

ベアフットランニング時の筋硬度変化

塩田 徹¹⁾

The change of the muscle hardness by barefoot running

SHIODA Toru

Abstract

The purpose of this research was to examine the change of the muscle hardness and the running pattern in shod running and barefoot running in 30 minute. The object was six first-class undergraduate male middle distance runners (age: 21.0 ± 0.88 years, height: 174.9 ± 3.4 cm, mass: 62.6 ± 3.3 kg, % fat: $8.4 \pm 1.92\%$, seasonal best performance in 800 m: $1'51'' 9 \pm 1.9''$). The results obtained were as follows. In spite of being the slow running speed of 5 km/min, the footstrike pattern differed in shod running and barefoot running. The flexural angle of the knee of barefoot running was smaller than the flexural angle of shod running. It measured the muscle-rigidity of the quadriceps femoris musculus and the medial head of gastrocnemius muscle. As for the muscle hardness of barefoot running, all the members didn't rise from the value of the resting period but as for the change of the value of shod running, the difference among individuals was big. It was suggested that barefoot running is effective to the footstrike pattern correction. Moreover, it was suggested that the lower limbs disorder risk by barefoot running lowered than shod running.

I. はじめに

近年のジョギングやロードレースへの関心への高まりにともない、ランニングパフォーマンスの効率的な向上を目的とした身体強化や、効率的なランニングフォーム獲得への関心が高まっている。また、長距離種目で東アフリカの選手が世界的に活躍していることから、彼らのランニングパターンの特徴を明らかにし理想的なフォームへの検討が試みられている。それらによると、彼らの多くが小指球付近の前足部から接地していること

や、幼少期から裸足による生活やトレーニングを強いられる環境であったこと¹⁸⁾などから、裸足によるランニング (Barefoot running: 以下 BR) や前足部からの接地パターン (Forefoot Strike: 以下 FFS) が彼らの高い競技パフォーマンスに影響している可能性が示唆されている³⁾。靴でのランニング (Shod running: 以下 SR) が FFS であったときの運動学的特徴は BR と類似していることが知られている。すなわち FFS や BR では接地時の衝撃力が小さく、前方への推進力を低減しにくいことが特徴として考えられている^{1, 6, 15)}。接地パ

1) 東洋大学スポーツ健康科学 (白山キャンパス) 研究室 〒112-8606 東京都文京区白山 5-28-20

Sports and Health Science Laboratory, Toyo University, 5-28-20, Hakusan, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-8606, JAPAN

ターンは一般的に FFS、踵からの接地パターン (Rearfoot strike: 以下 RFS) と足裏全体ではほぼ同時の接地パターン (Midfoot strike: 以下 MFS) に分けることができる。接地パターンと競技パフォーマンスとの関係においても競技力の高い集団ほど RFS 以外の接地パターンの多いことが報告されている^{5, 15)}。筆者²⁰⁾も大学生中長距離選手が BR を行うことで接地位置が前方に移動し、ランニングパターンを改善できる可能性を示唆している。

しかしながら一方で、FFS や BF の接地パターンと下肢障害リスクとの関係については必ずしも一致した見解が得られていない²⁴⁾。FFS では接地時に地面から受ける衝撃は少ないものの¹⁵⁾、接地時に足が受ける衝撃力と障害を発症する部位に作用する力は一致しないことや¹⁴⁾、下腿が発揮する力は FFS が RFS よりも明らかに大きいことから⁷⁾、FFS により下肢障害リスクが増大する危険性が指摘されている^{7, 19)}。さらに、FFS や BR を長時間行わせたときの下肢への影響については必ずしも明らかになっていない。

筋のコンディショニングの評価においてトレーニング現場では、筋の硬さを指標とすることが多い。力の繰り返し発揮や激しい運動後の筋疲労とともに筋硬度が上昇し¹⁰⁾、疲労の回復とともに筋硬度の減少することが認められている¹⁶⁾。さらに筋硬度の変化と障害リスクの関連性についても指摘されている¹¹⁾。筋硬度の測定は、近年測定機器の改善によりトレーニング現場において、容易にかつ正確な測定が可能となり、トレーニングによる体調管理への活用が検討されている^{8, 13)}。

したがって、BR 中の筋硬度を測定することは、下肢の疲労や障害リスクへの影響を推測するための重要な示唆を得られると考えられる。そこで、筋硬度およびランニング様式の変化を SR と BR で比較検討することを本研究の目的とした。

