



長距離選手における走行時の足底圧分布

高橋, 昌宏
前田, 正登
野村, 治夫
柳田, 泰義

(Citation)

スポーツ産業学研究, 10(1):75-88

(Issue Date)

2000-03

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90001659>



実践研究

長距離選手における走行時の足底圧分布[†]

高橋 昌宏* 前田 正登** 野村 治夫**
柳 田 泰義**

Pressure Distribution on Plantar Surface during Running among Long Distance Runners

Masahiro TAKAHASHI*, Masato MAEDA**,
Haruo NOMURA** and Yasuyoshi YANAGIDA**

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the skills in making contact with the ground during running among long distance runners. The pressure distribution on the plantar surface was measured by F-SCAN system to evaluate and measure foot contact style. At the same time, ground reaction forces were measured, and the leg motion of runners was videotaped by a high-speed video camera. Measurements were performed under the feet of three skilled and two unskilled long distance runners on three various conditions of shoes (training shoes, marathon shoes, bare feet) and speed (jogging, 5000m race pace, last spurt pace in 5000m race). The following remarks were obtained; (1) For skilled runners, as running speed increased, the point of contact with the ground and the pressure distribution pattern varied in any condition of shoes. On the other hand, among unskilled runners, even if running speed increased, similar variation to that of skilled runners was not found, except for the case of bare feet. (2) In all of the subjects, as the values of pressure generally became greater, the shoe soles were thinner. (3) In all of the subjects, as the values of pressure increased the ground reaction forces tended to increase. In the case of wearing shoes, as running speed rose, the pressure distribution on the plantar surface became greater at the first peak in the ground reaction forces. (4) Among skilled runners, as the shoes became thinner, the time of the foot contact decreased. (5) Among skilled runners as running speed increased, although the moved distance of the center of pressure in longitudinal direction decreased, the movement in crosswise direction tended to increase. Finally, the relative load analysis from pressure distribution measurements provided addi-

[†]原稿受付 1999年9月13日

1999年10月 スポーツ工学シンポジウムにて発表

*神戸大学大学院総合人間科学研究科

〒657-8501 兵庫県神戸市灘区鶴甲3-11

**神戸大学発達科学部

〒657-8501 兵庫県神戸市灘区鶴甲3-11

*Graduate School of Cultural Studies and Human Science, Kobe University, 3-11, Tsurukabuto, Nada, Kobe, Hyogo, Japan (657-8501)

**Faculty of Human Development, Kobe University, 3-11, Tsurukabuto, Nada, Kobe, Hyogo, Japan (657-8501)

tional information about behavior in contact with the ground among long distance runners.

Key words : Long Distance Running, Pressure Distribution on the Plantar Surface, Foot Contact, Shoes

1. 緒 言

長距離走は、スタートからある地点まで自身自身の身体を移動し続ける競技であり、足底部に繰り返しかかる圧力や衝撃は完走するまでに相当な負担になる。長距離選手にとって、このような圧力や衝撃の加わり方は、パフォーマンスに影響する重要な要素の一つと考えられる。

近年、ソールが厚く、衝撃緩衝性が高いシューズが多く見られる。しかし、熟練した長距離選手の中には、レースやトレーニングにおいて長い距離を走るにもかかわらず、シューズの衝撃緩衝性よりも軽量性を優先したソールの薄いシューズを使用している場合が少なくない¹⁾。このような背景をもとに、シューズそのものの性能よりも選手の走り方や接地の技術に目を向けると、熟練した選手は、未熟練な選手に比べて衝撃をある程度は緩衝できる走り方をしているのではないかと考えられる。そして、選手の走り方や接地技術の特徴は、足底圧に現れるであろうと考えられる。これまでに走行時や他の運動時の足底圧に関する研究²⁻⁶⁾はいくつか行われているものの、足底圧から走の技術を検討しているものは見当たらない。

本研究では、走行時の接地様式や接地中の足底圧から走速度やソールの厚さが足底圧に及ぼす影響を検討し、長距離選手の接地技術を評価・検討することを目的とした。

2. 研究 方 法

2. 1 手 続 き

被験者は、表1に示すように大学陸上競技部所属の長距離種目を専門とする選手で、熟練者(5000mの記録:14分台)3名及び未熟練者(同:17分台)2名の計5名とした。

実験構成を図1に示す。走路は、ForcePlatform

(KISTLER 社製, #9287A) が埋め込まれた全天候型走路で約30mとした。被験者には裸足、マラソンシューズ、トレーニングシューズ(ジョギングシューズ)の3条件の下、3種類の走速度(ジョギングの速さ;以下 Jogging, 5000m レースの速さ;以下 Race, 5000m レースでのラストスパートの速さ;以下 Spurt)で走行を行い、カメラ側の足でForcePlatformを踏むように指示した。この際、裸足は足の下にソールが全く無い状態、マラソンシューズは全体的にはほぼ一定の厚さで薄いソールがあるもの、トレーニングシューズはマラソンシューズよりソールが全体的に厚めで、ソールの前部と後部で厚さに差があるものとして設定した。

走行中の足底圧を測定するために、足底面にタクトイルセンサ(F-SCAN システム; ニッタ社製, 150Hz)を装着した。タクトイルセンサは紙のように薄く、シューズの機能を損なうことが無い。またシューズのソールの大きさや形に合わせて自由にカットできることが特徴である⁷⁾。

走行中は、高速度 VTR(HSV-400; nac 社製, 200fps)を用いて足部のクローズアップを、2台の VTR カメラ (SONY 社, 60fps) を用いての全身をそれぞれ撮影した。

ForcePlatform からの信号は、VTR からのパルス信号とともに、A/D 変換器を介して 1 kHz のサンプリング周波数でコンピュータに取り込

表1 被験者の身体的特性

Subject		Height (cm)	Weight (kg)	Age (yrs)
Skilled	R.Y	176.0	56.8	23
	H.S	176.0	61.0	21
	K.S	167.0	52.2	20
Unskilled	J.M	175.0	56.1	22
	M.K	172.0	61.1	19

