

ランニングシューズ底材の硬度変化がランナーの 生理学的効率に及ぼす影響について

大阪大学 木下 博

(共同研究者) 同 生田 香明

神戸大学 平川 和文

同 岡田 修一

The Effect of Shoe Cushioning on the Aerobic Demands of Running

by

Hiroshi Kinoshita, Komei Ikuta

Faculty of Health and Sports Sciences, Osaka University

Kazufumi Hirakawa, Shuihi Okada

Faculty of Liberal Arts, Kobe University

ABSTRACT

Physiological consequences of running with shoes having different cushioning properties were examined. Six trained male runners ran on a treadmill wearing running shoes with different sole hardnesses (soft, moderate, and firm). In addition, a bare-foot condition was examined. Parameters of respiratory gas-exchange and peak tibial deceleration at heel contact were evaluated.

Lower respiration volume, and O_2 and CO_2 volume were found for the soft shoe compared to the firm shoe.

The $\dot{V}_{O_2}/\text{body wt.}$ for the firm shoes was 4.5% lower than that for the soft shoes. No difference was found in the peak tibial deceleration value for all shoe conditions. These results suggest that soft shoes can provide better physiological efficiency, and that higher

physiological cost with firm shoes is associated with the runner's effort to attenuate higher impact shock.

要 旨

本研究ではランニングシューズの底材（ミッドソール）の硬度変化がランナーの生理学的効率に及ぼす影響について調べた。被検者は、大学陸上競技部に所属する男子長距離選手6名を用いた。実験は、ランナーにミッドソールの硬さを軟、中、硬とするシューズを着用条件および裸足条件でのトレッドミル走（走時間6分間）中の換気・ガス交換諸量を測定した。また、下肢部には小型の加速度計を取り付け、着地にともなう衝撃波を測定した。その結果、シューズ底の硬さが硬くなるほど $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、 \dot{V}_E の増大が見られた。着地衝撃法の最大値には底材の硬さの影響は認められなかった。

これらの結果から、緩衝性に優れたシューズはランナーの運動効率を向上すること、硬いシューズではランナーが身体機能によって緩衝性を補っており、それが生理学的諸量に影響を及ぼしていることが示唆された。

緒 言

ランニングシューズは、足や下肢の障害を予防するためばかりでなく、ランナーの生理的機能を促進する役割も重要である。シューズの機能特性と障害との関係についてはこれまでに多くの研究報告が見られる^{5,6)}が、シューズの特性とランナーの生理学的効率に関する研究は比較的少ない。Frederickら²⁾は、シューズの重量と生理学的効率について調べた結果、シューズ重量が片足100g増加することによって酸素摂取量が約1%増加することを報告している。

彼らは、さらにシューズ底と酸素摂取量との関

係について調べた結果、緩衝性が優れていたエアソール（圧縮ガスを詰めたプラスチックチェーン入りの靴底）使用のシューズでは、エチレン酢酸ビニル（EVA）のスポンジ材によるシューズに比べて酸素摂取量が少なかったと報告している³⁾。しかし、彼らの使用したシューズでは底材の緩衝特性は事実異なるものの、シューズ自体の構造が異なっていたために、シューズ底の緩衝特性そのものが走者の生理学的効率に及ぼす影響については明確な答えが得られていない。

そこで本研究では、底材質および構造が同じで緩衝特性のみが異なるシューズをランナーに着用させた場合、生理学的効率がどの程度影響を受けるのか、またそれが異なる走速度条件下ではどのようなようになるか、について調べることを目的とした。もし、シューズ底材の緩衝特性変化によって、ランニングの生理学的効率が数%でも変化しうるのであるならば、理論的にはマラソンの記録を数分間変化させることも可能である。したがって、これについて調べることは、選手やコーチにとっても、またシューズメーカーにとってもきわめて重要な基礎的資料を提供するものと考えられる。

