

男性長距離走選手の厚底 シューズ着用がランニング動作に 及ぼす影響の検討

Effect of Wearing Maximal Shoes on Running Motion in Male Long-distance Runners

植山剛裕*^{1,3}, 筒井俊春*², 上久保利直*¹, 後藤晴彦*^{1,4}
原由希菜*¹, 山口龍星*¹, 鳥居 俊*²

キー・ワード：running shoes, maximal shoes, running motion
ランニングシューズ, 厚底シューズ, ランニング動作

〔要旨〕 (目的) 厚底シューズは従来型シューズと比較して走行時のエネルギー効率を向上させると言われている一方、股関節障害の発生リスクが高くなると報告されている。本研究は厚底シューズと従来型シューズのランニング動作の違いを比較することを目的とした。

(方法) 対象は、大学男性長距離走選手 15 名とした。厚底シューズには Nike ZoomX Vaporfly Next% 2 を使用した。トレッドミル走行をハイスピードカメラで撮影し、接地時間、滞空時間、ステップ頻度、ステップ長と立脚期における各関節角度、角速度、角加速度を算出した。接地から離地までを 100 パーセント化し、5% ごとの値をシューズ間で比較した。

(結果) 厚底シューズは従来型シューズに比べ、接地時間を 2.3% 短縮、滞空時間を 6.4% 延長させた ($p < 0.05$)。また、厚底シューズは従来型シューズに比べ立脚終期の足関節底屈角速度が有意に小さく、股関節・膝関節の伸展角速度および股関節・膝関節・足関節の全ての関節の角加速度が有意に大きかった ($p < 0.05$)。

(結語) 厚底シューズは従来型シューズに比べ、接地時間の短縮、滞空時間の延長がみられ、立脚終期の股関節・膝関節・足関節の角加速度が大きいことが示された。厚底シューズによる立脚終期の股関節・膝関節・足関節の角加速度の増大は、推進期における各関節のトルクの増大が示唆される。

1. 緒言

近年、陸上競技の長距離種目において、高反発素材のミッドソールにカーボンファイバープレートが埋め込まれている厚底シューズ（以下、厚底シューズ）が注目を集めている。2017 年には厚底シューズを着用した選手が非公認のフルマラソンのレースで 2 時間切りに挑み、2018 年以降は厚底

シューズを着用した選手が相次いで日本記録や世界記録を更新している。また、川崎ら¹⁾によると、厚底シューズの着用率は 2019 年の第 95 回箱根駅伝では 37.8% だったのに対し、2020 年の第 96 回箱根駅伝では 93.3% と増加している。2020 年の箱根駅伝では区間記録や総合記録の更新が相次ぎ、厚底シューズは記録更新のために必須になりつつあるといえる。また、厚底シューズとパフォーマンスの関係については、厚底シューズの着用によって最大下の走速度におけるエネルギー消費量により評価されるランニングエコノミー (Running Economy: 以下, RE) の向上が多数報告されている²⁻⁴⁾。したがって以上を踏まえると、厚底

*1 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

*2 早稲田大学スポーツ科学学術院

*3 株式会社丸紅フットウェア

*4 国立スポーツ科学センター

Corresponding author: 鳥居 俊 (shunto@waseda.jp)

シューズはカーボンファイバープレートやミッドソールの反発性やクッション性によりランニングのパフォーマンスをアシストしていることが考えられる。

その一方で、ミッドソールの厚さの増加により立位時や歩行時の安定性の低下やランニング中の足部の動作への影響が示唆されている。先行研究^{5,6)}によると、ミッドソールの厚さや柔軟性の増加は立位や歩行時の安定性の低下を招くと報告されている。また、ミッドソールの厚さの増加により、ランニング中の離地時の足関節最大外反角度が増加するとの報告⁷⁾がある。さらに厚底シューズは、カーボンファイバープレートの剛性がMTP関節に対して働き、足関節の正や負の仕事の低下を起すとの報告⁸⁾がある。これらを踏まえると、厚底シューズは従来型シューズと比較し、シューズに近い足趾や足関節の動きに影響を及ぼすことが考えられる。

