【原著】

大学トップランナーの接地動作と競技レベルの関係

西出仁明（体育学部競技スポーツ学科）　廣瀬泰輔（大学院体育学研究科）
山田　洋（体育学部体育学科）　小河原慶太（体育学部体育学科）
五十嵐健太（総合理工学研究所）　宮崎誠司（体育学部武道学科・スポーツ医科学研究所）
両角　速（体育学部競技スポーツ学科）

Relationship between university top ranner's grounding motions and competition level

Noriaki NISHIDE, Taisuke HIROSE, Hiroshi YAMADA, Keita OGAWARA, Kenta IGARASHI, Seiji MIYAZAKI and Hayashi MOROZUMI

Abstract

The purpose of this study was to investigate the relationship between top runner's foot strike pattern (FSP) contact time (CT) and competition performance as well as Running speed. Fifteen long distance runners participated in this study. FSP and CT at traveling time were measured with an optical motion capture system. Subjects were divided into expert group and semi group based on 5000 m self-record. Three types of running speed were set: low strength (Easy pace: E), medium strength (Threshold pace: T), high strength (interval pace: I). In addition, we examined the relationship between PB and FSP and CT of four long distance Event (1500 m, 5000 m, 10000 m, half marathon). In the expert group, FSP was full speed, CT showed significantly lower values in E and T. CT = 1500 m ($r = 0.606$, $p < 0.05$), 5000 m ($r = 0.563$, $p < 0.05$), the correlation with events was FSP 5000 m ($r = 0.638$, $p < 0.01$), 10000 m ($r = 0.515$, $p < 0.05$) These results suggested that in the expert group the Contact from toe and time on the toes were short. There was no correlation between the two indicators in the half marathon, so it seemed that there was little effect on the competition results.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 31, 13−20, 2019)

Ⅰ．緒言

近年、陸上競技、とりわけ長距離界ではランニングフォームの中でも足部と地面との接地様式（Foot Strike Patterns: FSP）で議論がなされている[1)]。ランニング時の FSP は、接地時に前足部から接地するつま先接地（Fore Foot Strike: FFS）と、後足部から接地する踵接地（Rear Foot Strike: RFS）の 2 種類に分けられる。これまで長距離走においては RFS が多く用いられているとの報告が主流であり[2)] 長時間走運動を持続させるには RFS が良いとされてきた。しかし、近年、国際大会で上位を席捲しているケニア、エチオピアの選手および、マラソン日本記録を樹立した選手にも FFS が確認されており、FFS に対する注

表１　群別の被験者における身体的特徴と競技成績
Table 1 Physical characteristics and competitive results in subjects by group.

	Expert (n=8)	Semi (n=7)
Age (yr)	19.8±0.7	10.0±1.6
Height (cm)	170.5±4.9	168.2±2.0
Mass (kg)	54.8±3.7	52.6±1.8
Running performance (points)	1038.4±33.8	901.1±42.5**
1500mPB (mm:ss)	3′45″8±5.2	3′58″9±4′3**
5000mPB (mm:ss)	13′48″6±9″7	14′31″0±13″4**
10000mPB (mm:ss)	29′07″4±48″2	29′59″3±30″4*
HalFPB (mm:ss)	63′38″0±108″3	66′34″6±174″7*

* : p<0.05、 ** : p<0.01

目度は益々高まってきている[3]。

走運動時の接地に関する先行研究に関して、接地時鉛直方向の地面反力は、FFS で単峰性、RFS 走法において二峰性の波形を示し[4]、RFS 走法の第１ピーク（受動的衝撃）にランニング障害との関係が報告されている[5]。また、FFS では遊脚期に推進力を得て大きく前方へ進むとの報告もなされている[6]。このように FSP が走運動時のパフォーマンスに及ぼす影響を検討した研究は多々報告されているが、いずれも一般的なランナーを対象としており、長距離走ながらも速い走速度を有する一流ランナーを対象とした報告は少ない。FFS、RFS どちらが優れているのか一致した見解が得られていないのは、一般ランナーと一流ランナーにとっての長距離走に適した FSP が異なっていることに起因する可能性が考えられる。そこで本研究の目的は、大学一流長距離選手を対象に競技レベル別における FSP および接地時間（Contact time: CT）の関係を検討することであった。また、1500m から Half marathon（Half）を含んだ各長距離種目との関係を検討することであった。