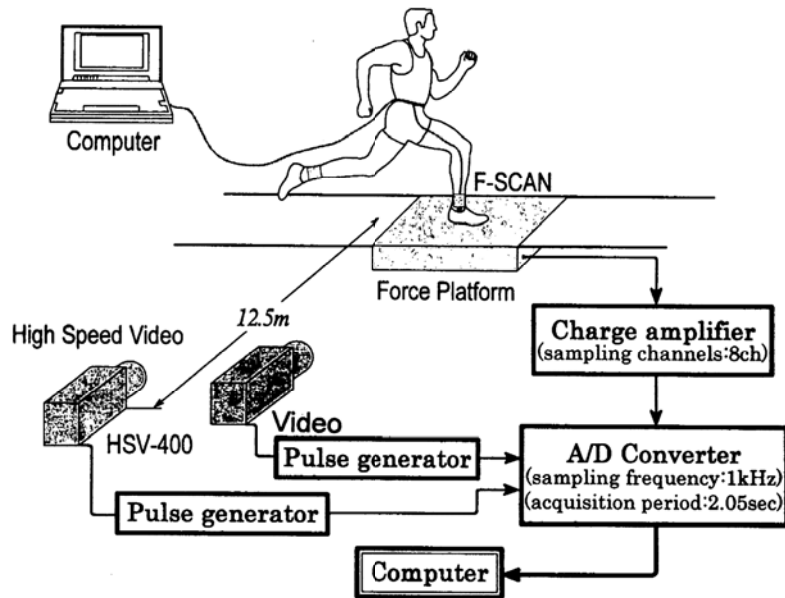


図1 実験構成

んだ。

なお, ForcePlatform と F-SCAN システムは別々に収録しているの、完全同期はなされていないものの、ForcePlatform の出力時間と F-SCAN システムの出力時間を合わせることで同期を図った。

2. 2 分析方法

測定した足底圧から、各試技ごとに走速度が定常状態に達したとみなせる 5~7 歩分を取り出し、その平均値を算出し分析に用いた。また、足底圧から荷重中心を求め、同様に平均した。

収録された ForcePlatform の信号から、3 分力 (被験者の前後方向, 左右方向, 鉛直方向) の地面反力を求めた。

足底圧が F-SCAN 上に現れている間を接地中と見なし、足底圧の場合と同様に、走速度が定常状態に達したとみなせる 5~7 歩分の平均を接地時間とした。

高速度 VTR の映像は、接地時の足の様子を詳細に見るために、VTR カメラの映像は走行中の全身像を見るために考察の参考に用いた。

なお、各変量の差の検定にあたっては、5% を有意水準とした。

3. 結果

3. 1 接地様式と足底圧分布域

本研究で観察された接地様式及び足底圧分布域を、熟練者と未熟練者を対比して、図 2 a~2 c, 図 3 a~3 c 及び図 4 a~4 c に示す。図 2 a~2 c はトレーニングシューズを、図 3 a~3 c はマラソンシューズを装着した例で、図 4 a~4 c は裸足時の例である。走速度は図 2 a, 図 3 a, 図 4 a が Jogging, 図 2 b, 図 3 b, 図 4 b が Race, そして図 2 c, 図 3 c, 図 4 c が Spurt の場合を示している。

図 2 a~2 c, 図 3 a~3 c 及び図 4 a~4 c に示される足底圧分布域は、ForcePlatform の出力から得た鉛直方向の地面反力で見たときの着地時、初期ピーク時、初期ピークと 2 次ピーク間で地面反力が最小の時、2 次ピーク時、2 次ピーク時と離地時との中間付近、の 5 局面のものを表示した。

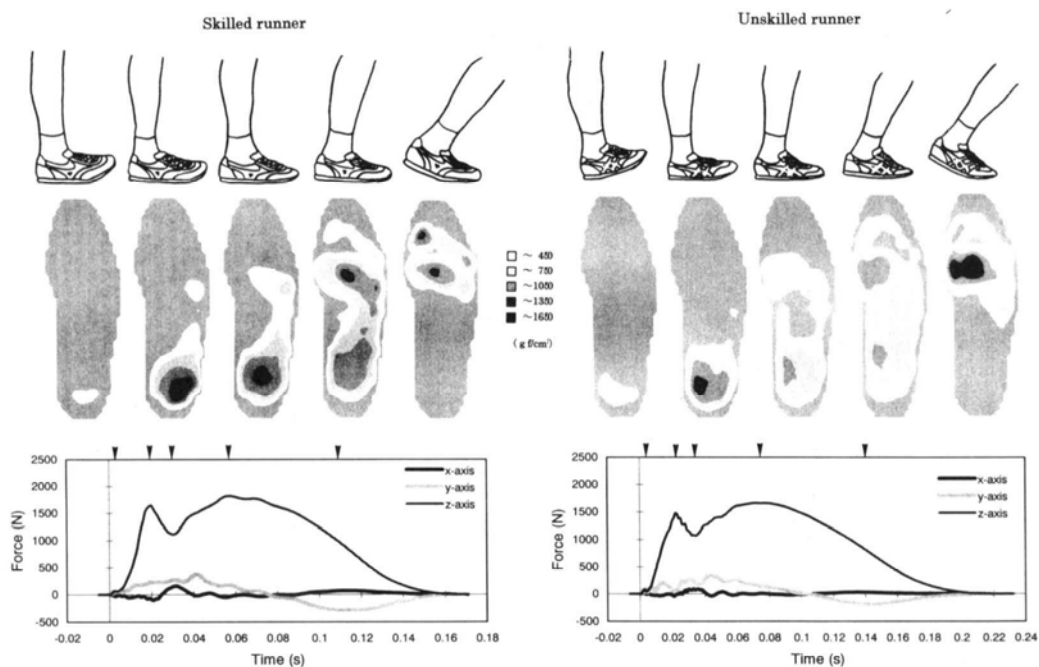


図 2 a Jogging 時の接地様式, 足底圧分布及び地面反力 (トレーニングシューズ装着時の例)

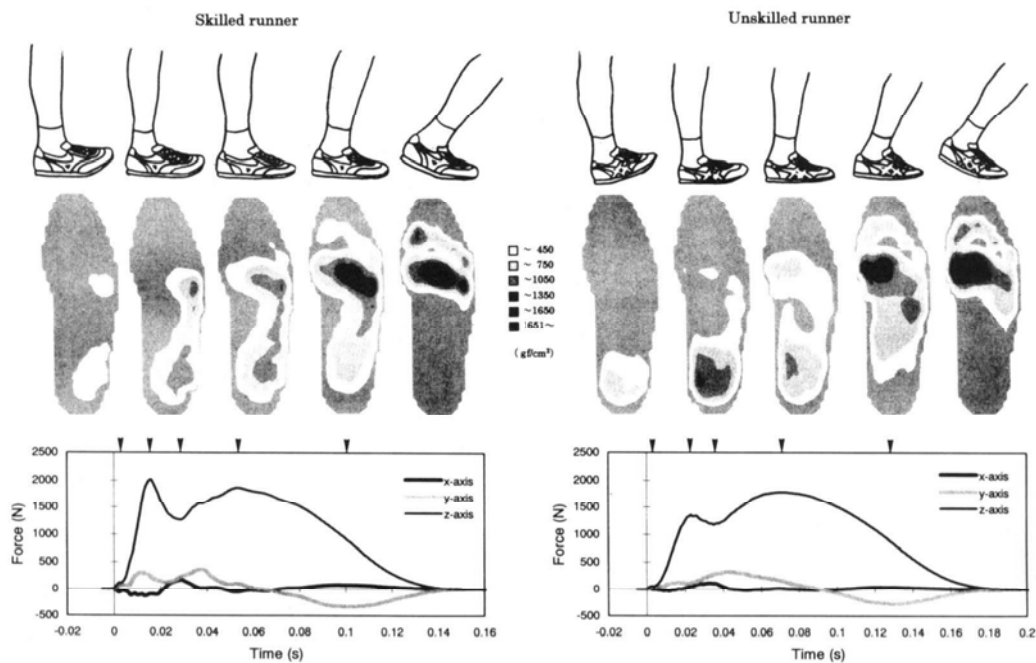


図 2 b Race 時の接地様式, 足底圧分布及び地面反力 (トレーニングシューズ装着時の例)

