



長距離走の接地局面における下肢の三次元動作分析

高橋, 昌宏
前田, 正登
野村, 治夫
柳田, 泰義

(Citation)

神戸大学発達科学部研究紀要, 8(1):241-253

(Issue Date)

2000-09

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/81000402>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/81000402>



長距離走の接地局面における下肢の三次元動作分析

高橋 昌宏*, 前田 正登**, 野村 治夫**, 柳田 泰義**

3-Dimensional Motion Analysis of Lower Limb in Making Contact with the Ground during Long Distance Running

Masahiro TAKAHASHI*, Masato MAEDA**, Haruo NOMURA**,
and Yasuyoshi YANAGIDA**

1. 緒言

長距離走に限らず、陸上競技の走種目は、スタート地点からゴール地点までの区間において、自分自身の身体の移動に要した時間を競うものである。長距離走で自分自身の身体を短時間で移動させるため、すなわち良い記録を出すためには、高い走速度を長時間維持することが必要であり、記録の良い長距離選手は、このような要求を満たす走技術を身につけていると考えられる。したがって、記録の良い選手とそうでない選手の動作の相違を明らかにすることは、長距離走における合理的な動きを知るために意義のあることであろう。

従来の研究において、短距離走の走技術に関するもの（宮下ら、1986；伊藤ら、1992；深代ら、1999など）は多いが、中長距離走に関するもの（榎本ら、1999など）はそれほど多くはない。Cavanagh（1977）は、長距離選手のelite群とgood群における走動作の差を明らかにしている。また、Correa（1989）は、長距離選手の走速度の増加に伴う下肢動作の変化を報告している。しかし、これらはトレッドミル上を走らせたものであり、実際の走路での走動作を分析したものではない。競技中の選手の走動作を分析したもの（榎本ら、1999など）はいくつか行われているが、これらの研究では世界と日本の一流選手の走動作を比較したもの（榎本ら、1997；湯、1997など）がほとんどである。さらに、これらの研究は、2次元動作分析を行い、走行中の身体重心の変化や各関節角度及び角速度の変化から走技術を検討したものがほとんどであり、3次元動作分析を行ったもの、そして下肢動作から接地技術を検討しているものは見当たらない。また、シューズのソールの厚さの違いが下肢動作に及ぼす影響を検討しているものも見当たらない。

本研究では、走速度やシューズのソールの厚さの違いが、走行時の下肢動作に及ぼす影響を検討し、長距離選手の接地技術を評価・検討することを目的とした。

2. 研究方法

2.1 実験方法

被験者は、表1に示すように大学陸上競技部所属の長距離種目を専門とする選手で、熟練者（5000mの記録：14分台）3名及び未熟練者（同：17分台）2名の計5名とした。

*神戸大学大学院総合人間科学研究科身体行動論講座（現：宮崎県立都城泉ヶ丘高等学校）

**神戸大学発達科学部身体行動論講座

（2000年4月26日 受付）
（2000年6月9日 受理）

走路は、Force Platform (KISTLER社製, #9287A) の埋め込まれた全天候型走路で約30mとした。被験者には裸足, マラソンシューズ, トレーニングシューズ (ジョギングシューズ) の3条件の下, 3種類の走速度 (ジョギングの速さ; 以下Jogging, 5000mレースの速さ; 以下Race, 5000mレースでのラストスパートの速さ; 以下Spurt) で走行を行い, カメラ側の足 (右足に相当) でForce Platformを踏むように指示した。

この際, 裸足は足の下にソールが全く無い状態, マラソンシューズは全体的にはほぼ一定の厚さで薄いソールがあるもの, トレーニングシューズはマラソンシューズよりソールが全体的に厚めで, ソールの前部と後部で厚さに差があるものとして設定した。

Force Platform付近での下肢動作を明らかにするために, 完全同期した4台のVTRカメラ (SONY社, 60fps) を用いて, 全身をくまなく撮影した。さらに, 詳細な足部の動きを見るために, 高速度VTR (HSV-400; nac社製, 200fps) を用いて足部のクローズアップを撮影した。

