sao. Paulo.* : 16-20, 1998.
 - 15) 阪本達哉, 田中康仁, 中井敏幸, 高倉義典 : 荷重時足部X線像と圧計測システムを併用した新しい足底圧分析法の試み, *日足外会誌*. **19** : 66, 1998.
 - 16) Stokes, I. A. F., Hutton, W. C. and Mech. E., M. I. : Force under the hallux valgus foot before and after surgery. *Clin. Orthop.* **142** : 64-72, 1979.
 - 17) Tanaka, Y., Takakura, Y. and Sugimoto, K. : Precise anatomic configuration changes in the first ray of the hallux valgus foot, *Foot Ankle Int.*, **21** : 651-656. 2000.
 - 18) Tang, G. and Wallace, W. A. : Forefoot pressure measurements in the foot with hallux valgus. *J. Bone Joint Surg. Br.*, **74**, Supp-III: 262, 1992.
 - 19) 津山直一, 西野仁博, 馬 忠泰 : 足骨格部分と荷重, *日足外会誌*. **33** : 1323-1327, 1982.
 - 20) Viladot, A. : Metatarsalgia due to biomechanical alterations of the forefoot. *Orthop Clin North Am.*, **4** : 165-178, 1973.
 - 21) Woodburn, J. and Helliwell, P. S. : Relation between heel position and the distribution of forefoot plantar pressures and skin callosities in rheumatoid arthritis. *Ann. Rheum. Dis.* **55** : 806-810, 1996.