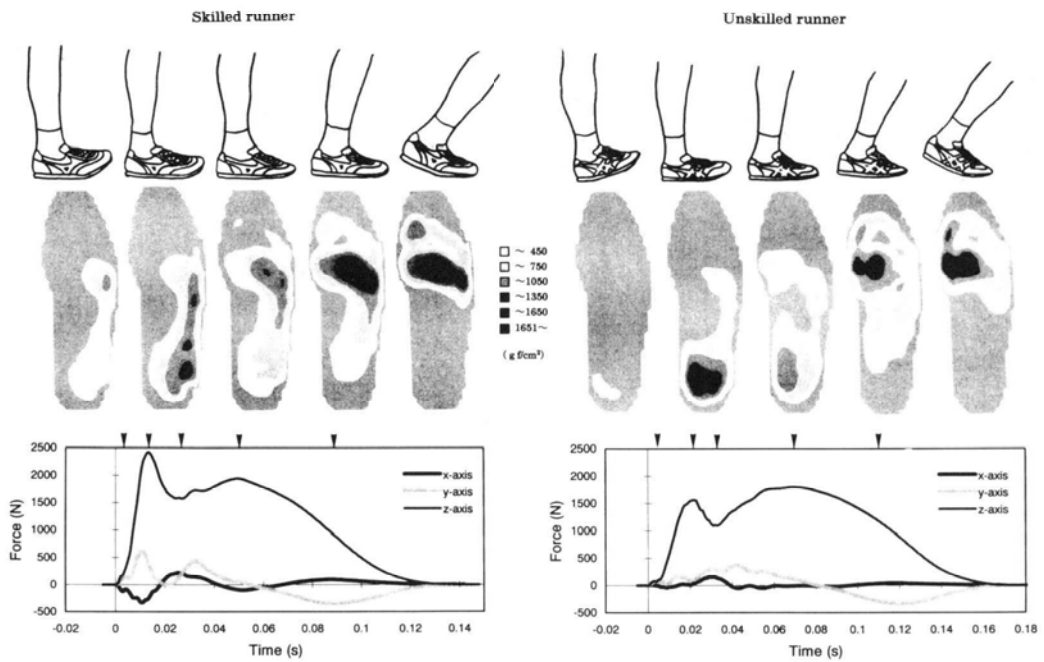


図 2 c Spurt 時の接地様式, 足底圧分布及び地面反力 (トレーニングシューズ装着時の例)

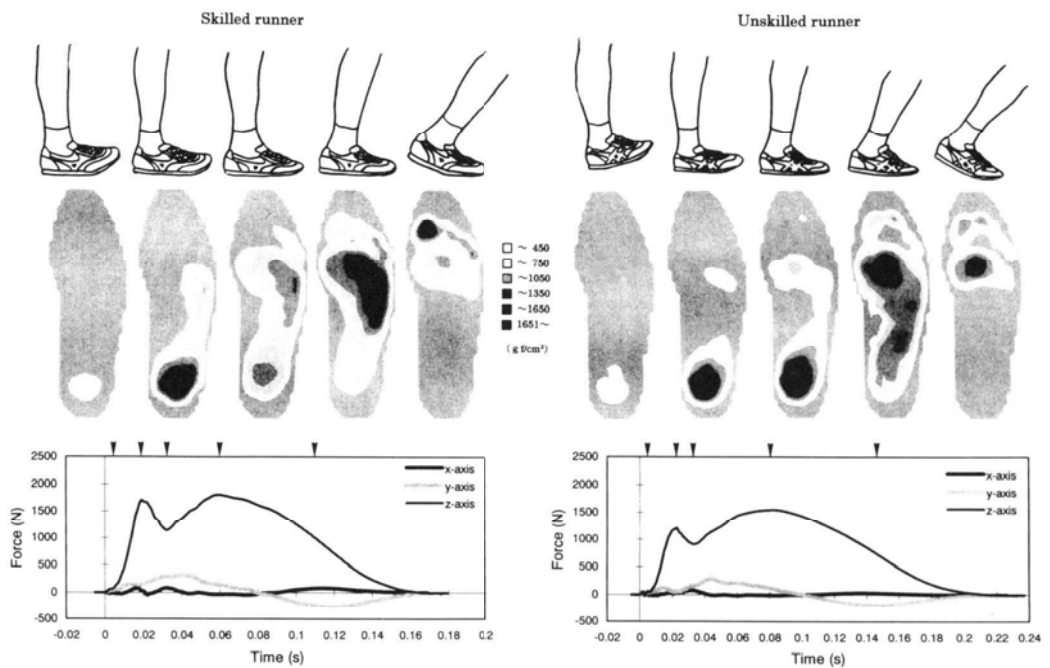


図 3 a Jogging 時の接地様式, 足底圧分布及び地面反力 (マラソンシューズ装着時の例)

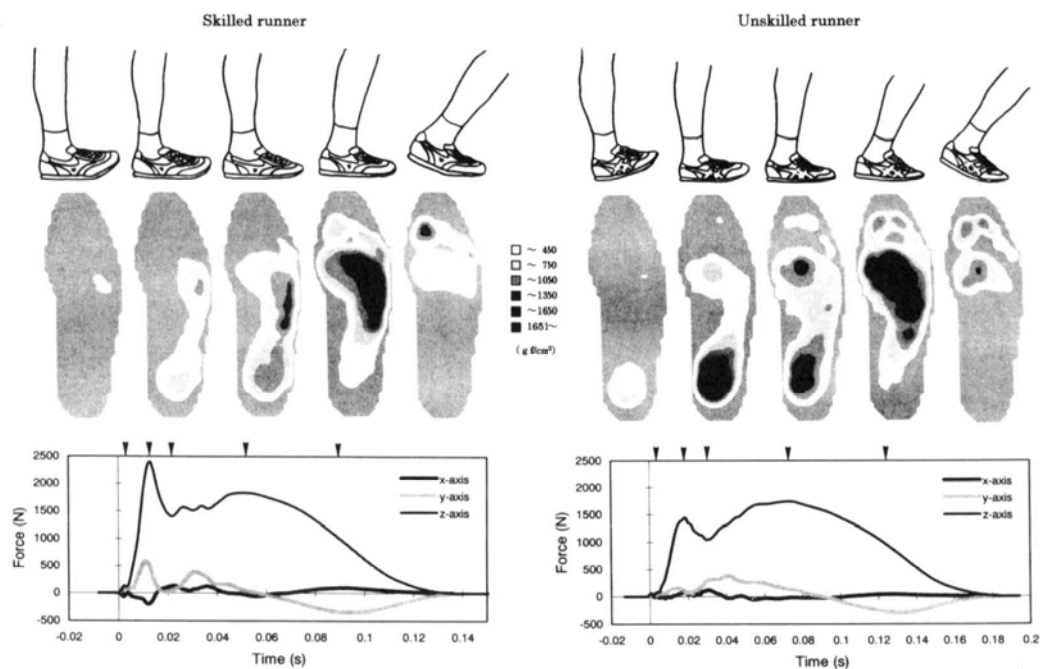


図 3 b Race 時の接地様式, 足底圧分布及び地面反力 (マラソンシューズ装着時の例)

