

地面反力からみたランニングシューズの 緩衝機能差とその差への適応的变化について

大阪大学 木下 博
(共同研究者) 大阪大学大学院 青木 朋子
大阪大学 生田 香明

Evaluation of Shock Absorbing Function of Running Shoes and its Adaptive Change in Ground Reaction Force

by

Hiroshi Kinoshita, Komei Ikuta
School of Health and Sport Sciences, Osaka University
Tomoko Aoki
Graduate school of Human Sciences, Osaka University

ABSTRACT

Ground reaction forces were commonly used as a means for evaluating dynamic function of running/jogging shoes. In the present study, we examined several methodological problems related to evaluation of running shoes using ground reaction force data. Twelve long-distance runners served as subjects, and they wore two types of running shoes for testing. The number of trails required to detect the difference between different cushioning properties of shoes is first examined. The results indicated that at least 22 trials per shoe were needed to detect a subtle difference in the parameters of shock absorption. Trial to trial variability of the shoes with different cushioning properties was then examined. There was no difference in trial-to-trial variability between these two types of running shoes. Inter- and intra-day variability of ground reaction force data was secondly examined. It was found that their inter-day variability was 4-times larger than the intra-day variability. The results suggested that data collection should be made within the same day. Thirdly, we examined

adaptive changes ground reaction force when the runners wore a different cushioning property of running shoes. It was found that the runners adapted to the new shoes within approximately 10 running trials lasted less than 10 min. This quick adaptability of runners seems to mask the actual difference in physical properties of running shoes when evaluating with a running test. Kinematic data may better describe changes in this adaptation.

要 旨

地面反力はランニングシューズの動的機能の評価のためによく利用される。本研究では、地面反力を使用してランニングシューズの機能評価を行う際の方法論的問題点について実験的に調べることを目的とした。12名の中長距離ランナーに緩衝特性の異なる2種類のシューズを着用させ、フォースプレート上での実走試験を実施した。地面反力から得られる21の時間および力指標について評価した。まず、標準得点の推移に基づいて適切な評価を可能にするための必要最小限の試行数を調べた。その結果、各シューズにつき最低22試行が必要であることが明らかとなった。次に、異なる緩衝特性のシューズの違いが各指標の個人内および個人間の変動性に及ぼす影響について調べた。その結果、緩衝特性差によって変動性が変化しないことが明らかとなった。一般に柔らかい底材ほど走り不安定になると言われるが、地面反力指標にはそのような傾向は認められなかった。地面反力指標の同日内変動と異日間の変動の比較では、異日間の変動が同日内での変動に比べて4倍程度大きいことが明らかとなった。異なる日に測定されたデータは、同じランナーでも異なる結果をもたらす可能性があることが示唆された。異なる緩衝特性のシューズへの適応についても地面反力の観点から調べた。その結果、異なる緩衝特性のシューズを着用した約10試行（10分間）後にはそのシューズに適応することが明らかとなった。したがって、シューズの緩衝特性の差は、

着用直後の方が顕著であり、ランナーが時間とともに走り方を調節し緩衝特性差が見えにくくなるためである。実走試験においてはこのようなランナーの適応性を考慮に入れてデータを解釈する必要があることが示唆された。

緒 言

近年、ランニングシューズは飛躍的な機能向上がみられたと報じられるが、ランニング障害に陥る選手の数は、必ずしも減少していない^{6, 7, 10, 11, 12}。その背景には、ランナー自身が身体の許容限界を超えた練習メニューを相変わらず行っているとの指摘がある^{11, 12}。一方、シューズについても、走者の身体特性を十分に考慮に入れたシューズ作りがなされていない可能性が指摘されている^{6, 10, 11}。ランニング・ジョギングシューズのもっとも重要な機能の1つに「着地衝撃の緩和機能」が挙げられる^{1, 9, 10, 12}。それを評価する方法には、機械試験器でシューズ底に打撃を加え、その際の衝撃緩和吸収能力を測定する「機械試験」と、走者がシューズを着用してフォースプレート上を走り抜ける際の地面反力を分析する「実走試験」とがある。機械試験は、得られるデータの変動が少なく、靴底の緩衝特性を物理的な指標によって極めて明確に同定できることから、緩衝性の善し悪しを判定することが容易である。その反面、この方法では走者の個人的特性による影響や、それとシューズの機能との交互作用を評価することが難しい。これに対して、実走試験は、ランナーの持つ複雑な要因とシューズとの交互作用を直接的に