1. 方 法

1.1 被検者

被検者は、すべて某大学陸上競技部に所属する男子長距離選手6名（年齢18歳～21歳）であり、いずれも3年以上の長距離走トレーニング経験者（5,000m走のベスト記録：15分29秒～16分27秒）であった。彼らの平均身長は 167.2 ± 4.5 cmであり、平均体重は 55.4 ± 4.5 kgであった。

1.2 実験用シューズ

実験用シューズは、本実験のためにミッドソー

表1 実験用シューズの重量および緩衝特性

シューズ底	重量 ^a	落下試験値 ^b	ゴム 硬度計値 ^c
軟	390g~472g	9.5G	35°
中	440g~478g	12.2G	57°
硬	474g~518g	16.1G	68°

- a. 重量は25.0cmから27.0cmのシューズサイズの両足分の重量をあらわしている。
- b. 落下試験値は、10kgのおもりを5cmの高さから落下し、底材に衝突させた際の加速度のピーク値をあらわしている。
- c. ゴム硬度計値は、JIS規格ゴム硬度計による計測値をあらわしている。

ル材の硬度に三段階の差異（硬，中，軟）が生じるようシューズメーカーの協力を得て作成されたものであった。ミッドソール材は、すべてエチレン酢酸ビニル（EVA）のスポンジ材によるものであり、アッパー（上覆部）の材料、および構造は市販のジョギング用のものを使用した。3種類のシューズは、表1に示したように硬い底のシューズほど重量が重く、落下試験機による緩衝テストの結果も緩衝能が低かった。

中硬度底シューズは落下試験機による緩衝試験の結果、最大加速度が12G程度になり、これは市販のジョギング用シューズの値に類似するものであった。この値に比べて軟底では9.5G、硬底では16.1Gであり、どちらも市販のシューズの緩衝機能に比べると明らかに異なるという結果であった。

1.3 実験内容

各被検者に3種類のシューズ着用および裸足の各条件で6分間のトレッドミル（㈱竹井機器）走行を行わせ、その際の換気・ガス交換諸量の測定および分析（㈱Beckman：OM-11およびLB-2）を行った。換気・ガス交換変量としては、走運動開始後の4分から6分までの酸素摂取量（ \dot{V}_{O_2} ）、二酸化炭素排出量（ \dot{V}_{CO_2} ）、換気量（ \dot{V}_E ）の1分間当たりの平均値を使用した。

実験は中硬度底シューズでの試技を最初に行い、つぎに軟底シューズ、ついで硬底シューズ、最後に裸足での試技を行った。各試技に際しては被検者の生理的機能回復のため30分程度の休息を入れた。走速度は、230 m/minと270 m/minの2段階とし、先に230 m/minでの測定を実施した。被検者にはトレッドミル走に慣れるため、実験日の前の2日間でトレッドミル上での走行練習を一日30~45 min程度実施させた。その際、表1の中底のシューズでランニングを行かせた際の各個人の走ピッチを基準とし、そのピッチで他のシューズでも走るように練習させた。これは被検者がシューズ底の異なる硬さに対してランニングフォームを変化させてしまう可能性を最小とするために行ったものである。走ピッチの操作には電子メトロノームを用いた。

おのおのシューズ条件および裸足条件でのランニング中に、下肢が実際どの程度の衝撃を受けていたかを調べるために、下肢（脛骨下部）に小型加速度計をテーピング用テープで取り付け、着地衝撃（下肢に対して鉛直方向の加速度の最大値）を同時に計測した。加速度信号は増幅後、A/D変換されコンピュータにオンライン収録された。

1.4 データの統計的処理

データは、繰り返しのある2元配置（要因：シューズおよび走速度）の分散分析法によって処理され、有意水準5%で評価した。

2. 結果

表2は、各条件下での \dot{V}_{O_2} 、 $\dot{V}_{O_2}/\text{body wt.}$ 、 \dot{V}_{CO_2} 、 \dot{V}_E の全被検者の平均値と標準偏差をあらわしている。これらのすべての変量はシューズ底が硬くなるほど増大する傾向が認められた。この傾向は、走速度が速いほど顕著であったが、走速度とシューズ間の相互作用効果はすべての変量で有意とはならなかった。走速度が生理学的諸変量に及ぼす影響はきわめて顕著であり、速い走速度