II. 方法

1. 対象者の身体的特徴および競技成績

対象は、健康な陸上競技中距離を専門とする男子大学生 6 名を対象とした。6 名の身体的特性は、年齢 21.0 ± 0.88 歳、身長 174.9 ± 3.35 cm、体重 62.6 ± 3.30 kg、体脂肪率 $8.4 \pm 1.92\%$ であった。体脂肪率は InBody730 により測定した。

対象者の競技成績 (平成30年度) は、800m の平均で 1 分 51 秒 9 ± 1 秒 9 であり、大学生トップレベルの競技成績を有していた。

彼らはウォーミングアップやクーリングダウンにおいて時々裸足で走っており、測定中の BR に違和感を訴える者はいなかった。

2. 測定方法および測定項目

1) ランニング速度の決定と測定の概要

全天候型陸上競技場内芝生を約 5 分 00 秒 / km の速度を目安として約 30 分間周回させ、その間のランニングパターンの撮影および筋硬度測定を 5 周毎 (約 10 分毎) に 3 回行った。5 分 / km の速度は被験者がジョギングとして一般的に行っている速度であった。実験前の別の日に 5 分 / km を目安として靴と裸足の両方で最も違和感なく走れる速さを被験者ごとに決定し、そのタイムからずれないように練習してもらった。測定時には 200 m 毎に通過タイムを読み上げ、ランニング速度が目標ペースからずれないように注意した。動画撮影はトラックの直線路の中央付近で行なったため、撮影時には芝生から競技場走路に走り出てもなかった。芝生と走路間には段差等がほとんど無く、ランニングを妨げることは無かった。撮影区間を通過後直ちに筋硬度の測定を行った。また、パターンの分析には左脚を用いたため撮影区間中央付近を左足で接地することが望ましい。そのため、1 周前にも撮影し、左足の接地が中央に近い

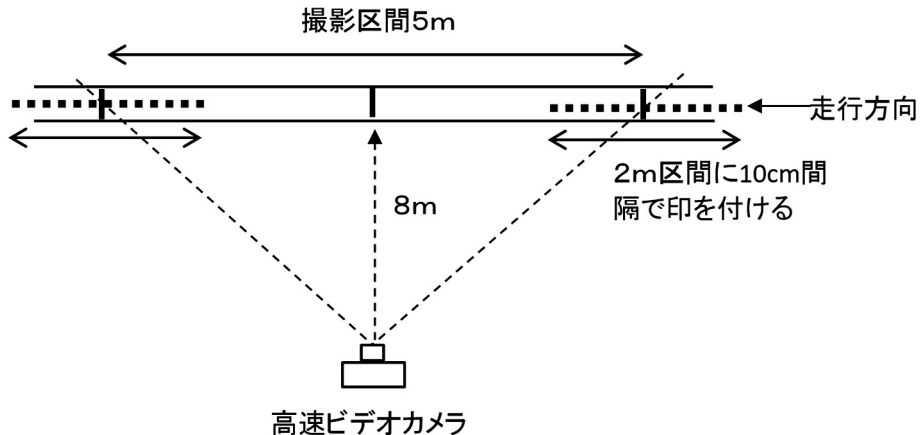


図1 撮影方法

方を分析に用いた。

2) ランニング様式の撮影

撮影方法を図1に示した。すなわち高速デジタルビデオカメラ（240fps, RX100Ⅳ, SONY）を撮影区間中央の左側方8mに設置し、直線路の40mおよび45m地点の前後1mに10cm間隔でマークした。靴は出来るだけ底の薄い競技用とした。

以下に示す測定項目は収録したビデオ画面を画像読み取りソフト（kinovea）を用いて読み取った。

①歩行速度、ピッチおよびストライド

撮影区間の最初と最後それぞれに10cm間隔で付けた印を利用し、4歩分の距離および時間をビデオ画面より読み取った。距離を時間で除したものを走行速度、歩数を時間で除したものをピッチ、距離を歩数で除したものを歩幅として算出した。

②支持時間、滞空時間、滞空／支持比および接地方法

左足の接地から次の右足の接地までの映像から分析した。左足が地面に接している時間を支持時間、左足が地面を離れ右足が着地するまでの時間を滞空時間、支持時間に対する滞空時間の割合を