測定することが可能であるが、その一方で個々のランナーの身体的・機能的特徴差をもたらす影響や、異なるシューズへの適応による影響を受けやすく、得られるデータにはかなりのばらつきが見られる。この実走試験に関しては、走者が実際に走行しているときに足裏に加わる力作用がどの程度個人内および個人間で変動するのか、そのような変動性の中で安定したデータを得るためにはどの程度の試行数が必要なのか、走者自身がシューズの機能差に対してどの程度適応するのか、などのいくつかの疑問点が未だに解明されていない。これらを明らかにすることは、ランニングのバイオメカニクスを知るうえで、またシューズを設計するうえでの重要な基礎的情報となり得る。そこで、本研究では、緩衝機能が明らかに異なる2種類のシューズをランナーに実際に装着・実走させる際に得られる地面反力を調べ、そこから、人間による実走試験における地面反力の変動性について検討をすることを目的とした。また、異なる緩衝機能のシューズを数週間着用させた際に、ランナーがシューズに対してどの程度適応するのか、という点についても検討を加えた。

1. 方法

1.1 被験者

被験者は、週30kmから60kmのランニングをトレーニングメニューとして実施している中・長距離を専門のランナーで踵着地型の接地フォームで走る者に限定した。依頼した被験者で、参加に同意の得られた16名のうち過去3年間に障害を受けたことのない12名（男子8名と女子4名）を被験者とした。彼らの年齢は19歳から28歳（平均年齢：21.5歳）であり、平均身長は、男子が170.5±4.9cm（平均体重：56.4±4.1kg）、女子が159.5±4.3cm（平均体重：42.2±2.0kg）であった。各被験者には本研究への参加に対して謝礼が支払われた。

1.2 シューズ

本研究で使用した2種類のシューズは、アッパーには同様のマラソントイプを使用し、靴底にはそれぞれ柔（JIS式ゴム硬度計測定値40度前後）と硬（65度前後）の硬度の異なるEVAスポンジ材を使用した特別注文生産のものであった。それぞれの被験者の足サイズに合わせ、2種類のシューズを12名分、計24足用意した。これらのシューズの機械試験は、自由落下式シューズ緩衝試験器（落下重錘：10 kg、落下高：5cm）によって測定したピーク加速度をもとに緩衝機能を調べた。その結果、柔底シューズ（最大加速度=9.4～10.5 G）は、硬底シューズ（12.9～14.7 G）に比べて衝撃力緩和能力が36%高かった。

1.3 実験装置

実走試験では、キスラー社製のフォースプレートシステムを用いて、地面反力を測定した。本システムのアンプからの3分力のアナログ出力信号は、A/D変換器を介してコンピュータに各チャンネル1 Hzのサンプリング周波数で取り込んだ。走速度は、フォースプレートの中心から前後2.2mの地点に光電リレー装置を設置し、それによって時速15±1.5 kmに規定した。この範囲外の場合の試行は、やり直しとした。

1.4 実験手順

実験に先立ってフォースプレートと環境に慣れさせるために、実験室に被験者が入室した後、自分が普段トレーニングで使用しているジョギングシューズでウォーミングアップを実施させた。次に実走テストのための練習を実施した。練習では、フォースプレートの手前20mの地点から加速し、フォースプレート手前で一定速度となった後、その15m先まで速度を落とさずに走り抜ける、という実走テストでの課題を実施させた。また、その際、フォースプレート上には右足から着地するよ

う練習させた。この練習は、ランナー自身が規定されたランニング速度で、フォースプレート上への着地を自然にできるようになるまで実施させた。練習終了後に6名のランナーには硬底のシューズ、残りの6名には柔底シューズを手渡し、それぞれのシューズを着用して日常のトレーニングを14日間実施させた。そして14日間のトレーニング終了後、第1回目(実験I)の地面反力のデータ計測を実施した。実験室に入室後、十分なウォーミングアップを行わせ、各ランナーはその後50試行の実走テストを実施した。各ランナーは、第1回目のテストが終了した後も同シューズを着用して、さらに7日間通常のトレーニングを実施した。そして、7日間のトレーニング終了後、実験室で第2回目(実験II)の30試行の実走テストを行った。この30試行の計測直後に異なる硬度のシューズに履き換えさせ、練習試行なしで、50試行の実走テスト(実験III)を実施した。

1. 5 地面反力指標の分析方法

実験Iと実験IIのデータ計測で得られた各試行の地面反力データから垂直、水平、左右方向の分力曲線を算出し、そこから図1に示したような38の指標について値を計測した。次に、それらの指標間の相関行列を求め、それから有意な相関関係が認められた指標から任意に指標の削減を行った。そして最終的に表1に示したような21指標を本研究での地面反力計測のための指標として抽出した。

2. 結果

2. 1 地面反力評価のため必要試技数

安定した地面反力を得るためには、必要最小限の試行数を確保する必要がある。この必要最小限の試行数を試技数増加にともなう標準得点(Z-score)から推定した。すなわち、試行数を増加させるごとに算出される平均値と標準偏差の商(標準得点)の推移を調べた。図2は全被験者の

平均標準得点が比較的大きかった指標(Fx2)の推移を示したものである。図中に点線で示された0.8, 0.5, 0.2の標準得点は、「顕著な差」, 「中程度の差」, 「微量な差」の検出のために必要な値としてCohen³⁾が提唱しているものである。表2は、標準得点が0.8, 0.5, 0.2に達した時点の全被験者の平均試行数と、その95%信頼限界の上限値に基づいて決定した試行数を指標ごとに示したものである。試行数の増加に伴う平均標準得点の推移