Ⅱ．方法

１．被験者

本研究の被験者は、大学陸上競技部に所属し長距離種目を専門とする15名であった。第93回東京箱根間往復大学駅伝競走（以下箱根駅伝）に選出された選手を Expert 群（８名）、その他を semi 群（７名）とした。表１に身体的特徴、国際陸上競技連盟（International Assciation of Federations: IAAF）が発行する IAAF Score[7] および群別による競技成績を示す。なお、本研究は東海大学「人を対象とする研究に関する論理委員会」に関する倫理委員会の承諾を得た上で実施されたものである（承認番号18080）。

２．実験内容

実験室内にてトレッドミル上での走行テストを行った。走速度は、低強度（Easy pace: E pace）、中強度（Threshold pace: T pace）、高強度（Interval pace: I pace）の３種を設定した。長距離走の持久的パフォーマンスの評価には最大酸素摂取量（Volume oxygen maximal consumption: $\dot{V}O_2max$）が用いられることから[8]、『ダニエルズのランニング・フォーミュラ第３版』の VDOT を用いて、5000mPB の平均から $\dot{V}O_2max$ の推定値を算出し、各走速度を設定した[9]。被験者は各設定走速度を１試技ずつ100秒間走行し、計３試技を行った。試技と試技の間は90秒間立位での休息を取らせた。試技順は E pace、T pace、I pace の順で行い、室温は常に23-25℃で統一されていた。

3．分析方法

被験者には反射マーカーを体表に40点貼付し、身体各部位の三次元座標を算出した。頭部 3 点（頭頂、左右の耳珠点）、上肢12点（左右肩峰、肘外側、肘内側、手首外果、手首内果、第 3 中手骨関節）、体幹部 3 点（胸骨上縁、左右肋骨下端）、下肢22点（左右大転子、大腿骨外側上果、腿骨外側内果、外果、内果、踵骨隆起、第 3 末節骨頭、横足根関節を挟む左右 4 点、中足趾節関節を挟む左右 4 点）とした（図 1 ）。

光学式モーションキャプチャシステム（Mac3Dsystem, Motion Analysis 社製）を用いて記録した。撮影には11台の光学式赤外線カメラを使用し、カメラのシャッタースピード1/500 sec およびフレームレートは250 fps とした。得られた位置座標からマーカーの誤認識、欠落の修正を行った後、3 次元ビデオ動作解析システム（Frame DIASV, DHK 社製）を用いて走運動時の各指標を算出した。分析範囲は試技100秒走行中90秒経過後の右足 5 サイクルとした。被験者は各々が実際のレースで使用するシューズを履いて試技を行った。

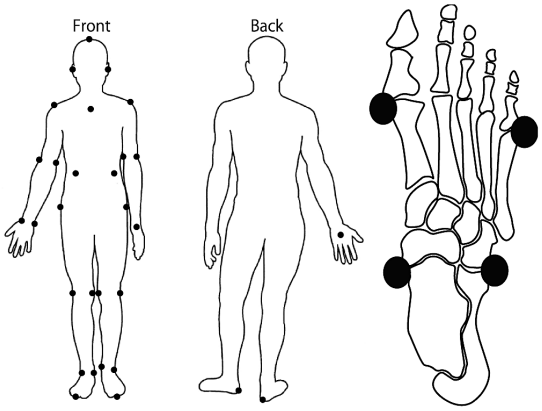


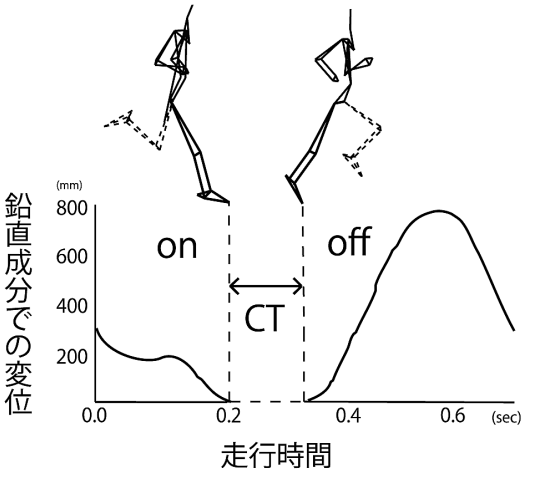
図 1　身体および足部 4 点のマーカー貼付位置
Fig. 1 Position to attach of 4 markers on body and foot.