445名の長距離走選手を対象とした厚底シューズ着用者における障害調査⁹⁾によると、厚底シューズ着用期間外に比べ着用期間内では特に股関節障害の発生が多くなることが報告されている。また、厚底シューズは従来型シューズや薄底シューズとは立脚後期の後足部、脛骨および膝関節間の下肢協調性パターンが異なることが先行研究¹⁰⁾より報告されている。したがって、カーボンファイバープレートやミッドソールの厚さによる反発性やクッション性の増加は、従来型シューズとは異なる影響を足部以外のランニング動作にも及ぼすと推測されるが、厚底シューズによるランニング動作への影響について報告した文献は限定的である。記録更新のために厚底シューズの着用が必須になりつつある中で、それに伴うランニング障害の発生機序を検討することは必要不可欠である。したがって本研究は、男性長距離走選手における厚底シューズ着用と従来型シューズ着用のランニング動作の相違を各関節の動きに注目して明らかにすることを目的とした。

2. 対象および方法

1) 対象

対象は、長距離種目を専門とする男性長距離走選手のうち、下肢にランニング障害を有さない者15名(年齢 20.0 ± 1.5 歳, 身長 169.4 ± 3.6 cm, 体重 55.2 ± 3.4 kg, 5000m パーソナルベスト 15:07 ±

0:25)を対象とした。なお、15名中14名が厚底シューズの着用経験があった。また、厚底シューズの着用経験がない対象者1名は、試技前に厚底シューズを着用しランニングの練習を行った。本研究は早稲田大学の「人を対象とした研究に関する倫理審査委員会」にて承認を得て実施した(承認番号:2020-271)。また、対象者には本研究の内容や目的を説明し、同意を得た上で測定を行った。

2) 課題試技

対象には十分なウォーミングアップ後、走行試技を実施させた。なお、ランニング動作測定時の走速度は対象者の通常のジョギングより速いペース(14.7 ± 0.5 km/h)とし、ウォーミングアップ中に対象者に設定させた。実験は、2種類のシューズ(従来型シューズおよび厚底シューズ)を無作為の順番で着用させ、各シューズのタイプにおけるランニング動作を測定した。従来型シューズはミッドソールにカーボンファイバープレートが埋め込まれておらず厚底ではない被験者持参のランニングシューズを使用し、厚底シューズはNike ZoomX Vaporfly Next%2(ナイキ社)を使用した。走行試技ではトレッドミル(ランニングマシン)トレッドミル R-16, イグニオ)上を設定した速度で3km 走行させた。走行試技撮像のため、トレッドミルの左右斜め前後にハイスピードカメラ(GigE Vision カメラ Ecam, 株式会社 Q'sfix; RX-100PRO, カシオ計算機)を設置し、240Hzで0km, 1km, 2km, 3km 時点の計4時点にて4秒間撮像した。なお、解析区間はシューズに対して慣れが生じる2km 時点¹¹⁾に撮像したランニング動作のうち、右足における立脚期4歩分を対象とした。

股関節・膝関節・足関節および骨盤の運動挙動を解析するために、マーカーを両面テープにて各ランドマークに貼付した。貼付位置は体幹6カ所(左右肩峰, 胸骨上縁, 剣状突起, 第七頸椎, 第八胸椎), 骨盤4カ所(左右上前腸骨棘, 左右上後腸骨棘), 下肢5カ所(左右大転子, 膝関節内側裂隙, 膝関節外側裂隙, 腓骨頭), 足部8カ所(内果, 外果, アキレス腱付着部, 踵骨下端内側, 踵骨下端外側, 第1中足骨頭, 第5中足骨頭, 靴先), 計23カ所とした。なお、足部のマーカーはシューズの上から貼付した。

3) 分析方法ならびに変数の算出方法

動画のデータの分析には3次元ビデオ動作解析ソフト(Frame-DIAS V, 株式会社 DKH)を使用

表 1 時空間パラメータ

	単位	厚底シューズ 着用時	従来型シューズ 着用時	p 値
接地時間	秒	0.193±0.012*	0.198±0.012	p=0.032
滞空時間	秒	0.173±0.200*	0.162±0.016	p=0.024
ステップ頻度	step/s	2.751±0.137	2.778±0.094	p=0.053
ステップ長	m	1.456±0.100	1.439±0.105	p=0.054