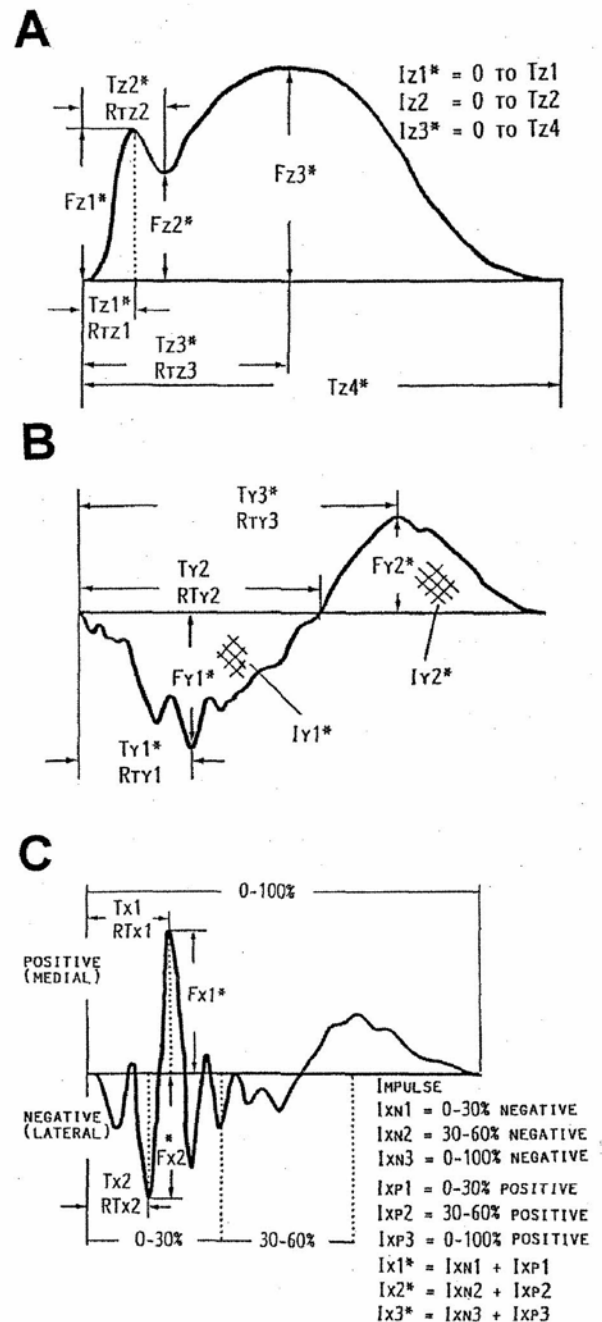


図1 地面反力曲線評価のための指標
 A. 垂直分力, B. 水平(前後)分力, C. 左右分力
 各指標の説明は表1を参照

表1 地面反力三分力の評価のため指標一覧

| 指標名 | 指標の説明 |
|---------|----------------------|
| * Fz 1 | 第1最大反力 |
| Fz 2 | 最小反力 |
| * Fz 3 | 第2最大反力 |
| Tz 1 | 第1最大反力発生時間 (絶対値) |
| Tz 2 | 最小反力発生時間 (絶対値) |
| Tz 3 | 第2最大反力発生時間 (絶対値) |
| * Tz 4 | 接地時間 (絶対値) |
| * RTz 1 | 第1最大反力発生時間 (相対値) |
| * RTz 2 | 最小反力発生時間 (相対値) |
| * RTz 3 | 第2最大反力発生時間 (相対値) |
| * Iz 1 | 第1最大反力までの力積 |
| * Iz 2 | 最小反力までの力積 |
| * Iz 3 | 総力積 |
| Fy 1 | 最大減速反力 |
| Fy 2 | 最大加速反力 |
| Ty 1 | 最大減速反力発生時間 (絶対値) |
| Ty 2 | 減速から加速への変化発生時間 (絶対値) |
| Ty 3 | 最大加速反力発生時間 (絶対値) |
| * RTy 1 | 最大減速反力発生時間 (相対値) |
| RTy 2 | 減速から加速への変化発生時間 (相対値) |
| * RTy 3 | 最大加速反力発生時間 (相対値) |
| * Iy 1 | 減速力積 |
| Iy 2 | 加速力積 |
| * Fx 1 | 最大内向反力 |
| * Fx 2 | 最大外向反力 |
| * Tx 1 | 最大内向反力発生時間 (絶対値) |
| * Tx 2 | 最大外向反力発生時間 (絶対値) |
| * RTx 1 | 最大内向反力発生時間 (相対値) |
| * RTx 2 | 最大外向反力発生時間 (相対値) |
| Ixn 1 | 接地時間の0-30%間の外向力積 |
| * Ixn 2 | 接地時間の30-60%間の外向力積 |
| Ixn 3 | 総外向力積 |
| Ixp 1 | 接地時間の0-30%間の内向力積 |
| Ixp 2 | 接地時間の30-60%間の内向力積 |
| Ixp 3 | 総内向力積 |
| * Ix 1 | 接地時間の0-30%間の総力積 |
| * Ix 2 | 接地時間の30-60%間の総力積 |
| Ix 3 | 総力積 |