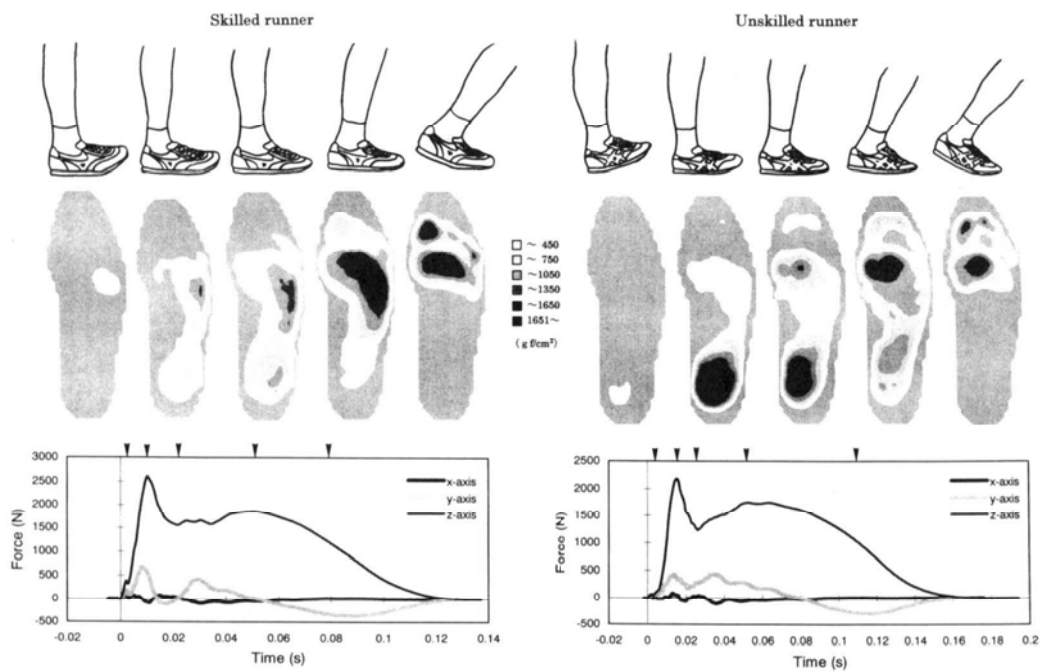


図 3 c Spurt 時の接地様式, 足底圧分布及び地面反力 (マラソンシューズ装着時の例)

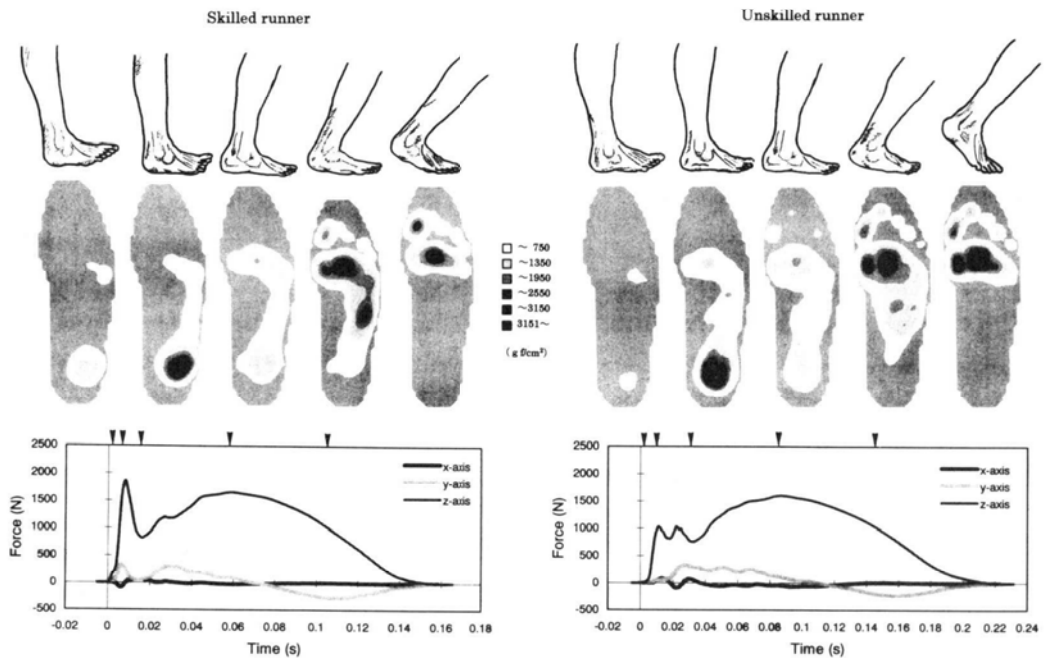


図 4 a Jogging 時の接地様式, 足底圧分布及び地面反力 (裸足時の例)