表2 換気・ガス測定諸量の全被検者の平均値および標準偏差

走速度	230m/min				270m/min				
	測定変量 シューズ底	\dot{V}_E (l/min)	\dot{V}_{O_2} (l/min)	$\dot{V}_{O_2}/\text{body wt.}$ (ml/m/kg)	\dot{V}_{CO_2} (l/min)	\dot{V}_E (l/min)	\dot{V}_{O_2} (l/min)	$\dot{V}_{O_2}/\text{body wt.}$ (ml/min/kg)	\dot{V}_{CO_2} (l/min)
軟		52.3 ± 5.0	2.18 ± 0.32	3.78 ± 0.19	1.86 ± 0.33	69.3 ± 10.1	2.60 ± 0.41	4.51 ± 0.28	2.28 ± 0.32
中		53.7 ± 5.7	2.22 ± 0.35	3.85 ± 0.23	1.98 ± 0.30	70.5 ± 9.1	2.71 ± 0.34	4.70 ± 0.16	2.37 ± 0.33
硬		55.0 ± 5.1	2.22 ± 0.34	3.86 ± 0.21	2.03 ± 0.28	72.6 ± 9.4	2.72 ± 0.28	4.74 ± 0.16	2.50 ± 0.34
裸足		52.0 ± 7.3	2.17 ± 0.35	3.77 ± 0.27	1.83 ± 0.34	68.8 ± 10.5	2.57 ± 0.41	4.45 ± 0.30	2.26 ± 0.30

縦棒は、統計的に有意差 (P<0.05) が認められたことを示す。

ほとすべての変量値が大きくなった。

シューズ底の差異は $\dot{V}_{O_2}/\text{body wt.}$ (図1), \dot{V}_E 値, \dot{V}_{CO_2} 値で有意差が認められた。すなわち, \dot{V}_{CO_2} 値ではすべてのシューズ間に有意差があらわれ, $\dot{V}_{O_2}/\text{body wt.}$ 値と \dot{V}_E 値では, 軟底と硬底との間で有意差が認められた。裸足条件の結果は, シューズの重量負荷が軽減するために, すべての変量で比較的低い値を示した。

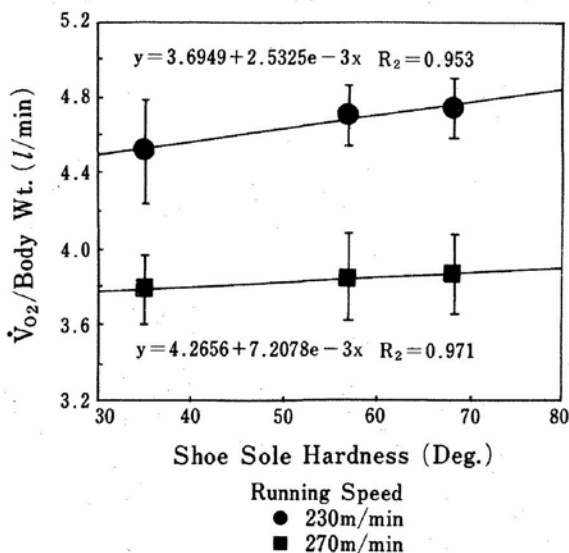


図1 シューズ底の硬さ (ゴム硬度計測定値) と体重当たり酸素摂取量の関係

表3は、着地衝撃 (最大加速度) の平均値を示している。着地衝撃は走速度が速い方が大きかった。シューズの効果は, 270 m/min の走速度の時に軟底と中硬度底との間で有意差が出現したが, 中硬度底での値は, 硬底での値より大きかった。したがって, シューズ硬度と着地衝撃の最大値との関係は明確ではなかった。シューズと走速度間の相互作用は認められなかった。裸足ではシューズ着用時に比べて加速度値で6Gから7G程度大きかった。