*印の指標が相関分析によって選択された指標である。

表2 安定した平均値獲得のための必要試技数の推定

| 指標 | 平均値データ | | | 98%信頼限界 | | |
|-------|--------|-----|------|---------|------|------|
| | 0.8 | 0.5 | 0.2 | 0.8 | 0.5 | 0.2 |
| Fz 1 | 2 | 5 | 14 | 3 | 6 | 19 |
| Fz 3 | 2 | 10 | 24 | 4 | 16 | 28 |
| RTz 1 | 2 | 7 | 18 | 5 | 11 | 22 |
| RTz 2 | 1 | 7 | 16 | 5 | 9 | 19 |
| RTz 3 | 2 | 8 | 18 | 6 | 9 | 22 |
| Iz 1 | 1 | 8 | 18 | 5 | 8 | 23 |
| Iz 2 | 1 | 9 | 17 | 4 | 13 | 27 |
| Iz 3 | 1 | 9 | 18 | 8 | 13 | 20 |
| Tz 4 | 5 | 12 | 23 | 10 | 16 | 27 |
| RTy 1 | 1 | 5 | 15 | 2 | 9 | 19 |
| RTy 3 | 1 | 5 | 16 | 2 | 8 | 22 |
| Iy 1 | 1 | 12 | 21 | 9 | 6 | 18 |
| Fx 1 | 2 | 6 | 15 | 4 | 8 | 20 |
| Fx 2 | 1 | 10 | 24 | 4 | 13 | 28 |
| Tx 1 | 2 | 5 | 16 | 2 | 12 | 20 |
| Tx 2 | 1 | 6 | 22 | 6 | 14 | 25 |
| RTx 1 | 1 | 3 | 18 | 2 | 13 | 23 |
| RTx 3 | 2 | 5 | 16 | 2 | 9 | 16 |
| IxN2 | 1 | 5 | 8 | 6 | 6 | 14 |
| Ix 1 | 1 | 6 | 11 | 5 | 7 | 17 |
| Ix 2 | 1 | 6 | 10 | 5 | 6 | 25 |
| 最大値 | 5 | 15 | 24 | 10 | 16 | 28 |
| 最小値 | 1 | 2 | 8 | 2 | 6 | 16 |
| 平均値 | 1.5 | 7.1 | 17.0 | 4.7 | 10.1 | 21.7 |

から必要最小限の試行数を推定すると、全試行の平均値の推移については、標準得点が0.8で2回、0.5で7回、0.2で17回となった。一方、95%の信頼限界については、0.8で5回、0.5で10回、0.2で22回という結果となった。指標 (Fz3, Fx2) によっては、95%の信頼限界曲線で0.2の標準値に達するまでに28回を要するものもあった。

2. 2 個人内変動と個人間変動およびシューズ機能差への影響

図3は、実験Iの硬底シューズ着用条件における典型的な2名の被験者の地面反力曲線を示したものである。ここでは、それぞれの被験者の50試行のうち5試行目ごと (5, 10, 15...45, 50試行目) の曲線を示した。これらの2名のデータからも明らかなように、試行間のデータのばらつきの程度は個人によって多少異なっていた。表3は、実験Iにおける柔底および硬底シューズを着用したそれぞれの被験者群 (6名) の個人内変

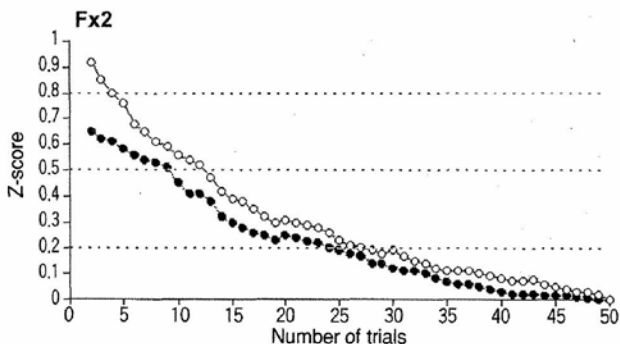


図2 試行回数の増加にともなう指標の標準得点 (Z-score) の推移の例 (指標 = Fx2)。

黒丸は標準得点の全被験者の平均値、白丸は、その95%信頼限界上限値を示している。波線の0.2, 0.5, 0.8の標準得点は、それぞれ微小な差, 中程度の差, 顕著な差を検出するためのデータの標準誤差の値を示している。データは12名の平均値を表している。