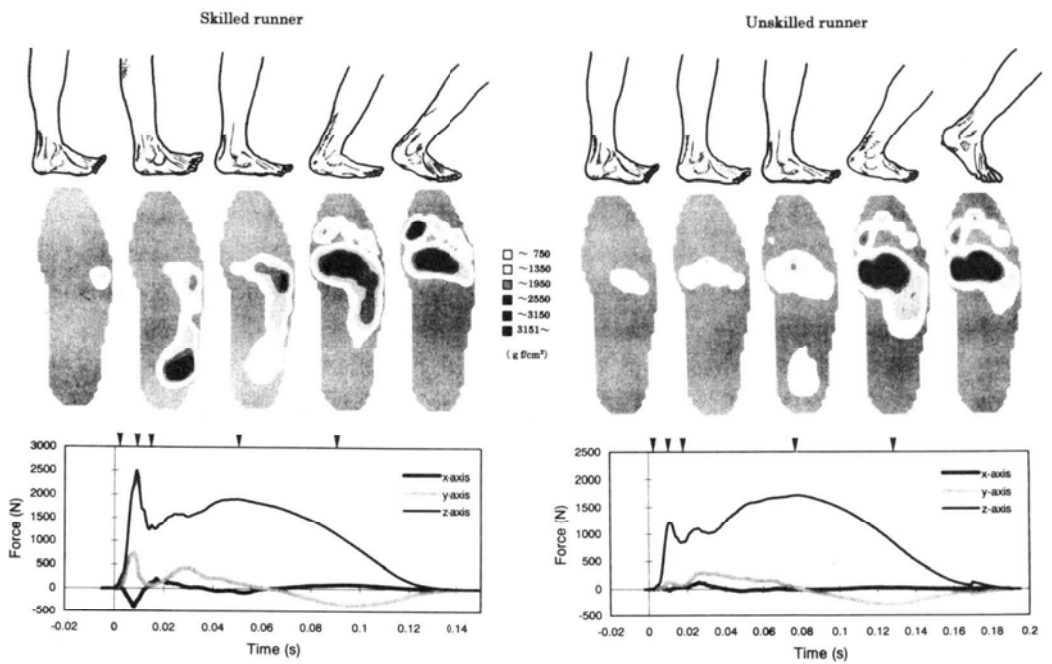


図 4 b Race 時の接地様式, 足底圧分布及び地面反力 (裸足時の例)

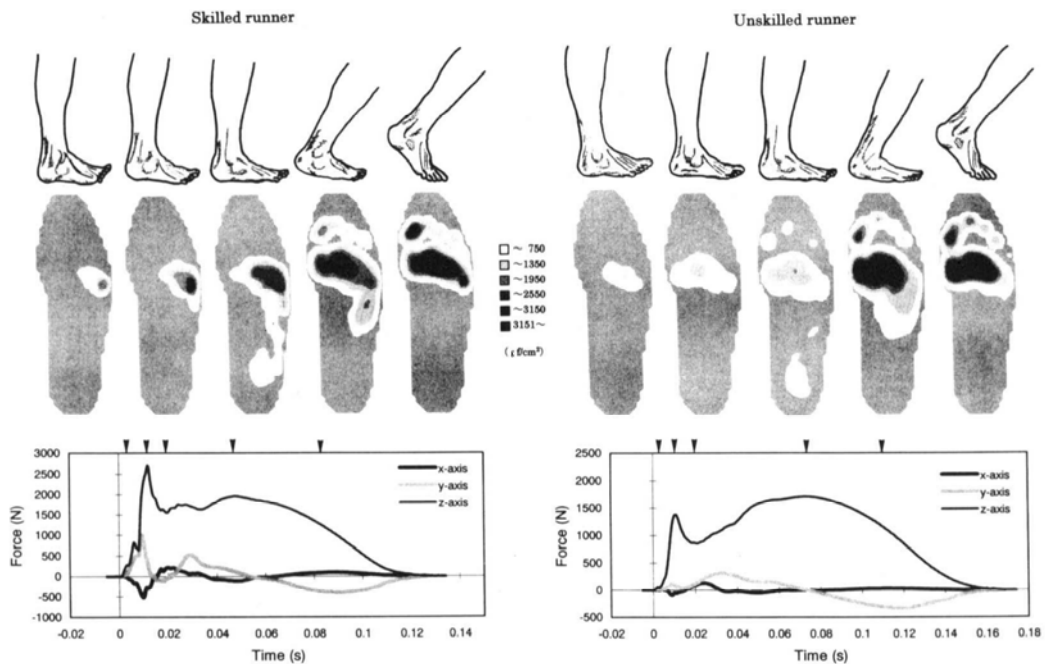


図4c Spurt時の接地様式、足底圧分布及び地面反力（裸足時の例）

3. 1. 1 トレーニングシューズを装着した場合（図2a～2c参照）

いずれの被験者においても Jogging では、後足部から接地し、中足部、前足部へと徐々に足底圧分布域が移動していた。走速度が Jogging から Spurt へ上昇すると、接地中の足底圧は全体的に増加する傾向であった。

熟練者では、走速度が上昇すると、着地時の足底圧分布域は、後足部だけではなく中足部外側（立方骨付近）にかけた部分へと拡大していた。さらに、接地中の足底圧分布域は前足部へと徐々に拡大していた。

対照的に未熟練者における着地時及び接地中の足底圧分布のパターンは、走速度が上昇しても Jogging の場合と同様の傾向が認められた。

3. 1. 2 マラソンシューズを装着した場合（図3a～3c参照）

熟練者において、Jogging での着地時及び接地中における足底圧分布のパターンは、トレーニングシューズの場合と同様の傾向が認められた。

Race 及び Spurt では、着地時の足底圧分布域は中足部外側（立方骨付近）及び前足部外側（第4、第5中足骨付近）に認められた。着地後、足底圧分布域は後足部へと拡大し、徐々に前足部へも拡大する傾向が認められた。また、走速度の上昇に伴い、後足部の足底圧は減少する傾向が認められた。

未熟練者において、着地時及び接地中における足底圧分布のパターンは、走速度にかかわらず、トレーニングシューズを装着した場合と同様の傾向であった。

3. 1. 3 裸足の場合（図4a～4c参照）

熟練者において、Jogging での着地時及び接地中における足底圧分布のパターンは、トレーニングシューズの場合と同様の傾向が認められた。Race での着地時及び接地中における足底圧分布のパターンはマラソンシューズの場合と同様の傾向が認められた。走速度が上昇すると、着地時の足底圧分布域は前足部に集中し、接地中には後足部への分布が著しく減少するという変化

が認められた。Spurt での着地時の足底圧分布域は Race 同様、中足部外側(立方骨付近)及び前足部外側(第4, 第5中足骨付近)に認められたが、接地中、足底圧は後足部に分布がほとんど認められなかった。

未熟練者において、Jogging での着地時及び接地中における足底圧分布のパターンは、トレーニングシューズやマラソンシューズの場合と同様な傾向であった。しかし、Race 及び Spurt では、むしろ熟練者における裸足の場合に類似した傾向が認められた。

また、いずれの被験者も前足部や足指部における足底圧は、シューズ装着時よりも著しく増加していた。

3. 2 足底圧と地面反力

足底圧分布と地面反力の関係を、図2 a~2 c, 図3 a~3 c 及び図4 a~4 cで見ると、地面反力は、足底圧とよく相応しており、地面反力が増加すると足底圧も概ね増加する傾向が認められた。

熟練者においては、シューズを装着した場合の地面反力は、走速度が上昇すると初期ピーク値も増加し、さらにその時の足底圧分布域も拡大していた。また、地面反力の初期ピーク付近に着目すると、Jogging では、後足部から中足部にかけての部分に足底圧分布が認められたが、走速度の上昇に伴い、さらに前足部にまで拡大していた。裸足の場合、地面反力の初期ピーク時における足底圧分布域はシューズ装着時ほど広くなく、走速度が上昇すると地面反力は増加していたものの、足底圧分布域はさらに縮小していた。特に Spurt では、前足部のみに足底圧分布が認められた。