* : p<0.05 (統計解析：厚底シューズ vs 従来型シューズ)

した。トレッドミルの左右斜め前後の4方向から撮像した動画データをFrame-DIAS Vに取り込み、立脚期右足4歩分における、身体各部位に貼付したマーカー23点の位置をデジタル化し、3次元DLT法によって実座標値を得た。トレッドミル上に、進行方向に向かって左斜め後方の角を原点(O)とするグローバル座標系(X, Y, Z軸)を作成した。Y軸はトレッドミル後方から進行方向に向けられたベクトル、Z軸は鉛直方向のベクトル、X軸はY軸とZ軸とのそれぞれに対して垂直に交差するベクトルと定義した。なお、得られた座標系から時空間パラメータと下肢関節キネマティクスを算出した。算出方法は以下の通りである。

i) 時空間パラメータ

・接地時間、滞空時間

接地時間は、足部が床面に接地した瞬間から、離地した瞬間までの時間を算出した。また、滞空時間は、離地した瞬間から次の足が接地した瞬間までの時間を算出した。

・ステップ頻度

ステップ頻度は、1ステップにかかった時間(接地時間と滞空時間の和)の逆数とした。

・ステップ長

ステップ長は、疾走速度(14.7±0.5km/h)をステップ頻度で除して算出した。

ii) 下肢関節キネマティクス

股関節屈曲伸展角度は、右大転子から右肩峰に向かうベクトルと右大転子から膝関節外側裂隙に向かうベクトルのなす角度から算出した。膝関節屈曲伸展角度は、膝関節外側裂隙から右大転子に向かうベクトルと膝関節外側裂隙から外果に向かうベクトルのなす角度から算出した。足関節底屈背屈角度は、外果から膝関節外側裂隙に向かうベクトルと外果から第5中足骨頭に向かうベクトルになす角度から算出した。なお、この関節角度は

矢状面に投影した角度であり、解剖学的立位姿勢である股関節180°・膝関節180°・足関節90°より小さい値を屈曲・背屈、大きい値を伸展・底屈として算出した。骨盤水平回旋角度は、グローバル座標系のX軸に平行な単位ベクトルに対する、左上前腸骨棘から右上前腸骨棘に向かうベクトルのなす角度から算出した。正の値が後方回旋、負の値は前方回旋を示す。また骨盤水平回旋角度の対象数は、マーカーが追えなかった対象が多かった理由から8人となった。関節角速度は関節角度を時間で数値微分することにより算出し、伸展・底屈方向への変化を正、屈曲・背屈方向への変化を負と定義した。また、関節角加速度は関節角速度を時間で数値微分することにより算出した。これらの数値は、接地から離地までを100パーセント化し、5%ごとの代表値を求めて、シューズ間で5%ごとに比較した。

4) 統計解析

シューズのタイプによるランニング動作の違いを検討するため、時空間パラメータおよび立脚期の5%ごとの下肢関節キネマティクスについて、ウィルコクソンの符号付順位検定を用いてシューズ条件間で比較した。統計処理にはSPSS Statics 27 (IBM社製)を用い、有意水準は危険率5%未満とした。

3. 結果

i) 時空間パラメータ

厚底シューズは従来型シューズに比べ、接地時間を2.3%有意に短縮、滞空時間を6.4%有意に延長させた(p<0.05)。しかし、ステップ頻度やステップ長はシューズのタイプ間で有意な差はみられなかった(表1)。

ii) 下肢関節キネマティクス

・角度変化(図1)