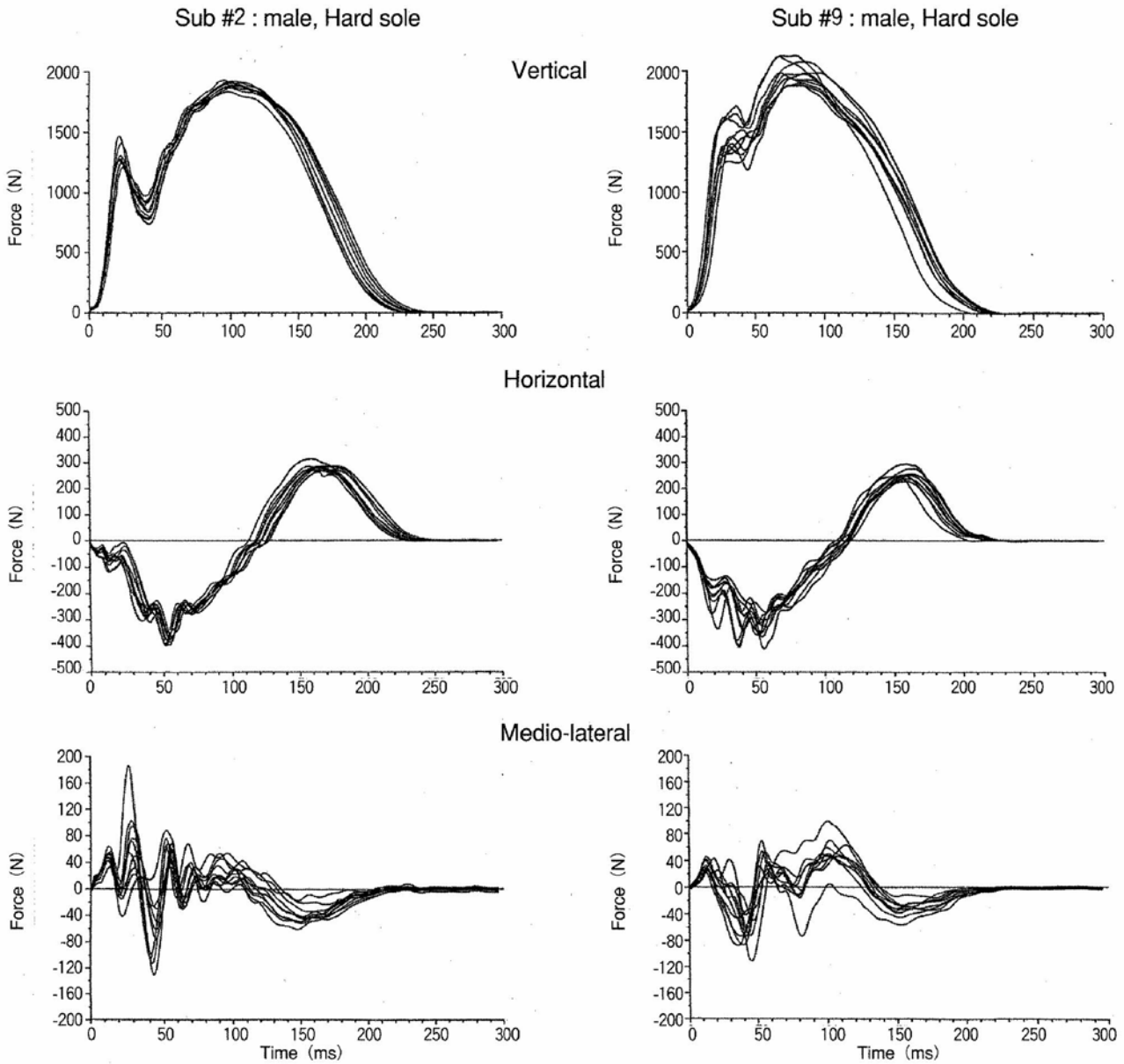


図3 2名の被験者による10試行分の地面反力
 どちらも硬底シューズ使用時の結果であるが、特徴が2名で異なることがよく分かる。

動と個人間変動を示したものである。個人内変動は各被験者50試行の平均値を標準偏差で割った値(変動係数)から、個人間変動は各シューズの12名の平均値(実験Iと実験IIIのそれぞれ後半の25試行)を標準偏差で割った値から求めた。個人内変動値はどの指標についても垂直分力が5~6%、水平分力が6~8%、左右分力が34~38%の範囲であった。柔底シューズの方が硬底シューズに比べて左右分力の変動性が多少大きかったが、どちらのシューズについても左右分力が垂直および水平分力に比べて5~6倍大きかった。また、

被験者によっては、左右分力の指標(Ix2)の個人内変動が200%を越える者もいた。個人間変動に関しては、垂直分力で12%前後、水平分力で13-16%、左右分力で58-50%の範囲となった(表3)。個人内変動と同様に左右分力がもっとも不安定であった。個人間変動は個人内変動に比べるといずれの分力でも約2倍程度大きかった。硬底と柔底シューズを個人内および個人間変動値で比較した。その結果、いずれの指標においても有意な差異は認められなかった。