滞空／支持比とした。また、左足が地面に最初に接する部位を画像から読み取り、FFS、MFSおよびRFSに分類した。

③身体角度

左脚の接地期に大転子が外果の真上を通過するときの左膝の角度を膝角度として画像から読み取った。

3) 筋硬度測定

筋硬度の測定には、身体組成専用超音波画像装置（Views i：酒井医療機器社製）を用いた（図2）。本装置は、携帯型のBモード超音波装置のリニア型プローブ（6MHz・64素子）に圧力計を内蔵し、1gf単位でプローブによって圧をかけていった際の筋厚の変化をリアルタイムに記録できる装置である。記録される画像データの画素数（周波数8Hz）は113×320ドット、有効測定深度は80mmであった。画像データは専用解析ソフトを用いて、プローブ圧の増加に伴う筋厚の変化を0.1mm単位で計測し、先行研究⁹⁾を参考にプローブ圧が100～700gfの回帰式を求め、その勾配の逆数（荷重／変化量）を筋硬度の指数とした。

対象者を床に敷いたマット上にて腹臥位で安静にさせ測定部位の皮膚表面にプローブを当



図2 筋硬度測定装置

て、1500gfを超えるまで100gf/秒を目安にゆっくりと圧迫した。次いで、背臥位にて大腿四頭筋において同様の測定を行った。測定部位は、左側の腓腹筋内側頭および大腿四頭筋とした。腓腹筋内側頭の測定ポイントは膝窩皮線より5横指下の内側筋腹部とし、大腿四頭筋は大転子から大腿骨長の遠位50%部とした。測定部位をすべての測定で同一にするため、油性マジックにてマーキングし、測定手法に習熟した1名がすべての測定を行った。

Ⅲ. 結果

SRとBRにおける撮影区間の3回の平均速度を被験者ごとに示した(表1)。全被検者で5分/kmよりも若干速かったものの、3回の差異はSRおよびBRともに僅かであり(CV0.84-1.82%)、一定の速度で走っていたと判断した。ビデオ画像から読み取った測定値を表2に示した。接地部位は、SRにおいてはRFSが4名、MFSが2名であり、FFSは認められなかった。BRではRFSが1名、MFSが3名およびFFSが2名であり、SRに比べて接地位置が前方に移動していた。また、SRとBRそれぞれで、ランニング中に接地様式が変わる選手はおらず、30分間すべての被験者が同一の接地パターンであった。

歩幅やピッチについては、ランニング速度が同一だったため、SRが歩幅に広く、BRでピッチが速いパターンであった。接地時間はBRで短い傾向にあったものの明らかな差ではなかった。また空中/接地比についても同程度であった。膝角度についてはすべての被験者がBRで大きく、BRの方がランニング時の接地時の沈み込みが小さいことが認められた。

安静時における筋硬度を表3に示した。大腿四頭筋の安静時筋硬度は65.9~114.0gf/mm(82.6 ± 16.6 gf/mm)、腓腹筋は65.3~112.0gf/mm(87.6 ± 18.4 gf/mm)の範囲であった。被験者間および筋肉間でも測定値のばらつきが大きく、筋硬度の推移や筋肉の硬さに一定の傾向を認めることは出来なかった。

図3には30分ランニング中の筋硬度の変化を示した。ランニング開始10分後の値をSRとBRと比較すると、大腿四頭筋および腓腹筋内側頭ともにSRの方が若干高値を示す傾向にあり、被験者間のばらつきも大きい傾向にあった。その後の変動の仕方についても、大腿四頭筋においては全体的な増加傾向や減少傾向は認められず、被験者ごとにばらばらに推移していた。一方、BRにおいては、選手間の変動域が小さく、10分以降、筋硬度が上昇せずに低下する傾向を4名で認められ

表1 各被験者のランニングの予定タイムと測定時の換算タイム

	予定	靴		裸足	
		平均	変動係数	平均	変動係数
A	4 分50秒	4' 49"	1.82%	4' 46"	0.89%
B	4 分50秒	4' 54"	2.07%	4' 47"	1.96%
C	4 分55秒	4' 53"	1.35%	4' 53"	1.55%
D	4 分45秒	4' 43"	1.92%	4' 46"	1.03%
E	5 分00秒	4' 58"	1.91%	4' 57"	1.38%
F	4 分55秒	4' 55"	1.03%	4' 57"	1.98%