4．分析項目

立位姿勢時にトレッドミルと面している足部各マーカー点の鉛直成分の変位（mm）を各被験者で算出し、その地点へ到達した時点を接地とした。つま先および踵がその地点へ到達するまでに要した時間の差分を算出し FSP の値とした（図 2 、左）。符号の正負は、負の数を FFS、正の数を RFS とした。接地開始時から支持期の終末局面であるつま先が、立位姿勢時で設定された地点より、鉛直成分の変位が上回るまでの時間を計測し、CT（sec）の値とした（図 2 、右）。

5．統計処理

走速度の増加に伴う FSP と CT の変化を確認するため、一元配置分散分析を行い、有意な主効



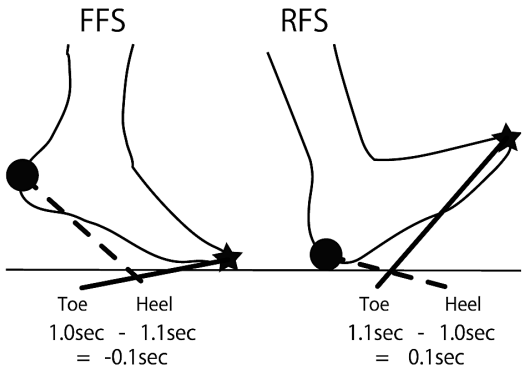


図 2　FSP 及び CT 算出方法
Fig. 2 FSP and CT calculation method.

表2　各走速度における FSP および CT の群間比較
Table 2 Comparison between of FSP and CT at each running speed.

	Stage	All (n=15)	Expert (n=8)	Semi (n=7)
FSP (sec)	Epace	0.009±0.019	-0.004±0.014 *	0.024±0.013
	Tpace	0.003±0.018 #	-0.008±0.016 *,	0.015±0.011 #
	Ipace	-0.001±0.018 #,##	-0.011±0.016 *,#,##	0.012±0.013 #
CT (sec)	Epace	0.213±0.022	0.197±0.015 *	0.231±0.013
	Tpace	0.181±0.013 #	0.173±0.011 *,#	0.191±0.009 #
	Ipace	0.168±0.014 #,##	0.160±0.014 #,##	0.177±0.010 #,##

*: significant difference Expert vs Semi,
#: significant difference vs E, ##: significant difference vs I

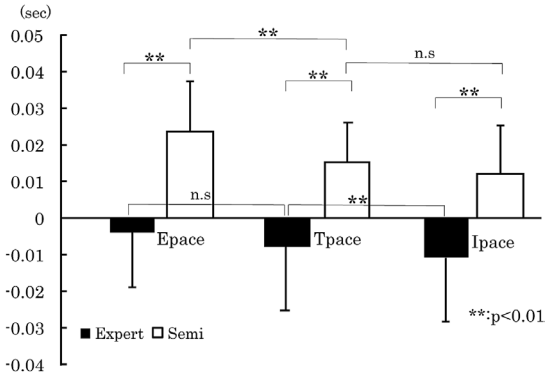


図3　各走速度での FSP における群間比較
Fig. 3 Group comparison in FSP at each running speed.

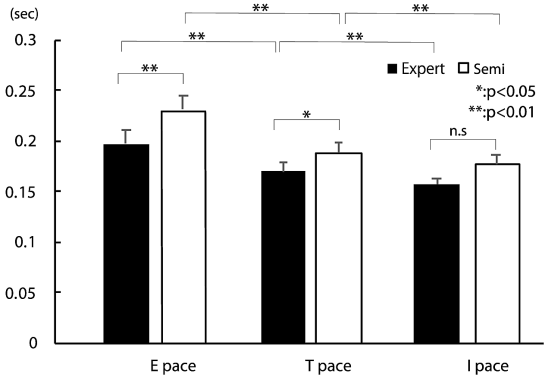


図4　各走速度での CT における群間比較
Fig. 4 Group comparison in CT at each running speed.