表3 地面反力指標の個人内変動計数 (CV)

| 指標 | 個人内変動 | | 個人間変動 | |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| | 硬底シューズ | 柔底シューズ | 硬底シューズ | 柔底シューズ |
| Fz 1 | 7.2 | 7.1 | 18.7 | 15.9 |
| Fz 3 | 6.8 | 2.1 | 11.9 | 9.2 |
| RTz 1 | 5.9 | 5.4 | 6.7 | 10.8 |
| RTz 2 | 7.5 | 4.2 | 9.4 | 11 |
| RTz 3 | 5.8 | 3.7 | 5.7 | 6.8 |
| Iz 1 | 8.5 | 7.0 | 22.1 | 18.9 |
| Iz 2 | 8.2 | 8.5 | 21.5 | 19.6 |
| Iz 3 | 3.5 | 2.0 | 15.8 | 14.6 |
| Tz 4 | 2.5 | 2.1 | 6.8 | 7.1 |
| 平均値 | 6.2 | 4.7 | 12.5 | 12.7 |
| RTy 1 | 6.3 | 7.1 | 9.3 | 11.4 |
| RTy 3 | 1.1 | 1.2 | 7.5 | 8.1 |
| ly 1 | 8.1 | 14.8 | 22.1 | 29.4 |
| 平均値 | 6.2 | 7.7 | 13.0 | 16.3 |
| Fx 1 | 24.2 | 28.4 | 54 | 44.3 |
| Fx 2 | 25.2 | 31.1 | 61.6 | 53.3 |
| Tx 1 | 26.2 | 29.6 | 49.4 | 34.7 |
| Tx 2 | 27.8 | 40.1 | 43.2 | 46 |
| RTx 1 | 25.1 | 28.5 | 49.2 | 21.9 |
| RTx 3 | 28.4 | 38.4 | 44.3 | 49.7 |
| IxN 2 | 68.4 | 64.1 | 79.8 | 80.7 |
| Ix 1 | 28.6 | 32.2 | 57.9 | 55.9 |
| Ix 2 | 52.1 | 50.3 | 56.6 | 63 |
| 平均値 | 34.0 | 38.1 | 58.5 | 49.9 |

数値はすべて%

表4 同日内および異日間のデータの安定性
(12名中で有意な差異が認められた人数)

| 指標 | 同日内 | 異日間 |
|-------|-----|-----|
| Fz 1 | 1 | 4 |
| Fz 3 | 1 | 3 |
| RTz 1 | 2 | 5 |
| RTz 2 | 2 | 5 |
| RTz 3 | 2 | 4 |
| Iz 1 | 0 | 3 |
| Iz 2 | 0 | 4 |
| Iz 3 | 0 | 4 |
| Tz 4 | 0 | 3 |
| RTy 1 | 2 | 5 |
| RTy 3 | 2 | 5 |
| ly 1 | 1 | 4 |
| Fx 1 | 1 | 6 |
| Fx 2 | 1 | 5 |
| Tx 1 | 1 | 2 |
| Tx 2 | 0 | 5 |
| RTx 1 | 1 | 2 |
| RTx 3 | 2 | 3 |
| IxN 2 | 1 | 5 |
| Ix 1 | 1 | 4 |
| Ix 2 | 2 | 5 |
| 平均値 | 1.1 | 4.1 |