立脚期の70%から90%の区間で厚底シューズ

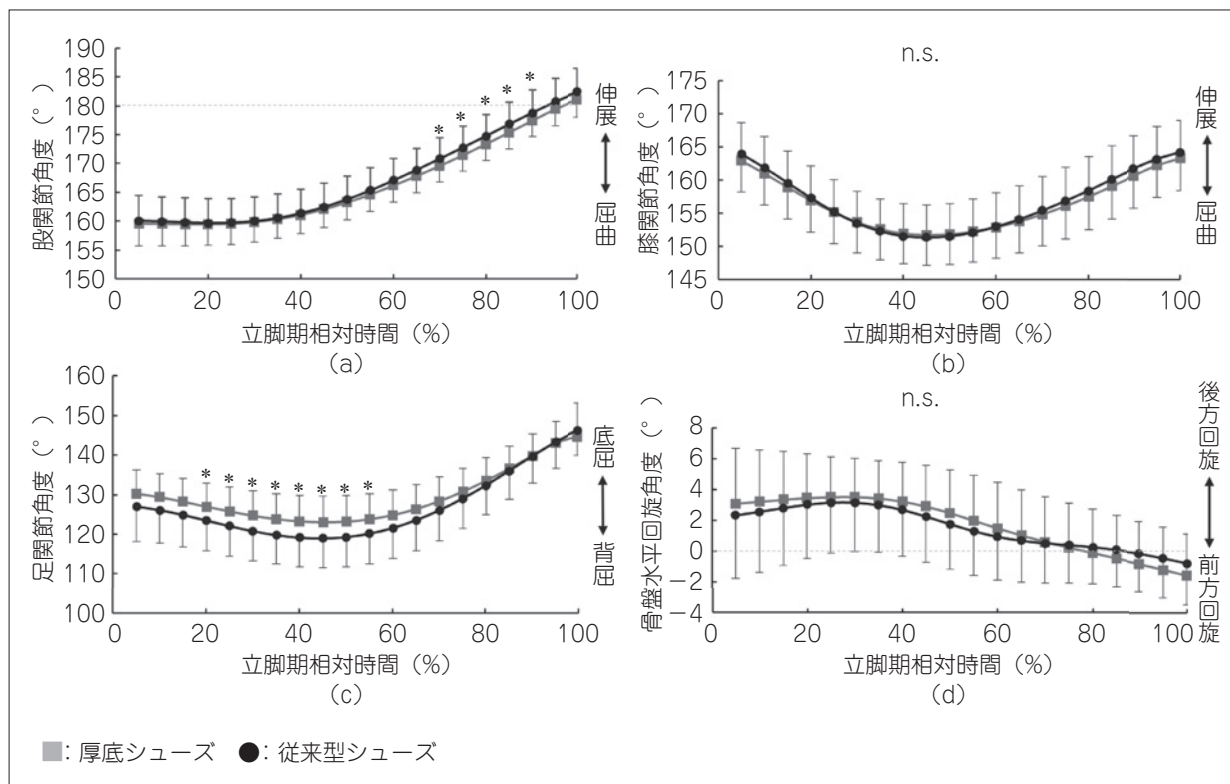


図1 厚底シューズと従来型シューズ間の立脚期における各変数の角度変化：(a) 股関節角度，(b) 膝関節角度，(c) 足関節角度，(d) 骨盤水平回旋角度
 *：p<0.05（統計解析：厚底シューズ vs 従来型シューズ）

は従来型シューズに比べ股関節屈曲角度が有意に小さかった (p<0.05)。また、20% から 55% の区間で厚底シューズは従来型シューズに比べ足関節底屈角度が有意に大きかった (p<0.05)。

・角速度変化 (図2)

90% から 100% の区間で厚底シューズは従来型シューズに比べ股関節伸展角速度が有意に大きかった (p<0.05)。また、厚底シューズは従来型シューズに比べ膝関節伸展角速度が55% から 80% の区間で有意に小さく、90% から 100% の区間で有意に大きかった (p<0.05)。さらに、60% から 90% の区間で厚底シューズは従来型シューズに比べ足関節底屈角速度が有意に小さかった (p<0.05)。

・角加速度変化 (図3)

厚底シューズは従来型シューズに比べ股関節角加速度が30% から 35% の区間で有意に小さく、65% から 90% の区間で有意に大きかった (p<0.05)。また、30% から 50% の区間で厚底シューズは従来型シューズに比べ膝関節角加速度が有意に小さく、70% から 100% の区間で有意に大きかった (p<0.05)。さらに、85% から 100% の区間で厚

底シューズは従来型シューズに比べ足関節角加速度が有意に大きかった (p<0.05)。

4. 考察

厚底シューズは股関節障害の発生リスクを増大させると報告があるが、厚底シューズによるランニング動作への影響について報告した文献は限定的である。そこで本研究では、男性長距離走選手における厚底シューズ着用がランニング動作に及ぼす影響を検討するため、股関節・膝関節・足関節および骨盤の挙動を従来型シューズ着用時と比較した。