シューズを装着した場合の2次ピーク時における足底圧は、走速度が遅い場合は足底面全体に分布が認められ、走速度が上昇すると、後足部の分布が減少していた。

3. 3 接地時間

足の接地に要した時間をシューズ条件別にして、トレーニングシューズ装着の場合を図5 aに、マラソンシューズ装着の場合を図5 bに、裸足の場合を図5 cに示す。

熟練者において、走速度が上昇すると、接地時間は全て減少していた。特に走速度が Jogging から Race へと上昇すると、接地時間は有意に減少していた。また、R.Y.においては、シューズ装着時に走速度が Race から Spurt へ上昇した際の接地時間の減少も有意であった。

未熟練者においては走速度が上昇すると、各シューズ条件の Race と Spurt との比較以外は全て有意に減少していた。

接地時間を走速度別に見ると、熟練者は、シューズのソールが薄く(無く)なるほど、接地時間は減少していた。特に、R.Y.において、Jogging 及び Race では、ソールが薄く(無く)なるほど、接地時間は有意に減少していた。また、Spurt においてもソールが薄く(無く)なるほど接地時間は減少する傾向で、トレーニングシューズから裸足への減少に有意差が認められた。K.S.においては、シューズのソールが薄く(無く)なるほど接地時間は減少しており、Jogging では、マラソンシューズから裸足への減少、Race 及び Spurt ではトレーニングシューズからマラソンシューズへの減少に有意差が認められた。

未熟練者では、M.K.において Jogging 及び Race で、ソールが薄く(無く)なるほど接地時間は減少していたが、有意差は認められなかった。また、J.M.において Jogging 及び Spurt では、ソールが薄く(無く)なるほど減少しており、特に Spurt ではトレーニングシューズから裸足、及びマラソンシューズから裸足への減少に有意差が認められた。Race では、トレーニングシューズとマラソンシューズで接地時間を比較した場合、差は認められなかったものの、トレーニングシューズから裸足、マラソンシューズから裸足へは有意に減少していた。

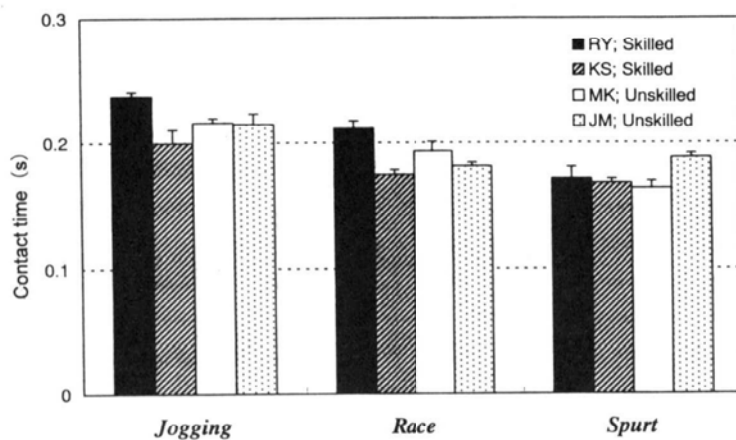


図 5 a トレーニングシューズ装着時の走行中の接地時間

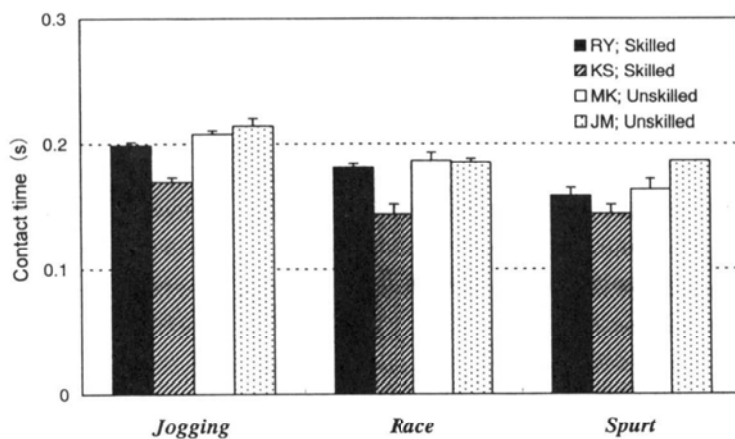


図 5 b マラソンシューズ装着時の走行中の接地時間

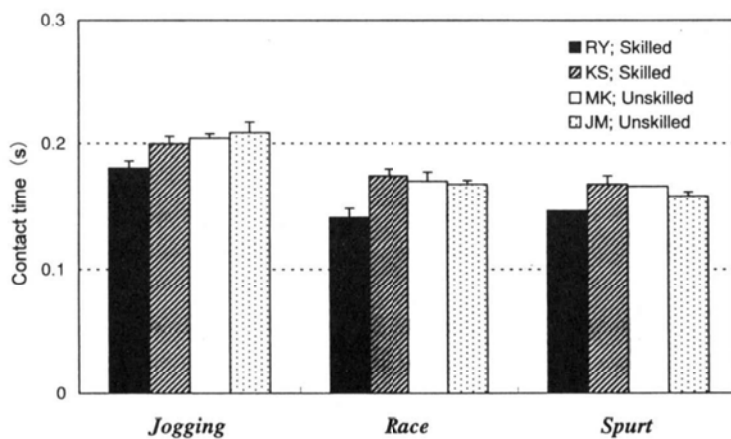


図 5 c 裸足時の走行中の接地時間

3. 4 荷重中心点の変化

荷重中心点の位置変化をシューズ条件別にして、トレーニングシューズ装着の場合を図6 aに、マラソンシューズ装着の場合を図6 bに、裸足の場合を図6 cに示す。

3. 4. 1 トレーニングシューズを装着した場合

いずれの被験者も Jogging では、着地時の荷重中心点は後足部に現われ、足底部の中央線（踵点と第2指の頂点とを結んだ線⁹⁾）のやや外側をほぼ平行に通過し、前足部中央（第1, 第2中足骨付近）まで移動する傾向が認められた。未熟練者では、走速度が上昇しても、荷重中心点の軌跡は、Jogging と同様の傾向が見られた。

熟練者では走速度が上昇すると、着地時の荷重中心点は、足底部の中央線から離れた中足部外側（立方骨付近）や前足部外側（第4, 第5中足骨付近）の位置に現れる傾向が認められた。