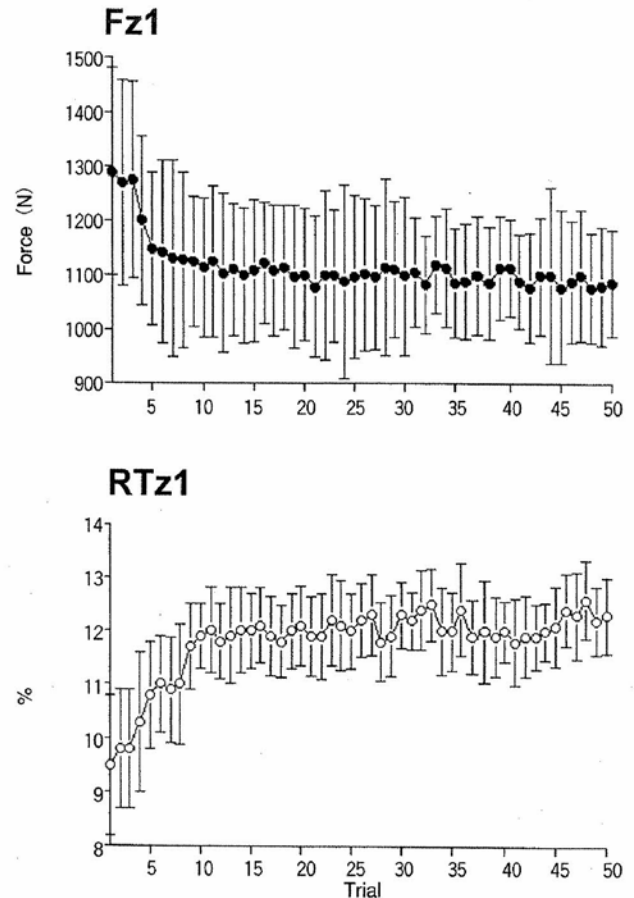


図4 異なるシューズへの適応過程
柔底シューズから硬底シューズに履き替えた直後からの50
試行での各試行での12名の平均値の推移を示している

2. 3 同日・異日間変動

同日内でのデータの安定性を調べるために、実験Iの前半25試行と後半の25試行の平均値の差を検定した(表4の同日内の結果)。その結果、7指標で前半と後半のデータ間で有意差の認められた被験者の数が2名となったが、全指標の平均値からみると、各指標で1名の被験者において有意な差がみられるという結果であった。一方、被験者全員の前半の平均値と後半の平均値で差の検定を行った結果では、いずれの指標についても有意差は認められなかった。

異なる日間でのデータの安定性について調べるために実験Iのデータのうち後半25試行と実験IIのデータのうち最初の25試行の平均値の比較を被験者ごとおよび全員のデータについて行った。その結果、各被験者の平均値では、9指標におい

て異日間のデータに有意差がみられた被験者が5名を越えた(表4の異日間の結果)。平均的には各指標で4名の被験者において有意差がみられるという結果であった。12名による平均値間での比較では、RTy1とFxlで有意な差異が認められた。

2. 4 底材変化への適応

21の地面反力指標のうち着地衝撃をよく反映する8指標について、シューズの底材が変化した場合に適応的变化がどのように観察されるのか、について調べた。図4は、柔底から硬底へ変えた直後の50試行におけるFz1とRTz1の全被験者の平均値である。どちらの指標についても、シューズを変えた直後の10試行位までは適応的变化が観察された。適応の特徴としては、垂直・水平分力における第1ピークの大きさが不適応時には大きく、その発生時間も短かった。とくに、初期の5試行については10試行以降に見られる値とは明らかに異なっていた。一方、硬底から柔底への変化では、逆の変化が認められた。

3. 考 察

3. 1 地面反力評価のために必要な試行数について

サンプル数の増加は、その集団の代表値となる平均値の安定性を高めるが、地面反力についても安定した平均値を得るためには試行数を増やすことが必要である。一方、ランナーにシューズを着用させて行う実走形式の測定の場合には、ランナーの疲労、実験の効率などを考慮に入れ、必要最小限の試行数で安定した平均値を得ることが重要となる。Bates et al.²⁾は、5名の被験者に5足の異なるシューズを着用させ、10試行中の標準得点の推移を調べている。その結果、10試行での標準得点0.25に達するためには最低でも8試行が必要であったと報告している。Kinoshita et al.⁹⁾

は、15試行のキネマチックデータに基づいて同様の評価を行った結果、標準得点0.2に達するためには11回の試行数が必要であると結論づけている。DeVita and Bates⁹⁾は6名のランナーに2種類のシューズを着用させ、各シューズにつき40試行のデータ計測を実施した場合に、平均値曲線が標準得点0.25に達するのは25試行目であったと報告している。本研究での結果は、標準得点0.25に達するためには22回の試行数が必要であるというものであり、DeVita and Bates⁵⁾の結果と類似していた。これらの結果を踏まえると、地面反力によるシューズの機能性評価においては、各シューズで少なくとも22試行が必要であるが、可能なら30回程度のデータ収集を行うことが望ましいと言える。

3. 2 地面反力指標の変動性について

本研究の同日内での地面反力データについては、被験者ごとにみた場合、全指標の平均値では12名中1名(8%)で前半と後半のデータに有意な変化が認められたが、被験者全体の平均値の差でみた場合には、同日の前半と後半のデータは変動しないという結果が得られた。一方、異なる日間でのデータについては、指標によっては被験者ごとにみた場合だけでなく、被験者全体の平均値からみた場合にも差異が認められた。被験者ごとにみた場合には、日間で有意な差がみられる被験者の数は、全指標を平均すると各指標で4名(33%)となることが明らかとなった。ランニング時の地面反力の変動性や信頼性に関する数少ない先行研究の1つとして、DeVita⁴⁾による12名のランナーを対象に20指標を用いて同日内と異日間の地面反力の変動性について調べた研究がある。彼は、同日内での20試行の前半と後半間で5指標以上に差異が認められたのは1名(8%)のみであったが、異日間ではそれが5名(42%)にもなったと報告している。本研究での結果は、DeVitaの結果

に類似するものであった。これらの結果は、シューズの実走試験を同一日内で実施することが重要であること、同一日内でも被験者によっては変化してしまう場合もあることを示唆している。同一日内や異なる日間で地面反力が変化する理由については明らかでないが、おそらくランナーの体調は常に変化しており、それによって多少異なる走り方をすることが地面反力に反映されているのではなかろうかと推察される。とくに日にちが変わるとその傾向が高くなるようである。