厚底シューズは従来型シューズに比べ、接地時間を2.3%短縮させ、また滞空時間を6.4%延長させた。厚底シューズはREを4%^{3,4)}、フルマラソンのタイムを2%向上させる²⁾という報告があり、疾走速度の増加は、接地時間を短縮させ、ランニング中の接地時の衝撃力を1.5倍から2倍にすると報告¹²⁾されている。さらに、Hunterら¹³⁾は滞空時間が長くなるとステップ長が長くなることを示しており、豊嶋らは¹⁴⁾ステップ長が長いストライド優位の走法は、同程度の疾走速度のピッチ走法よ

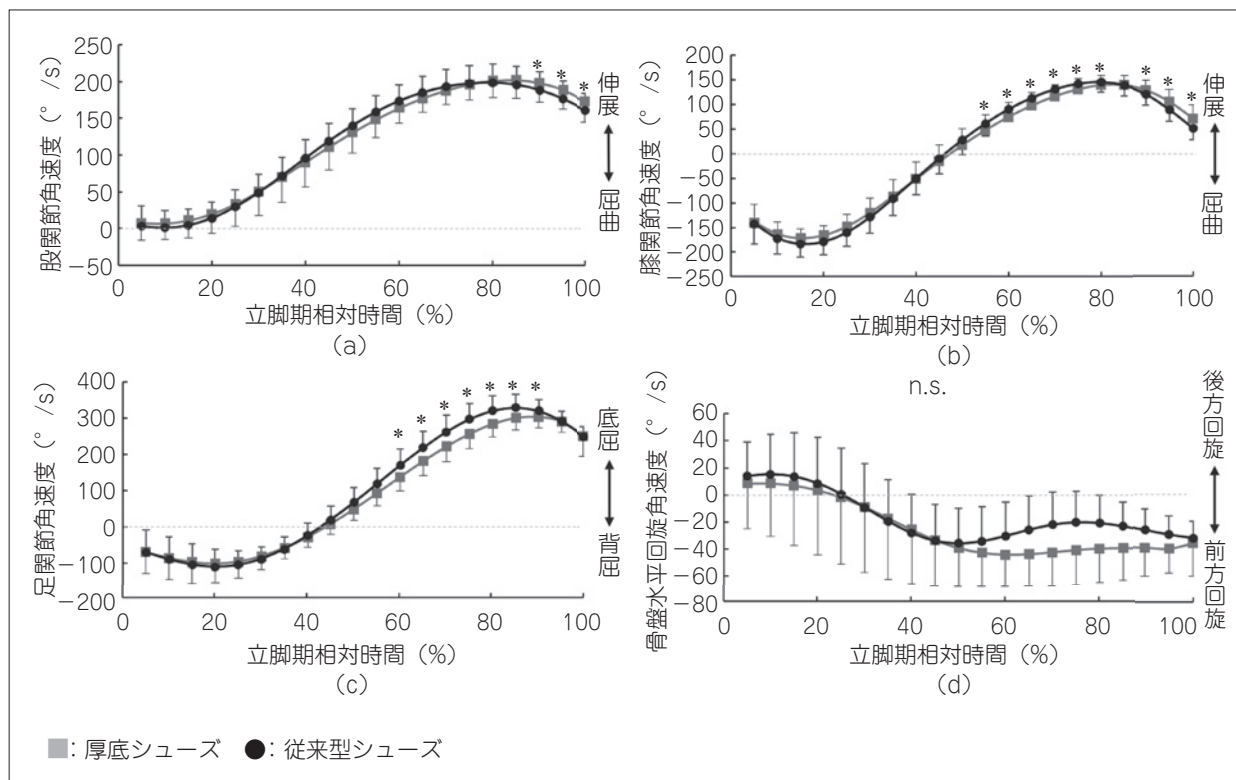


図2 厚底シューズと従来型シューズ間の立脚期における各変数の角速度変化：(a) 股関節角速度，(b) 膝関節角速度，(c) 足関節角速度，(d) 骨盤水平回旋角速度
* : $p < 0.05$ (統計解析：厚底シューズ vs 従来型シューズ)