表3 下肢の最大衝撃の平均値および標準偏差

走速度 シューズ底	230m/min	270m/min
軟	7.02 ± 1.67	8.26 ± 2.40
中	8.83 ± 2.72	11.23 ± 3.05
硬	7.58 ± 1.69	10.10 ± 3.36
裸足	13.37 ± 5.39	17.09 7.10

単位はすべてG。

縦棒は、統計的に有意差 (P<0.05) が認められたことを示す。

3. 考 察

本研究では、硬さの異なるシューズ底が、ランニングの生理学的な効率にどの程度影響を及ぼすのかについて調べた。その結果、(1) 靴底が硬くなるにしたがって体重当たりの酸素摂取量 (図 1: $\dot{V}_{O_2}/\text{body wt.}$)、換気量 (\dot{V}_E)、二酸化炭素排出量 (\dot{V}_{CO_2}) が増大すること、(2) 着地衝撃はシューズ間での差異が明らかではないこと、(3) これらの結果は、走速度には影響されないこと、の 3 点が明らかとなった。

軟底シューズでの全被検者の平均換気量は、走速度にかかわらず硬底シューズのそれに比較して約 95% となり、二酸化炭素排出量でも約 92% となった。また、酸素摂取量の平均値の比較でも走速度が 270 m/min の時、軟底シューズの値が硬底シューズの値の 95.5% となり、軟底シューズの方が硬底シューズよりもランニングの生理学的効率において 4.5% 程度は有利であることを示す結果となった。このような結果には、軟底と硬底のシューズの重量差の影響が関与していたことも考えられる。表 1 に示したように、軟底シューズと硬底シューズの重量差は両足で最大約 90 g であった。

Fukuda ら⁴⁾は、ランニングシューズの重量が酸素摂取量に及ぼす影響について調べている。彼らのデータによると、シューズの重量差が 400 g の時、酸素摂取量にして約 3% の差が存在する。

また、Frederick ら²⁾も類似する研究の結果、350 g のシューズ重量の増加によって酸素摂取量が 1.8% 増大したと報告している。これらの研究結果を踏まえると、シューズ重量 (両足分) における 90 g の差が、生理学的効率にもたらす影響は最大でも 1% 程度までと推定される。したがって、このような重量差の影響を差し引いたとしても、約 3.5% の酸素摂取量がシューズ底の硬さの影響を受けて変化する可能性が考えられる。

この生理学的効率の差異は、マラソンの記録 (130 ~ 150 分) にして約 5 分程度の差異をもたらす可能性をも示唆している。また、シューズの軽量化と合わせると、さらに記録は向上できる可能をも秘めている。

Frederick ら^{1,2)}は、EVA スポンジのシューズと、エアースールのシューズを着用した場合の酸素摂取量の比較を行った結果、エアースールのシューズ着用条件の方が、酸素摂取量において平均 2.4% (最大 6%) 少なかったと報告している。この実験で使用されたエアースールのシューズは、EVA スポンジのシューズよりも平均 31 g 重かった。また、落下式衝撃試験の結果、衝撃吸収機能において EVA スポンジ底のそれよりも約 13% 優れており、エネルギー反発能力においても 7% 程優れていたもので、これらの緩衝機能の差異が酸素摂取量にも差異をもたらしたと解釈している。

本研究の結果のうち、緩衝性に優れたシューズの方が、ランナーの生理学的効率を良くするという点は Frederick らの結果と一致するものであるが、シューズの反発能力が高いほど効率が良いという点に関しては一致しない。すなわち、通常の EVA スポンジは硬度が増すにしたがって反発性も高まることで知られる⁷⁾。したがって、本研究で使用したシューズでも、硬底スポンジ使用のシューズの方が反発性に優れていたと考えられ、本研究の結果からは反発性が高いほど、生理学的効率が悪くなったことになる。