果が認められたとき、Bonferroni 法による多重比較検定を行った。また、競技レベルによる影響を確認するため、群間と走速度の二元配置分散分析を行った。それぞれ有意な主効果が認められた時、Bonferroni 法による多重比較検定を行った。長距離種目4種 PB（1500m、5000m、10000m、Half）と FSP および CT の関係を明らかにするため、Pearson の積率相関係数を用いて求めた。全ての統計学有意水準は5％未満とし、統計解析ソフト R（Ver.2.14.1プラットフォーム i386-apple-dorwind9.8.0）を用いた。

Ⅲ．結果

1．FSP・CT と走速度間の関係について

各走速度における FSP および CT の結果を表2に、群間における FSP および CT の走速度の増大に伴う変化を図3、図4に示した。全ての被験者を対象としたとき、走速度の増大に伴い FSP および CT の値に有意な減少が認められた。FSP および CT に交互作用は認められなかった。走速度の増大に伴って、FSP では Expert 群で E pace と I pace、T pace と I pace に、semi 群で、E pace と T pace、E pace と I pace にそれぞれ有意な減少が認められた。群間では CT における I pace での走速度を除いた各走速度に有意な差が認められ、Expert 群は各走速度で負の値、semi 群では正の値が認められた。

2．FSP・CT と長距離走各種目 PB 間の関係について

FSP および CT と長距離走各種目 PB の相関係数を表3に、I pace での走速度のときの長距離走各種目 PB との関係を図5、図6に示した。長距離走各種目 PB と FSP では、1500m および5000m と各走速度に、FSP では、5000m および10000m と各走速度において有意な正の相関関係が認めら

表3　各種目 PB と FSP および CT との関係
Table 3 Relationship between various PB, FSP and CT.

	FSP			CT		
	E pace	T pace	I pace	E pace	T pace	I pace
1500m	0.50 (0.06)	0.45 (0.09)	0.43 (0.11)	0.66** (<0.01)	0.68** (<0.01)	0.60* (<0.05)
5000m	0.66** (<0.01)	0.59* (<0.05)	0.57* (<0.05)	0.68** (<0.01)	0.62* (<0.05)	0.56* (<0.05)
10000m	0.55* (<0.05)	0.51* (<0.05)	0.52* (<0.05)	0.34 (0.22)	0.33 (0.23)	0.42 (0.12)
hafe	0.44 (0.10)	0.43 (0.11)	0.37 (0.18)	0.27 (0.32)	0.43 (0.11)	0.49 (0.06)

* : p<0.05 ** : p<0.01

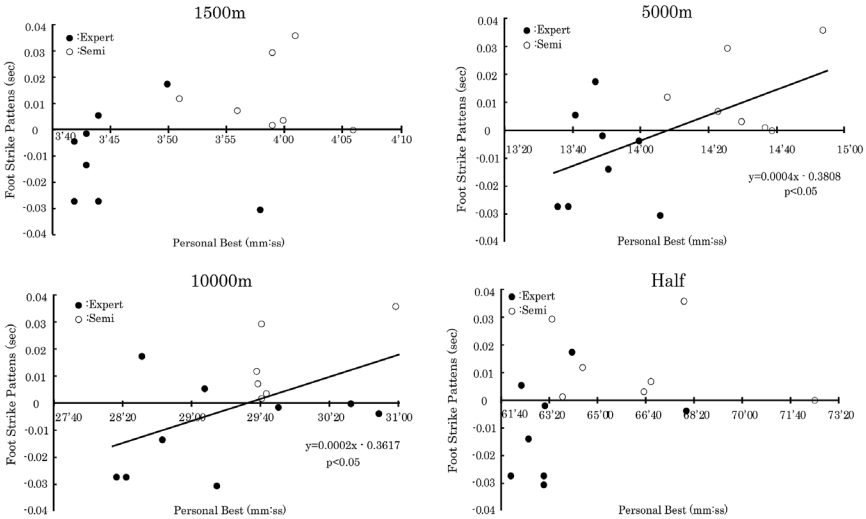


図5　各種目 PB と FSP との相関
Fig. 5 Relationship between each PB and FSP.