変動係数は測定した3回の換算タイムのばらつきを示している

表2 各被験者のランニングパターン

Barefoot Running

	接地パ ターン	平均速度 m/s	平均歩幅 m	平均ピッチ f/s	接地時間 sec	空中時間 sec	空中／ 接地	真上時の 膝角度
A	1	3.49	1.18	2.97	0.218	0.122	0.557	142
B	2	3.48	1.28	2.73	0.228	0.132	0.577	145
C	3	3.41	1.22	2.80	0.236	0.120	0.509	137
D	2	3.50	1.26	2.79	0.218	0.145	0.668	141
E	2	3.36	1.20	2.80	0.232	0.130	0.561	137
F	1	3.36	1.17	2.88	0.251	0.089	0.355	138
平均		3.43	1.22	2.83	0.231	0.123	0.538	139.9
標準偏差		0.06	0.04	0.08	0.012	0.019	0.103	3.36

Shod Running

A	2	3.46	1.19	2.91	0.218	0.127	0.582	139
B	3	3.40	1.27	2.67	0.239	0.130	0.544	141
C	3	3.41	1.25	2.74	0.263	0.107	0.406	130
D	3	3.53	1.31	2.70	0.232	0.150	0.648	139
E	3	3.35	1.22	2.75	0.228	0.140	0.616	137
F	2	3.38	1.24	2.73	0.253	0.113	0.446	135
平均		3.42	1.25	2.75	0.239	0.128	0.540	136.8
標準偏差		0.06	0.04	0.08	0.017	0.016	0.096	3.74
SR vs BR		0.268	0.022 **	0.002 **	0.076	0.193	0.472	0.008 **
接地パターン	1 : FFS	2 : MFS	3 : RFS					** : p<0.01

表3 安静時の筋硬度 (gf/mm)

	大腿四頭筋	腓腹筋内側頭
A	80.8	112
B	114	104
C	72	65.3
D	80.7	70.6
E	65.9	82.5
F	82.2	91.2
平均	82.6	87.6
標準偏差	16.64	18.38