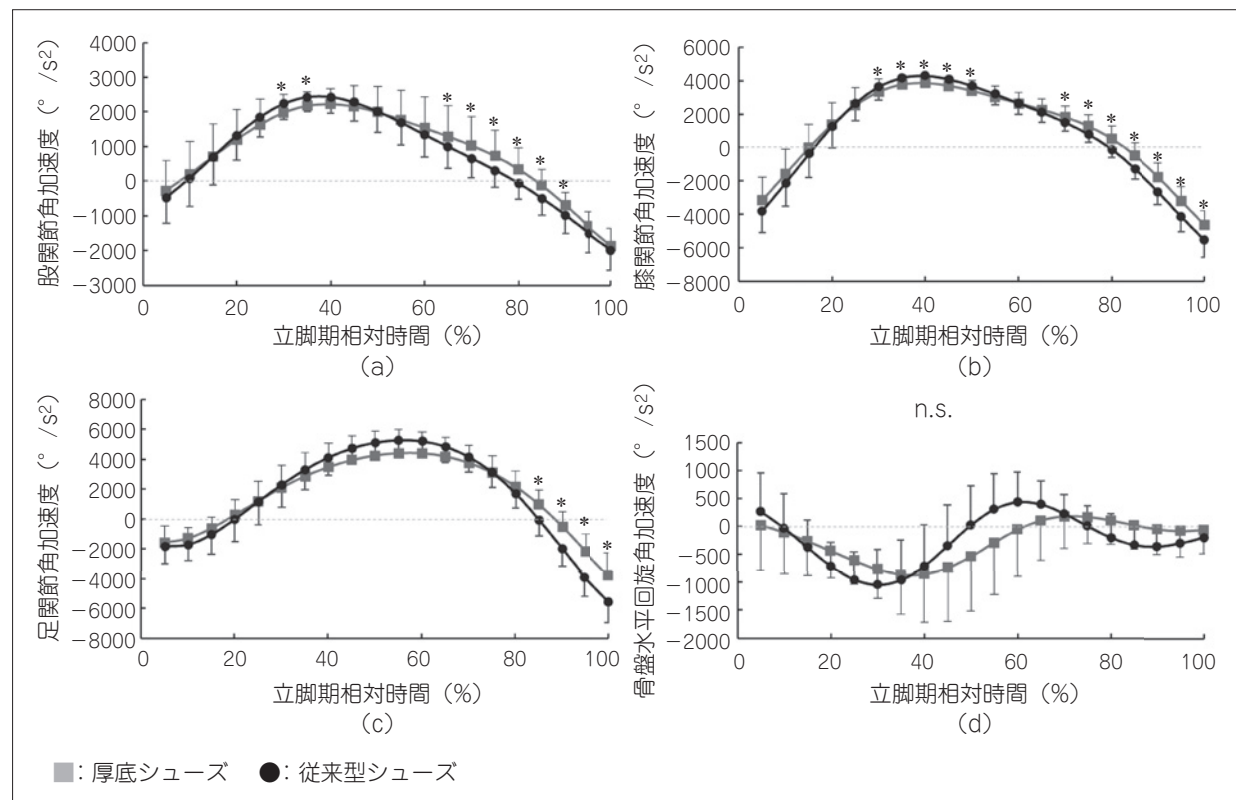


図3 厚底シューズと従来型シューズ間の立脚期における各変数の角加速度変化：(a) 股関節角加速度，(b) 膝関節角加速度，(c) 足関節角加速度，(d) 骨盤水平回旋角加速度
* : $p < 0.05$ (統計解析：厚底シューズ vs 従来型シューズ)

り地面反力ピーク値および力積の鉛直成分を大きくすると報告している。したがって、厚底シューズは従来型シューズに比べ、同一の走速度であってもランニング中の接地時の衝撃力を大きくすると考えられる。