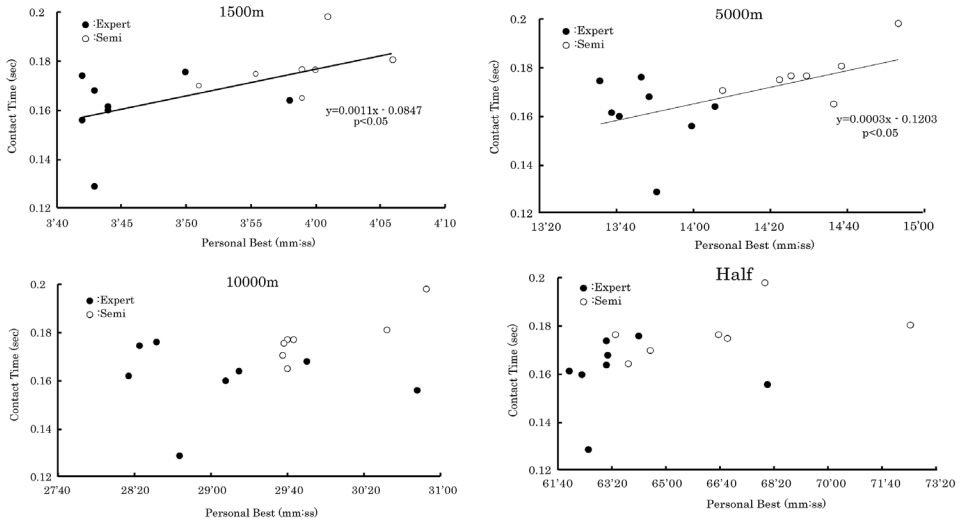


図6　各種目 PB と CT との相関
Fig. 6 Relationship between each PB and CT.

れた。

Ⅳ．考察

本研究の被験者は、大学生長距離選手の中でも箱根駅伝のメンバー選出された選手を Expert 群とその他を Semi 群とみなした。表 1 に示してある Expert 群において5000mPB の平均は13'48" 6 ±9"7であり IAAF Score に換算すると1038.4 ± 33.8. であった。エリート水準とされる IAAF Score1000ポイントを超えていることから能力を有しているといえる。semi 群においても5000mPB の平均は14'31"0 ± 13"4であり、IAAF Score で901.1 ± 42.5であったことからエリートに準ずる能力を有していたといえるであろう。長距離ランナーとして高い競技力を有し、狭い競技間でその差を検討することは大きな意味があったであろうと考えられる。

1．走速度と各指標の関係

すべての被験者を対象としたとき、走速度増大に伴い FSP および CT は有意に減少した。このことは、FSP および CT は速度に依存して変化することを示唆し、走速度増大につれて FFS に移行し、地面との接地時間が短くなることを示した。また、競技レベル別に Expert と Semi に群分を行ったところ FSP および CT に交互作用は認められなかった。群間における走速度による影響は、Expert 群において FSP では、T pace から I pace の速度にかけて FFS の値へ移行することが認められた。一方、semi 群では、E pace から T pace にかけて FFS へと移行しているが、T pace から I pace 有意差は認められなかった。このことから Expert 群においてレースに近い走速度になると動作をより変化させていると考えられ、semi 群では、速い速度の変化に上手く対応出来ていないのではないかと考えられる。CT においては群間に関係なく、両群で有意な減少が認められた。長距離走では、下肢の Stretch-shortening cycle exercise（SSC）の遂行能力がパフォーマンスを向上させる事が認められており[9), 10)]、接地の際に下肢の筋・腱複合体による弾性エネルギーの貯蔵と再利用が効果的に機能すれば走の経済性が高まることが示唆されている[11)]。つま先側からの接地では、足関節底屈位で地面からの反力を受け、腓腹筋は伸長性収縮の状態となり、その後、離地の際に短縮性収縮が起こる事によって SSC を動員していることが推察される。また、FSP、CT は有意な正の相関関係 r = 0.714（p < 0.01）が認められ、丹治ら[12)] の先行研究を支持する結果となり、つま先から接地する FFS を獲得することで、CT が減少される可能性が示唆された。Expert 群の中でも若干名 RFS 優位の接地の被験者が存在し、彼らは3000mSC（Steeple Chase）において高いパフォーマンスレベルを有していた。走動作から跳動作に切り替える障害踏切局面では減速を強いられ[13)]、距離こそは短いものの91.4cm の障害を35回跳び越えるその競技特性により、他種目において記録が Expert であっても RFS 優位であったと考えられる。また、I pace における FSP の平均の値は Expert 群で -0.0065、semi 群では0.0197であった。対して Expert 群で顕著に FFS の値を示した選手は -0.0300、semi 群では0.0059であった。両被験者には共通点があり、箱根駅伝の 6 区の正選手もしくは控えであった。箱根駅伝の 6 区は下り坂基調のコースとなり、20.8km 中の約13km を駆け下る。安ら[14)] は、鉛直方向の地面反力ピーク値は下り走行で平地より有意に大きく、ブレーキ作用がかかっていると報告をしており、FFS では地面反力において受動的な衝撃である第 1 ピークが小さいため突出した値を示したと考えられる[4)]。また同様に第92回大会に 6 区を走った選手の値も -0.0138となっており FFS 優位の選手は 6 区の適性がある可能性が示唆された。