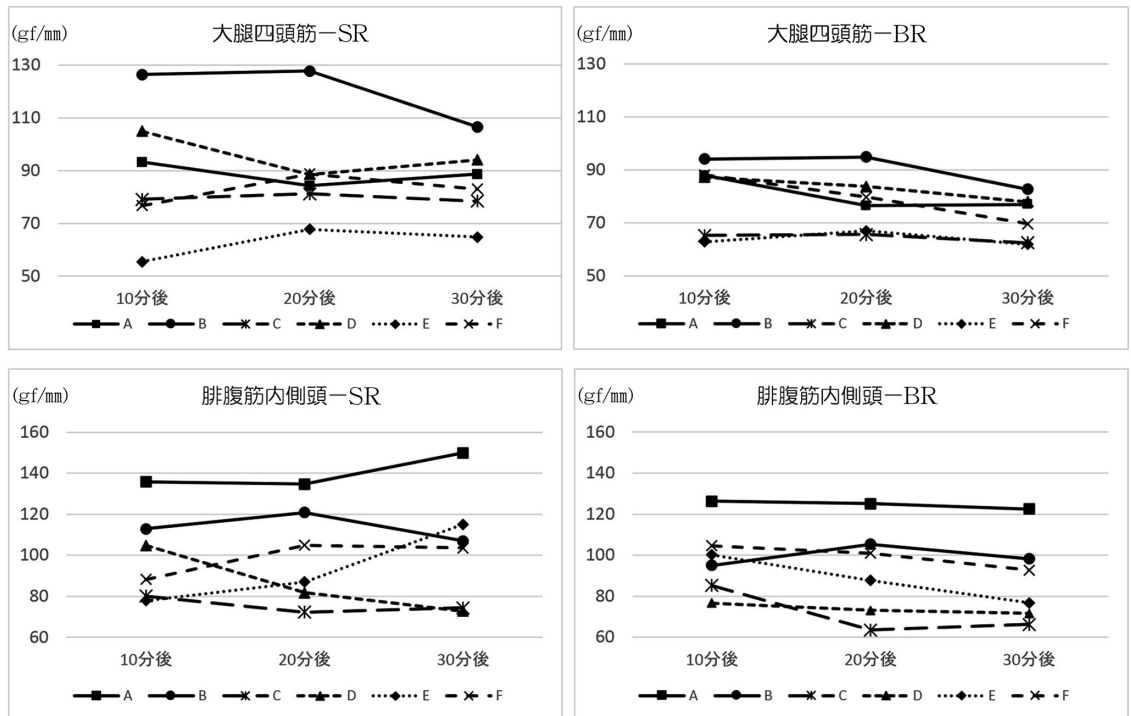


図3 ランニング中の筋硬度の変化

た。腓腹筋内側頭においてもSRとBRを比較すると、大腿四頭筋の結果と類似していた。SRの方が10分の測定でばらつきが大きく、その後の変動も被験者間で大きく異なっていた。一方、BRでの筋硬度の変動は小さく、時間の経過とともに低下する傾向が認められた。

IV. 考察

本研究は、大学生中長距離ランナーがBRを行うことの効果および影響について評価を行った。BRとSRを比較した場合、BRのランニングパターンはSRに比べて接地位置が前方に移動し、膝の屈曲が小さくピッチを高めるパターンであり、SRは膝の屈曲をより多く用いて広いストライドで速度に対応していた。接地パターンと走の推進特性の関係をみた報告によると、RFSは接地時の大きな衝撃に対して重心を下げながら吸収しその間に大きく前方に推進する歩幅の広い走行

が適しているパターンであり、FFSは接地の衝撃が小さくブレーキをかけることなく短い接地時間で前方に推進する脚の回転の速い走行が適していることを指摘している⁹⁾。本研究はRFSとFFSの差異について検討したものではないが、SRにはRFSが多く、BRにはFFSやMFSの割合が高かった。そのため、大学中距離ランナーのBRはFFSと類似した接地パターンであったと考えられる。

中長距離種目の競技パフォーマンスとランニングパターンとの関係について、榎本ら²⁾は、接地後の身体重心の低下を小さくすることが走技術において重要な課題としている。そのため、地面反力を身体重心変位で除した値をスティフネスとして算出した場合、スティフネスの高い選手ほどパフォーマンスに優れることが報告されている¹²⁾。そのため、実際のトレーニングにおいても筋スティフネス向上の目的でプライオメトリックと呼ば

れるジャンプ系トレーニングが活用されている。

また、接地パターンについては、異なるスピードでのステップ変数からパフォーマンスとの関係を検討した丹治ら²¹⁾によると、パフォーマンス向上には接地時間を短くすることが重要であり、望ましい接地パターンは走スピードによって異なることを示唆している。すなわちフルマラソンのスピードを明らかに超えるようなトラック種目においては踵より前方での接地パターンで接地時間が短縮することを指摘している。ハーフマラソンにおける接地パターンの調査においても RFS 以外が適していることが報告されている⁵⁾。

これらのことから、大学生中長距離ランナーには下肢のスティフネスを向上させ、FFS や MFS を習得させることが重要であると考えられる。スティフネス向上にはプライオメトリクストレーニングと呼ばれるジャンプ系トレーニングの効果が認められているものの、FFS や MFS 習得に関しては一貫したトレーニング手段はみあたらない。スティフネスの高いランニング様式は、硬いバネが前方に跳ね続ける動きで表現されることがあるが、そのようなランニング様式を真似ることも、トレーニングとして重要な一手段になると思われる。スポーツのスキルを向上させる手段として、優れる技術を真似ることは神経-筋機能を効率的に改善するため一般的に行われている。さらに、少ない負荷で選手が違和感なく BR を行うことで FFS や MFS パターンを再現できることは障害リスクを軽減し、トレーニング頻度を高めることが可能となり、多面的にパフォーマンスの向上を図れると推測できる。

ところで、一般的に接地時の衝撃が小さく、アキレス腱や脛骨など下腿への障害リスクを軽減できることを特徴としている BR であるが、FFS において下腿障害のリスクが最も高いとの指摘もあり⁷⁾、対象者の競技レベルや測定条件により接地

パターンと障害リスクとの関連は必ずしも明らかではなく²⁴⁾、BS の障害リスクを検討することは重要であると考ええる。

ランニングによる障害はオーバーユースによるものであり、過重な負荷がかかり続けることで発症しやすくなることが知られているが、このとき筋肉は疲労や微細損傷を受け、硬くなることが容易に推測できる¹⁶⁾。内山ら²²⁾は力発揮の大きさと筋硬度の変化が相関関連にあることを報告している。したがって、SR と BR 中の筋硬度に差異が認められるならば、下肢障害リスクにも影響することが想定される。