立脚終期において厚底シューズは従来型シューズに比べ足関節の底屈角速度が小さく、股関節・膝関節の伸展角速度および股関節・膝関節・足関節の全ての関節の角加速度が大きい結果となった。立脚中期から立脚後期は、推進期と呼ばれるフェーズである^{15,16)}。厚底シューズは、この推進期の股関節・膝関節・足関節の角速度や角加速度に影響を及ぼすことが示された。Hoogkamerら⁸⁾は、厚底シューズは従来型シューズに比べ足関節の正や負の仕事や仕事率、足関節モーメントを減少させると報告しており、足関節に対するカーボンファイバープレートのテコの作用が足関節における筋力発生の代謝コストを減少させると示唆している。また、角加速度はトルクを慣性モーメントで除して求められる。シューズを変えても股関節および膝関節の慣性モーメントは一定であるため、トルクが大きくなるにつれ角加速度が増加すると考えられ、厚底シューズによる股関節・膝関節・足関節の角加速度の増大は推進期の各関節のトルクが大きくなったことによると推測される。植山ら⁹⁾は、厚底シューズ着用期間内は着用期間外に比べ特に股関節障害の発生が多くなると報告している。これらを踏まえると、厚底シューズ着用によりランニング中の足部の動作効率が向上した一方、接地時の衝撃力増大と推進期の股関節部における伸展角速度や角加速度の増大が相俟って、股関節障害の発生リスクの増大に繋がると考えられる。

本研究の限界として、ランニング動作の違いをキネマティクス的分析のみで実施している点や実際の路面における走行ではなくトレッドミルでの研究である点、厚底シューズの種類が単一である点や症例数が少なく対象者が男性のみである点、従来型シューズを統一できなかった点が挙げられる。また、本研究の結果から各関節にかかる負荷を算出する必要性が示唆されたため、今後フォースプレートなどを用いた測定が必要とあると考えられる。

5. 結語

男性長距離走選手に対して厚底シューズの着用がランニング動作に及ぼす影響を検討した。その結果は以下のようにまとめられる。

厚底シューズは従来型シューズに比べ、

- ①接地時間の短縮, 滞空時間の延長がみられた。
- ②立脚終期の股関節・膝関節・足関節の角加速度が大きかった。

厚底シューズによる立脚終期の股関節・膝関節・足関節の角加速度の増大は、推進期における各関節のトルクの増加が示唆される。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反なし。

著者貢献

Takehiro Ueyama: Conceptualization; Date curation; Formal analysis; Investigation; Methodology; Project administration; Visualization; Writing original draft. Toshiharu Tsutsui: Supervision; Writing-review & editing. Toshinao Kamikubo: Investigation. Haruhiko Goto: Methodology; Supervision; Writing-review & editing. Yukina Hara: Investigation. Ryusei Yamaguchi: Investigation. Suguru Torii: Supervision; Writing-review & editing.

文 献

- 1) 川崎勇二. 箱根駅伝の記録についての一考察. 中央学院大学人間・自然論叢. 2021; 50: 3-18.
- 2) Senefeld JW, Haischer MH, Jones AM, et al. Technological advances in elite marathon performance. *Journal of Applied Physiology*. 2021; 130: 2002-2008 doi: 10.1152/jappphysiol.00002.2021.
- 3) Hoogkamer W, Kipp S, Frank JH, et al. A Comparison of the energetic cost of running in marathon racing shoes. *Sports Medicine*. 2018; 48: 1009-1019 doi: 10.1007/s40279-017-0811-2.
- 4) Hébert-Losier K, Finlayson SJ, Driller MW, et al. Evidence of variable performance responses to the nike 4% shoe: definitely not a game-changer for all recreational runners. 2020; doi: <http://dx.doi.org/10.31236/osf.io/ctavy>.
- 5) Robbin S, Gouw GJ, McClaran J. Shoe sole thickness and hardness influence balance in older men. *Journal of the American Geriatrics Society*. 1992; 40: 1089-1094 doi: 10.1111/j.1532-5415.1992.tb01795.