われわれは、硬いシューズほど、生理学的効率が低下するのは、シューズが本来もたらしてくれる緩衝機能が低下している分、ランナーが身体機能によってそれを代償しようとしているためではなかろうかと考えている。その証拠に、落下試験機では、明らかに認められた最大加速度 (衝撃波) におけるシューズ緩衝性の差異が、下肢に取り付けた加速度計からの衝撃波では消失している。し

たがって、ランナーはシューズ底の硬さにもな
って、運動器官または運動様式(主に着地方法)
を変化させながら、身体への衝撃がほぼ同様とな
るように操作していたと考えざるを得ない。

Kinoshita ら⁶⁾は、硬底シューズ着用時や裸足
での場合と、軟底シューズ着用時の場合とで、下
肢の筋活動や関節角度がどのように異なるのかに
ついて調べている。その結果、シューズからの緩
衝機能が十分に得られない場合には、着地前の足
首の筋活動が高められ、足部での着地様式が変化
することを報告している。

すなわち、軟らかいシューズでの着地において
見られた踵からの接地方法が、硬い靴や裸足で
は、足裏前方からの着地方法に変化することが観
察されると報告している。事実、裸足での走運動
の生理学的効率、緩衝性に優れた軟底シューズ
の場合にはほぼ相当する値であった。これは
シューズの重量(約450g)による影響が差し引
かれた分、緩衝性の悪さを身体機能が補償し、そ
こに労力が使われたためであろうと考えられる。
すなわち、着地操作をするうえで、より多くの筋
活動が必要となり、それが生理学的諸量に変化を
もたらしているのではないかと推察される。

本研究で評価した生理学的変量のうち、換気量
と二酸化炭素排出量が、酸素摂取量よりもシュー
ズ底変化の影響を強く反映するという結果であっ
た。

Fukuda ら⁴⁾も、ランニング中の生理学的諸量
を評価した時、シューズの重量差の影響が、酸素
摂取量より換気量と二酸化炭素排出量に顕著にあ
らわれるということを報告しており、下肢や足部

への負荷は、換気のみかメカニズムへのより強い影響
をもたらすと言えるのかも知れない。

文 献

- 1) Frederick, E. C. Clarke, T. E., Larsen, J. L.,
Cooper, L. B.; The effects of shoe cushioning
on the oxygen demands of running, *Biomechanical Aspects of Sport Shoe and Playing Surface* (Nigg B. M. and Kerr B. eds),
Univ. of Calgary Press, 107-114 (1983)
- 2) Frederick, E. C., Daniels, J. T., Hayes, J. W. ;
The effect of shoe weight on the aerobic
demands of running, *Proceedings of the
World Cong. of Sports Med.*, (Prokop L. ed.)
616-625 (1984)
- 3) Frederick, E. C., Howley, E. T., Powers, S. K. ;
Lower oxygen demands of running in soft-
soled shoes, *Res. Quart. for Exerc. and Sports*,
57 (2) 174-177 (1986)
- 4) Fukuda, H., Ohmichi, H., Miyashita, M. ;
Effects of shoe weight on oxygen uptake
during submaximal running, *Biomechanical
Aspects of Sport Shoe and Playing Surface*
(Nigg B. M. and Kerr B. eds), Univ. of Cal-
gary Press, 115-119 (1983)
- 5) James, S. L. Bates, B. T., Osternig, L. R. ;
Injuries to runners, *Am. J. of Sports Med.*,
6, 44-49 (1978)
- 6) Kinoshita, H., Fujii, N., Fukuda, H. ; Respo-
nses of lower extremity muscles to varied
cushioning properties of the foot/ground in-
terface during running, *Biomechanics XI-B*
(Groot G. et al. eds.), Free Univ. Press, 660
-667 (1988)
- 7) 木下 博, 寺岡敏郎, 戒 利光; 温度変化のランニ
ングシューズミッドソール緩衝特性に及ぼす影響
について, *デサントスポーツ科学*, 6, 137-145
(1985)
- 8) Nigg, B. M. ; *Biomechanics of Running
Shoes*, Human Kinetic Pub., Chicago, Illinois
(1986)