地面反力の個人間変動は個人内変動に比べると2倍程度大きい値となった。個人間変動は個々のランナーの走り方の多様性や、それを起こしている身体の解剖学的特性差を示すものであり、その大きさを十分に認識しておくことが、シューズの機能評価において重要である。とくに左右分力での変動が大きいことは、着地の際の足の左右方向への運びが一定でないことに関与していると思われる。足首やシューズの左右方向への安定性が下肢の障害に関連することがよく知られるが^{6, 10)}、地面反力の左右分力の不安定さと障害との関連についてはこれまでに十分な検討がなされておらず、今後さらなる研究が必要である。

3. 3 シューズの緩衝特性差と地面反力の変動性

硬底シューズに比べて柔底のシューズは、緩衝特性に優れるものの、着地後の足裏の不安定さの問題点が指摘されている^{5, 10)}。その不安定さが地面反力の変動性に現れるものと予想されたが、本研究では個人間変動や個人内変動の値は、シューズの緩衝機能差の影響を受けなかった。われわれは、先行研究において硬度の異なるシューズや裸足でのランニング中に下肢の筋活動とキネマティックを調べている⁹⁾。その結果、ランナーは、シューズ特性や裸足にあわせて着地時の下肢や足の接地姿勢を変化させることが明らかとなった。シ

ューズ底の特性が地面反力の変動性に現れなかった理由としては、ランナーが個々のシューズに対して接地時の下肢の姿勢や運動をうまく調節しているため、地面反力の変動もほぼ一定となっているのではなかろうかと推察される。

3. 4 異なる硬さのシューズ底への適応について

異なるシューズ底への適応の特徴として、硬底シューズへの履き変え直後には垂直方向や前後方向分力の着地力が大きく、ピーク発生時間が短くなることが明らかとなった。一方、柔底シューズに履き変えた直後には、その逆の傾向が認められた。しかしながら、地面反力指標を評価する限りでは、ランナーは10試行以降には既に新しい底材のシューズに適応していると判断された。つまり、新しいシューズに履き変えた後の10分程度でシューズに合わせた走り方が見られたことになる。実走試験場面では、このような適応性の良さがシューズ底機能差の判別を困難にする最大の要因と考えられる。実際、衝撃試験器でテストした結果とランナーによる結果との相関が極めて低いという報告が数多くあるのは^{1, 5, 9)}、ランナーのシューズへの適応の良さを反映している結果と言える。本研究の結果は、シューズの特性差を実走試験で評価する場合には、適応前のデータの方が、より顕著な差異の評価のためには適していることを示唆している。また、異なるシューズへの適応は、着地の方法を反映する可能性が高いことから、下肢のキネマティック情報を調べる研究が今後必要と思われる。

文 献

- 1) Bates BT. Comments of the influence of running velocity and midsole hardness on external impact forces in heel-toe running, *J. of Biomechanics* 22, 963-965 (1989)
- 2) Bates BT, DeVita P, Kinoshita H. The effects of

- intra-individual variability on sample size, in Nigg B (Ed.), *Biomechanical Aspects of Sport-shoe and Playing Surfaces*, Univ. of Calgary Press, Calgary, Canada, pp191-198 (1983)
- 3) Cohen J. *Statistical power analysis for behavioral sciences*, New York, Academic press (1969)
 - 4) DeVita P. A kinetic analysis of the effects of shoes on running performance. Unpublished master thesis, University of Oregon (1984)
 - 5) DeVita P, Bates BT. Shoe evaluation methodology for ground reaction force data, In Groot DG, Hollander PA, Schenau IVJD (Eds.), *Biomechanics XI-B*, Free University press, Amsterdam, pp705-709 (1988)
 - 6) Hreljac A, Marshall RN, Hume PA. Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32, 1635-1641 (2000)
 - 7) Johnston CA, Taunton JE, Lloyd-Smith DR, McKenzie DC. Preventing running injuries. Practical approach for family doctors. *Can. Fam. Physician.*, 49, 1101-1107 (2003)
 - 8) Kinoshita H, Bates BT, DeVita P. Intertrial variability for selected running gait parameters. In Winter AD, Wells PR, Hayes CK and Patla EA (Eds.) , *Biomechanics IX-A*, Human Kinetic Publisher, Champaign Illinois, pp499-502 (1985)
 - 9) Kinoshita H, Fujii N, Fukuda H. Responses of the lower extremity muscles to varied cushioning properties of the foot/ground interface during running. In Groot DG, Hollander PA, and Schenau IVJD (Eds.), *Biomechanics XI-B*, pp660-667 (1988)
 - 10) Nigg BM. The role of impact forces and foot pronation: a new paradigm, *Clinic. J. sport med.*, 11, 2-9 (2001)
 - 11) Taunton JE, Ryan MB, Clement DB, McKenzie DC, Lloyd-Smith DR, Zumbo BD. A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries, *Br. J. Sports Med.*, 36, 95-101 (2002)
 - 12) Yeung EW, Yeung SS. A systematic review of interventions to prevent lower limb soft tissue running injuries. *Br. J. Sports Med.*, 35, 383-389 (2001)