荷重中心点の移動量を見ると、熟練者において足長方向、すなわち被験者の前後方向に Jog-

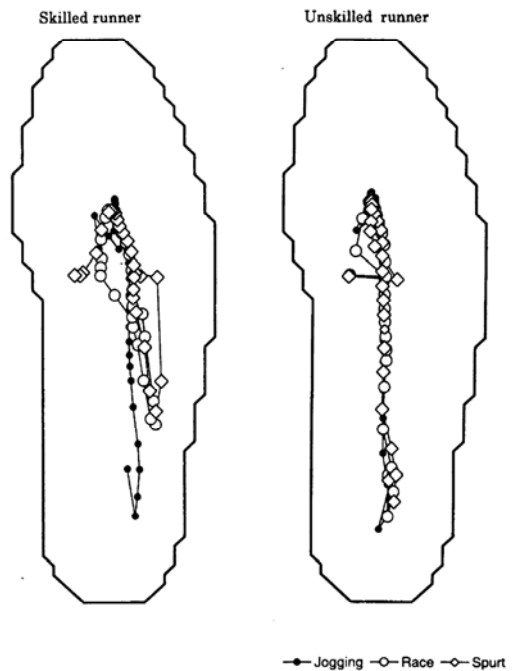


図6 a トレーニングシューズ装着時の接地中の荷重中心点

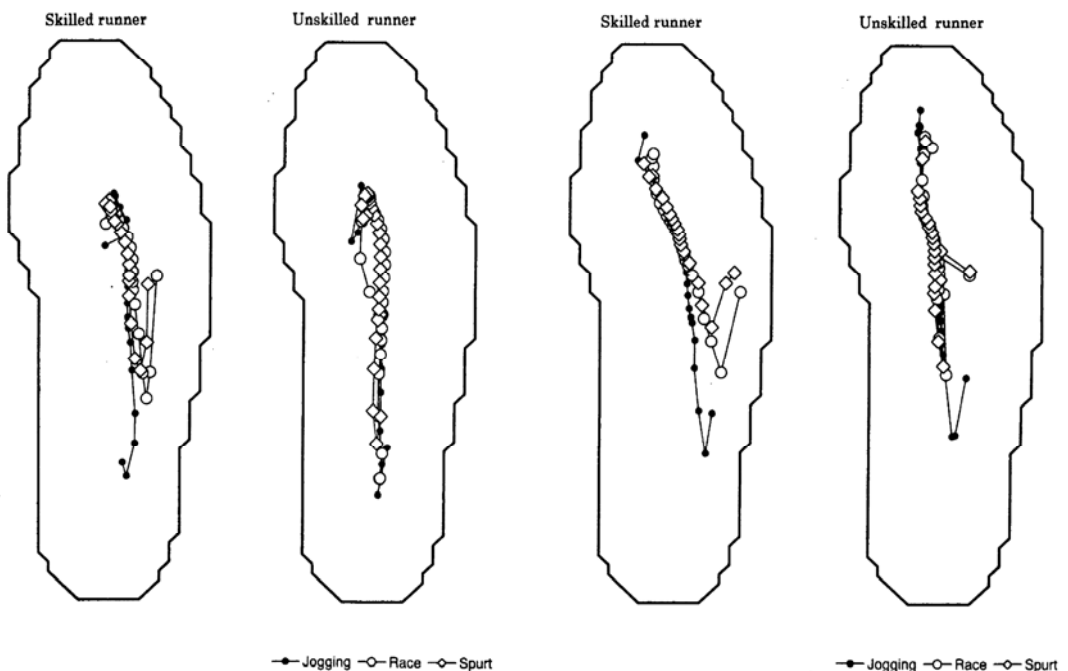


図6 b マラソンシューズ装着時の接地中の荷重中心点

図6 c 裸足時の接地中の荷重中心点

ging では 176.4 ± 6.2 mm, Race では 125.9 ± 9.9 mm, Spurt では 107.7 ± 10.9 mmの移動量であった。また、このとき足幅方向、すなわち被験者の左右方向に Jogging では 16.8 ± 3.7 mm, Race では 31.6 ± 1.6 mm, Spurt では 44.5 ± 5.3 mmの移動量であった。これら Jogging と Race との間及び Jogging と Spurt との間の移動量には有意な差が認められた。一方、Race と Spurt との間における、足長方向及び足幅方向の移動量に有意な差は認められなかった。

未熟練者では、各走速度間における、足長方向及び足幅方向の移動量に有意な差は認められなかった。

3. 4. 2 マラソンシューズを装着した場合

熟練者の Jogging と、未熟練者においては異なる走速度条件においても、荷重中心点の軌跡はトレーニングシューズの場合とほぼ同様の傾向が認められた。

熟練者の Race 及び Spurt においては、着地時の荷重中心点の位置は、前足部外側（第4、第5中足骨付近）へと変化していた。また、着地後は中足部外側（立方骨付近）へ一旦移動し、その後前足部中央（第1、第2中足骨付近）まで移動する傾向が認められた。

熟練者における荷重中心点は、足長方向に Jogging では 157.2 ± 7.1 mm, Race では 106.5 ± 11.5 mmの移動量であった。これらの移動量には有意な差が認められた。また、Jogging と Spurt との間及び Race と Spurt との間における、足長方向及び足幅方向の移動量には、有意な差は認められなかった。

未熟練者では、各走速度間における、足長方向及び足幅方向の移動量に有意な差は認められなかった。

3. 4. 3 裸足の場合

いずれの被験者においても、着地時の荷重中心点は、Jogging では中足部外側（立方骨付近）に、Race 及び Spurt では前足部外側（第4、第5中足骨付近）に現れる傾向が認められた。Race 及び Spurt における荷重中心点は着地後、中足部外側（立方骨付近）へ一旦移動し、その後前

足部中央（第1、第2中足骨付近）まで移動する傾向が認められた。

いずれの被験者も、各走速度間における、足長方向及び足幅方向の移動量に有意な差は認められなかった。

4. 考 察

走行中、足のどの部分から着地するかということに関して、飯本ら⁹⁾は踵型(rearfoot strike)、中間型(midfoot strike)、つま先型(forefoot strike)の3種類に分類している。また、Kerr ら¹⁰⁾の報告によると、長距離ロードレース参加者のうち81%がrearfoot strikerで、スピードのあるランナーになるとmidfoot strikerの割合が増加したという。本研究においても、熟練者において走速度を上昇させた場合、いわゆるmidfoot strike 及び forefoot strike になる傾向が認められた。これらのことは、走速度が変化すると着地動作も変容することを示唆するものである。

走速度が上昇すると、熟練者は前足部や中足部で着地する傾向にあり、未熟練者は後足部や中足部で着地する傾向であった。表1で示されるように、本研究における被験者間で身長に大きな差は無い。したがって、着地部位に違いが生じるのは選手の形態に起因するもの(例えば、ストライドなど)ではなく、着地から離地に至るまでの足部動作、特に、足関節の角度の違いが影響しているものと推察される。事実、飯本ら⁹⁾も、足関節角度の違いが着地動作に影響することを報告している。熟練者は走速度が速くなることにより、足関節角度が大きく、つま先が下がった状態で着地を迎えているのではないかと考えられる。対照的に未熟練者がシューズを装着した場合、着地時の足関節角度が熟練者に比べて小さく、つま先が上がった状態になっているものと考えられる。

また、熟練者においては、前足部外側や中足部外側といった、足底部の中央線から離れた部分から着地する傾向が認められた。元来、人間は、直立姿勢時には左右の脚は体の正中線の両側にあるという骨格構造をしているが、走行時