2．FSP および CT と長距離パフォーマンスの関係

FSP では、5000m および10000m に有意な正の相関が認められた。FSP の値は速度に依存し低値

になることから、1500m において相関が予想されたが有意な相関は認められなかった。前田ら[15]は短距離走においてFSPの差異が疾走速度には大きく影響を与えないと考えられると報告しており、本研究の結果からFSPがパフォーマンスに影響を及ぼす臨界点は5000m以降であると示唆された。CTでは1500mと5000mの各走速度に有意な正の相関が認められ、1500mPBと5000mPBとの相関係数はr＝0.893（p＜0.01）であり、その関連性は高く、CTを減少させることが長距離走種目の中でも比較的短い距離である1500m、5000mにおけるパフォーマンス向上に重要だと示唆された。一方で、halfにおいては両指標共に相関が認められなかった。また、FSPでは10000mで有意な相関が認められたものの、距離の増大に伴いパフォーマンスの向上には他の要因が示唆された。

近年ランニング時の接地方法の考えは広く普及してきたもののどのようなトレーニングを行えば能力が向上するのか、実践的な研究は乏しい。今後は更なる研究と共に、より走動作に適したFSP、CTを検討し競技力の向上を目指すものとしたい。

Ⅴ．結言

本研究では、Expert群ではFFS、Semi群ではRFSのFSPであったことが明らかとなった。地面との接触時のCTが短いほど、1500mや5000mといった長距離種目の中でも比較的短い距離でより高いパフォーマンスに貢献する可能性があると考えられ、種目に応じて適したFSP、CTが存在する可能性が示唆された。

参考文献

1）Phil Hayes Foot strike patterns and ground contact times during high-calibre middle-distance races Journal of Sports Sciences, August; 30(12): 1275-1283 2012

2）H, Hiroshi. Y, Takeshi. K, William: FOOT STRIKE PATTERNS OF RUNNERS AT THE 15-KM POINT DURING AN ELITE-LEVEL HALF MARATHON. Journal of Strength and Conditioning, 21(3): 888-893, 2007

3）NHKスペシャル取材班. 善家賢：42.195kmを科学する. 角川書店. pp 98-99. 2013

4）阿江通良, 宮下憲, 大木昭一郎：スプリントの地面 反 力. Japanese Society of Physical Education. 39A(0), 370, 1988

5）河村庄造, 湯川治敏, 平井彰, 青山新輔, 松原真己：走行動作における下肢の関節モーメント・関節間力及び筋活動に関する研究（踵接地走法とつま先接地走法の比較）, 日本機械学論文集, Vol. 82, No 834, 2016

6）肥田直人, 石井慎一郎, 山本澄子：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. 理学療法科学. 31(6): 815-818, 2016

7）Spiriev B. IAAF scoring tables of athletics: 2017 revised edition. IAAF

8）Williams KR, Cavanagh PR. Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. J Appl Physiol; 63: 1236-1245 1987

9）Jack Daniels: Daniels' RUNNING Formula. ベースボール・マガジン社. pp 82-83. 2016

10）Komi, P.V: Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. Journal of Biomechanics 33 1197-1206, 2000

11）武田誠司, 石井泰光, 山本正嘉, 図子浩二：長距離ランナーにおけるランニングの連続跳躍による経済性の関係, 体力科学, 59, 107～118, 2007

12）Komi, P.V and Bosco, C.: Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. Medicine and science in sports Vol. 10 No. 4, 261-265, 1978

13）丹治史弥, 榎本靖士, 鍋倉賢治：中距離ランナーにおける高強度走行中のステップ変数と走の経済性. 体育学研究, 62: 523-534, 2017

14）伊藤章, 富樫勝：ハードル走のバイオメカニクス的研究スプリント走との比較. 体育学研究, 42(4): pp 246-260, 1997

15）安栽漢, 桜井伸二, 金興烈：さまざまな傾斜の路面を走るときの下肢筋活動の差異～平地, 上り, 下り, 左右斜面について ～体力科学56, 167～178, 2007

16）前田正登：短距離走における足の接地に関する
研究. スポーツ方法学研究. 12(1): 193-201. 1999