- x.
- 6) Robbins S, Waked E, Gouw GJ, et al. Athletic footwear affects balance in men. *British Journal of Sports Medicine*. 1994; 28: 117-122 doi: 10.1136/bjsm.28.2.117.
 - 7) Hannigan JJ, Pollard CD. Differences in running biomechanics between a maximal, traditional, and minimal running shoe. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2020; 23: 15-19 doi: 10.1016/j.jsams.2019.08.008.
 - 8) Hoogkamer W, Kipp S, Kram R. The biomechanics of competitive male runners in three marathon racing shoes: a randomized crossover study. *Sports Medicine*. 2019; 49: 133-143 doi: 10.1007/s40279-018-1024-z.
 - 9) 植山剛裕, 筒井俊春, 上久保利直, 他. 男性長距離走選手の厚底シューズの着用がランニング障害に及ぼす影響. *日本臨床スポーツ医学会誌*. 2022; 30: 758-763.
 - 10) Borgia B, Freedman SJ, Becker J. Joint coordination when running in minimalist, neutral, and ultracushioning shoes. *Journal of Sports Sciences*. 2020; 38: 855-862 doi: 10.1080/02640414.2020.1736245.
 - 11) Sanno M, Epro G, Brüggemann GP, et al. Running into fatigue: the effects of footwear on kinematics, kinetics, and energetics. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2021; 53: 1217-1227 doi: 10.1249/MSS.0000000000002576.
 - 12) 阿江通良, 横井孝志, 宮下 憲, 他. 疾走中の地面反力の変化: 疾走速度の増大による影響. *日本体育学会大会号*. 1984; 35: 381 doi: https://doi.org/10.20693/jspeconf.35.0_381.
 - 13) Hunter JP, Marshall RN, Mcnair PJ. Interaction of step length and step rate during sprint running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2004; 36: 261-271 doi: 10.1249/01.MSS.0000113664.
 - 14) 豊嶋陵司, 田内健二, 遠藤俊典, 他. スプリント走におけるピッチおよびストライドの個人内変動に影響を与えるバイオメカニクスの要因. *体育学研究*. 2015; 60: 197-208 doi: <https://doi.org/10.5432/jjpehss.14062>.
 - 15) Baur H, Divert C, Hirschi Müller A, et al. Analysis of gait differences in healthy runners and runners with chronic Achilles tendon complaints. *Isokinetics and Exercise Science*. 2004; 12: 111-116.
 - 16) Baur H, Müller S, Hirschi Müller A, et al. Comparison in lower leg neuromuscular activity between runners with unilateral mid-portion Achilles tendinopathy and healthy individuals. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2011; 21: 499-505 doi: 10.1016/j.jelekin.2010.11.010.

(受付: 2023年11月10日, 受理: 2024年10月10日)

Effect of Wearing Maximal Shoes on Running Motion in Male Long-distance Runners

Ueyama, T. ^{*1,3}, Tsutsui, T. ^{*2}, Kamikubo, T. ^{*1}, Goto, H. ^{*1,4}
Hara, Y. ^{*1}, Yamaguchi, R. ^{*1}, Torii, S. ^{*2}

^{*1} Graduate School of Sport Sciences, Waseda University

^{*2} Faculty of Sport Sciences, Waseda University

^{*3} MARUBENI FOOTWEAR INC.

^{*4} Japan Institute of Sports Sciences

Key words: running shoes, maximal shoes, running motion

[Abstract] Wearing maximal shoes is reported to increase the risk of developing hip joint disorders compared to wearing traditional shoes. This study aimed to clarify this by comparing running movements. The participants included 15 male collegiate long-distance runners. Maximal shoes were used Nike ZoomX Vaporfly Next%2. Treadmill running was filmed with a high-speed camera, and spatiotemporal parameters, joint angles, angular velocity, and angular acceleration were calculated during the stance phase were compared between shoes. Maximal shoes shortened the stance time by 2.3% and extended the flight time by 6.4% comparison to traditional shoes ($p < 0.05$). Additionally, compared to traditional shoes, maximal shoes significantly decreased ankle plantar flexion angular velocity at terminal stance, while significantly increasing the extension angular velocity of the hip and knee joints and the angular acceleration of all joints (hip, knee, and ankle) ($p < 0.05$). Maximal shoes were shown to affect spatiotemporal parameters in running, increasing the angular acceleration of all joints at terminal stance. The increase in the angular acceleration of each joint at terminal stance due to maximal shoes suggests an increase in torque at each joint during the propulsive phase.