本結果においては、SR と BR ともに安静状態と比較して、筋硬度に大きな上昇を認めなかったが、SR と BR を比較すると、BR の方が若干低く、しかもランニング中に僅かであるが低下する傾向を示していた。一方、SR は測定値に個人差が大きく、推移の仕方もばらばらであった。本研究で用いた超音波画像装置は高い再現性を有し、皮下脂肪の影響を受けにくいことが報告されており⁴⁾、ランニング中の筋肉の状態を反映していると考えられる。村山ら¹⁶⁾は、ごく軽い運動後に筋肉が柔らかくなることを認めているが、本研究の SR や BR における下肢筋群への力の作用の仕方や力の大きさの差異が本結果に影響しているものと考えられる。

走運動では接地時に筋・腱が一度伸張されてから短縮しているが、このとき伸張局面が長い走法ではスピードが低下しやすく、その後の短縮局面において再び加速するための余分な筋活動が必要になることが示唆されている¹⁷⁾。さらに、速度が遅かったために伸張局面における負荷が小さかったことも推測できる。これらのことから、被験者数が少ないため、可能性の域を出ないものの、大学生中長距離選手にとって速度の遅い BR は下肢の負荷が小さく障害リスクを増大させないパター

ンであると考えられる。

また、本研究で用いた走路はグラウンド内の芝面であり、若干の凹凸がある。そのため、ランニング中に疾走フォームを維持するために、下腿に意図しない力発揮が要求されることがある。BRの効用として、そのような起伏への対応が容易になることも指摘されており、SRでの対応力の低下が危惧されている²³⁾。SRで個人差が大きかったことの原因として認識すべきことなのかもしれない。一般に下肢障害のリスクが少ないと考えられている芝面であるが、状態によっては、障害との関係を検討する必要があると思われる。

V. 要約

大学生中距離選手6名を対象に、30分間のSRとBR中の筋硬度およびランニング様式の変化を比較検討することを本研究の目的とした。6名の身体的特徴は年齢 21.0 ± 0.88 歳、身長 174.9 ± 3.35 cm、体重 62.6 ± 3.30 kg、体脂肪率 $8.4 \pm 1.92\%$ であった。平成30年度の競技成績は800mで1分51秒 9 ± 1.9 秒と、優秀な成績を有していた。

以下の事が得られた。

- 1) ランニング速度は約5分/kmとゆっくりであったが、BR中の接地位置はSRに比べて前方に移動し、膝の屈曲がSRに比べてBRでは小さくなることが確認できた。SRとBRの接地パターンは30分間同一であった。接地期において、重心の上下動が少なく前方への重心移動がスムーズに行なわれていたことが推測できた。
- 2) SRの筋硬度においては、大腿四頭筋と腓腹筋内側頭ともに安静時の値と大きな差異は認められず、BRに比べて個人差が大きく30分の間の変化の仕方もばらばらであった。BRにおいては、選手間の変動域が小さ

く、10分以降、筋硬度が上昇せずに低下する傾向が両方の測定筋群で認められた。

- 3) 以上のことから、低強度のBRであっても、大学生中距離選手のランニング様式を改善するトレーニングの一手段になり得ると考えられる。さらに、SRに比べて下肢障害のリスクを増加させない接地パターンであると考えられる。