には脚の運びや体重移行を円滑に行うために骨盤の動きを伴った股関節の内転が生じ、それに伴い足部は腓側（小指側）が下がった状態となる¹¹⁾と言われている。前足部外側や中足部外側といった、足底部の中央線から離れた部分から着地するのは、このような股関節の内転と距踵関節の回外によるものと考えられる。未熟練者が、後足部の中央付近から着地する傾向であったのは、股関節の内転角度と足部の回外角度が共に、あるいはどちらかが小さいことによるものと推察される。

熟練者において、走速度が Race または Spurt の場合、トレーニングシューズ装着時は後足部だけではなく中足部外側（立方骨付近）や前足部外側（第4、第5中足骨付近）から着地していたが、マラソンシューズ装着時には中足部外側（立方骨付近）や前足部外側（第4、第5中足骨付近）から着地する傾向が認められ、着地位置に違いが生じていた。両者の実験条件の相違は、トレーニングシューズを装着しているか、マラソンシューズを装着しているかである。トレーニングシューズはマラソンシューズよりソールが全体的に厚めで、ソールの前部よりも後部が厚いもの、マラソンシューズは全体的にほぼ一定の厚さで薄いソールのものとして設定しており、これらのシューズ条件の相違により着地位置に相違が生じたのである。この要因として、着地動作そのもの、すなわち足部の動きが変容したか、あるいは、足部の動きが同じで単にシューズの構造によるものか、が考えられる。前者の場合は、シューズのソールの厚さといった外的条件が変化すると、それに対応した足関節角度で着地していることが推察される。後者の場合は、トレーニングシューズでは後部のソールが厚いというシューズの構造の違いが影響して、マラソンシューズでの着地時には接地していない後足部にも圧力が加わっていることが推察される。本研究では、足関節角度を測定していないので、どちらであるとも判断できないが、シューズのソールとしての機能には衝撃緩衝性以外に厚さにも注目する必要があることを

示唆するものである。

鉛直方向の地面反力の初期ピーク値は着地時の受動的な衝撃を表している¹²⁾と言われる。一般的に、地面反力の初期ピーク値が増加すると、足底圧分布域が拡大するか、あるいは足底圧が増加する。しかし、本研究の結果では、地面反力の初期ピーク値が2次ピーク値よりも大きくても、2次ピーク値時よりも足底圧分布域が少なく、足底圧が小さいものがあった。これには、F-SCAN の測定誤差や ForcePlatform との時間分解能の差によるもの、あるいはシューズのソールの衝撃緩衝によるものなどが考えられるが、どのような要因によるものかは、明確には判断できない。

また、鉛直方向の地面反力の2次ピーク値は、離地動作のための能動的な力を意味している¹²⁾とも言われている。シューズを装着した場合、地面反力の2次ピーク時における足底圧分布域は、走速度が遅い場合は足底面全体に出力が認められた。これは、離地動作のための能動的な力を足底面全体で地面に加えていると考えられる。それが、走速度が上昇すると後足部の分布域は減少し、能動的な力を加える面積も減少する傾向にあることが認められている。しかし、そのときの足底圧は、逆に比較的增加する傾向にあることから、足底圧の総和はさほど変わらないであろうと推察される。

接地中の荷重中心点は、Jogging から Race 及び Jogging から Spurt へと走速度が上昇すると、足長方向の移動量が減少し、足幅方向の移動量が増加する例が認められた。これらは接地中の荷重中心点が足底の腓側から脛側へと移動する割合が増加していることを意味しており、走速度が上昇すると足部の回外-回内動作の割合が増加する可能性があること、すなわち、足部の動作が変容することを示唆するものであると考えられる。

5. 結 言

本研究では、長距離選手の走行時の接地様式や接地中の足底圧から走速度やソールの厚さが

足底圧に及ぼす影響を検討し、長距離選手の接地技術の評価・検討することを目的とした。

主な結果は以下のとおりである。

- (1) 熟練者は、シューズがいかなる条件であっても、走速度が上昇するにつれて接地様式に変化が認められた。対照的に未熟練者においては、裸足の場合を除いては、走速度が変化しても接地様式に熟練者ほどの変化はなかった。また、いずれの被験者もソールが薄くなると、足底圧は全体的に増加していた。
- (2) いずれの被験者においても、地面反力が上昇すると足底圧も増加する傾向が認められた。また、シューズを装着した場合、走速度が上昇すると地面反力の初期ピーク時の足底圧分布域は増加していた。
- (3) 熟練者においては、走速度が上昇すると、荷重中心点の被験者の前後方向への移動量は減少し、同左右方向への移動量が増加する傾向が認められた。

今後、より良い長距離選手の接地技術を探究するためには、足関節角度や股関節の動きなども含めて総合的な研究を行うことが必要である。

謝 辞

本研究に御協力頂いたアシックススポーツ工学研究所, (株)ニッタに厚く御礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 鳥居俊; ランニングシューズ-競技力向上とランニング障害の予防, 臨床スポーツ医学, Vol.15, No.11, pp1217-1221, 1988.
- 2) Hennig, E.M. and Milani, T.L.; In-Shoe Pressure Distribution for Running in Various Types of Footwear, Journal of Applied Biomechanics, Vol.11, pp299-310, 1995.
- 3) Cavanagh, P.R., et.al.; A New Device for the Measurement of Pressure Distribution Inside Shoe, Biomechanics VIII-B, pp1089-1096, 1983.
- 4) Obens, T.; Pressure Distribution and Velocity as Characteristics of Hurdle Running, Biomechanics IX-B, pp364-369, 1985.
- 5) Hennig, E.M. and Sanderson, D.J.; In-Shoe Pressure Distributions for Cycling With Two Types of Footwear at Different Mechanical Loads, Journal of Applied Biomechanics, Vol.11, pp68-80, 1995.
- 6) Bartlett, R., et.al.; Pressure Distributions on the Plantar Surface of the Foot During the Javelin Throw, Journal of Applied Biomechanics, Vol. 11, pp163-176, 1995.
- 7) 東輝明; 新しい足底圧解析システム F-SCAN, PO アカデミージャーナル, Vol.2, No.3, pp167-171, 1994.
- 8) 田中洋一; 子どもの足を計る～目で見る子どもの足の成長～, 鹿砦社, 1996.
- 9) 飯本雄二, 他; 足の着き方と着地衝撃の関連性についての力学的研究, 東京体育学研究, Vol.10, pp31-34, 1983.
- 10) Kerr, B.A., et.al.; Footstrike patterns in distance running, Biomechanical aspects of sport shoes and playing surfaces, pp135-142, 1983.
- 11) Cavanagh, P.R.; The Running Shoe Book, Anderson World Inc., 1980.
- 12) Nigg, B.M., et.al.; Load on the human body, Biomechanics VII, pp88-105, 1982.