<参考文献>

- 1) Divert C., Mornieux C., Baur H., Mayer F., A.Belli (2005) : Mechanical comparison of barefoot and shod running. *Int J Sports Med.* 26, 593-598.
- 2) 榎本靖士, 阿江通良, 岡田英孝, 藤井憲久 (1999) : 力学的エネルギー利用の有効性からみた長距離走の疾走技術, *バイオメカニクス研究*, 3 (1), 12-19.
- 3) 榎本靖士, 岡崎和伸, 岡田英孝, 渋谷俊浩, 杉田正明, 高橋英幸, 高松潤二, 前川剛輝, 森丘保典, 横澤俊治 (2007) : ケニア人長距離選手の生理学的・バイオメカニクスの特徴の究明～日本人長距離選手の強化方策を探る～, 上月スポーツ教育財団スポーツ研究助成事業報告書.
- 4) 藤田英二, 沢井史穂, 田中寿志, 福永哲夫 (2015) : 圧力計を搭載した超音波装置によるヒト筋硬度の評価, *理学療法学*第42巻第3号, 255-261.
- 5) Hasegawa H., Yamauchi T., W.J.Kraemer (2007) : Foot strike patterns of runner at the 15-km point during an elite-level half marathon. *J.Strength Cond Res.* 21 (3), 888-893.
- 6) Hanson N.J., Berg K., Deka P., Meendering J.R., C.Ryan (2011) : Oxygen cost of running barefoot vs. running shod. *Int J Sports Med.* 32 (6), 401-406.
- 7) 橋詰賢 (2017) : 異なる接地パターンが足部に作用する力に及ぼす影響—足部ランニング障害予防のための接地方法の提案—, *デサントスポーツ科学*第38巻, 98-105.
- 8) 廣野準一, 向井直樹, 宮川俊平, 有田祐二, 鍋山隆弘, 香田郡秀 (2013) : 超音波 Real-Time Elastography を用いた筋および腱の硬さと運動パフォーマンスの関係, *筑波大学紀要*36, 165-168.
- 9) 肥田直人, 石井慎一郎, 山本澄子 (2016) : 足部接地パターンがランニングにおける推進特性に及ぼす影響, *理学療法学*31 (6), 815-818.
- 10) 堀川浩之, 佐藤三千雄, 中野雅之, 松橋明宏, 佐藤孝雄, 松石純, 久光正 (1997) : 等尺性最大脚伸展動作が筋硬度に及ぼす影響, *臨床スポーツ医学*14 (5), 573-578.
- 11) 伊藤慧, 木下裕光, 宮川俊平, 向井直樹, 白木仁,

- 竹村雅裕, 福田崇 (2006) : 成長期の膝伸展機構における筋硬度と障害発生との関連, 体力科学55 (6), 875.
- 12) 加藤彰浩, 荻久保吉隆, 筒井清次郎, 木越清信 (2013) : プライオメトリックトレーニングによる長距離走パフォーマンスと鉛直スティフネスの変化, スポーツ健康科学研究35, 17-26.
 - 13) 肥田朋子, 天野幸代 (2010) : 筋硬度計による生体の硬さ測定—再現性と妥当性と有用性—, 名古屋学院大学論集 人文・自然科学編 第46巻第2号, 55-61.
 - 14) Komi P.V., Fukashiro S., M.Jarvinen M (1992) : Biomechanical loading of Achilles tendon during normal locomotion. Clin. Sports Med. 11, 521-531.
 - 15) Lieberman D.E., Venkandesan M., Werbel W.A., et al (2010) : Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. Nature. 463 (28), 531-536.
 - 16) 村山光義 (2016) : 押し込み反力計測による筋硬度評価の意義, バイオメカニクス学会誌40 (2), 79-84.
 - 17) Nummela A., Keranen T., O.Mikkeleson (2007) : Factors related to top running speed and economy. J Sports Med. 28, 655-661.
 - 18) Onywera V.O., Scott R.A., Boit M.K., et al (2006) : Demographic characteristics of elite Kenyan endurance runners. J Sports Sci. 24 (4), 415-422.
 - 19) 笹山亜沙子, 松本秀男, 世羅泰 (2010) 前足部及び後足部接地により歩行及びランニング時の下腿障害リスクは増加するか, 臨床バイオメカニクス, 31, 469-475.
 - 20) 塩田徹 (2017) : 筋力・ランニングフォーム矯正の一手段としてのベアフットランニング活用の可能性, 東洋大学スポーツ健康科学紀要, 14, 25-34.
 - 21) 丹治史弥, 関慶太郎, 榎本靖士, 鍋倉賢治 (2016) : 高強度走行中のランニングフォームと経済性, ランニング学研究, 27, 21-35.
 - 22) 内山孝憲, 大杉健司, 村山光義 (2006) : 押し込み反力計測による筋の硬さの評価—等尺性収縮力依存性と筋疲労の影響—, バイオメカニクス18, 219-227.
 - 23) 吉野剛 (訳), : ベアフットランニング; Ken Bob Saxton (著), スタジオタッククリエイティブ (東京).
 - 24) Warr B.J., Fellin R.E., Sauer S.G., et al (2015) : Characterization of footstrike patterns : lack of an association with injuries or performance in soldiers. Mil. Med. 180 (7), 830-834.