Force Platformからの信号は, 4台のVTR及び高速度VTRからのパルス信号とともに, A/D変換器を介して1.2kHzのサンプリング周波数でコンピュータに取り込んだ。

2.2 分析方法

収録されたForce Platformの信号から, 3分力 (被験者の前後方向, 左右方向, 鉛直方向) の地面反力を求めた。

本研究では, 動作分析として, DLT法を用いた。右脚における膝関節最大振り出し時から離地時までを対象に, 図1に示した左右の大転子, 右膝関節の内側と外側, 右足関節の内側と外側, 右踵点, 右腓側中足点, 右脛側中足点, 右足先点の10カ所に貼付したマーカーを測定点として, 4つの撮影した全身の映像から, 測定点が鮮明に確認できる2方向からの映像を用いてデジタイズを行った。従って, 測定点によってデジタイズに用いた映像は異なるが, 4台のカメラは同期しているので問題はない。そして, 3次元座標に変換した後, 膝関節及び足関節については内側と外側の中点を算出し, 分析に用いた。

分析項目は図2に示す, 腰スウィング角度 θ_H , 膝関節角度 θ_K , 足関節角度 θ_A , 脚スウィング角度 θ_L , 足先点と踵点とを結んだ直線と鉛直軸との角度 θ_{PL} , 腓側中足点と脛側中足点と結んだ直線と鉛直軸との角度 θ_{PS} , 腓側中足点と脛側中足点を結んだ直線と下腿との角度 θ_R の7項目とした。

また, 接地動作に関わる局面として, ①膝関節最大振り出し時 (以下, 膝振り出し時), ②足関節最大振り出し時 (同, 足振り出し時), ③Force Platformの鉛直方向の地面反力が出力されたとき (同, 着地時), ④Force Platformの鉛直方向の地面反力が初期ピークの時 (同, 初期ピーク時), ⑤Force Platformの鉛直方向の地面反力が2次ピークの時 (同, 2次ピーク時), ⑥Force Platformの前後方向の地面反力値がゼロのとき (同, 脚支持時), ⑦足が離地した時 (同, 離地時) の7局面を選定し, 考察の視点とした。なお, 膝振り出し時から脚支持時までを接地局面前半, 脚支持時から離地時までを接地局面後半とした。

表1 被験者の身体的特性

Subject	Height	Weight	Age	Best	
	(cm)	(kg)	(yrs)	Record	
Skilled	R.Y	176.0	56.8	23	14'59"6
	H.S	176.0	61.0	21	14'30"0
	K.S	167.0	52.2	20	14'42"0
Unskilled	J.M	175.0	56.1	22	17'04"7
	M.K	172.0	61.1	19	17'19"8

長距離走の接地局面における下肢の三次元動作分析

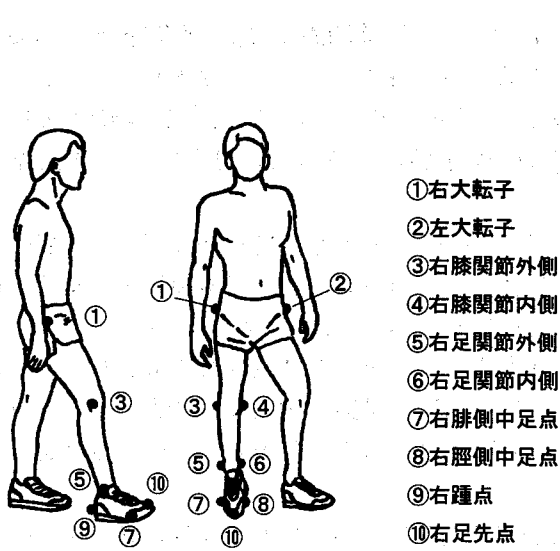


図1 マーカーを貼付した位置

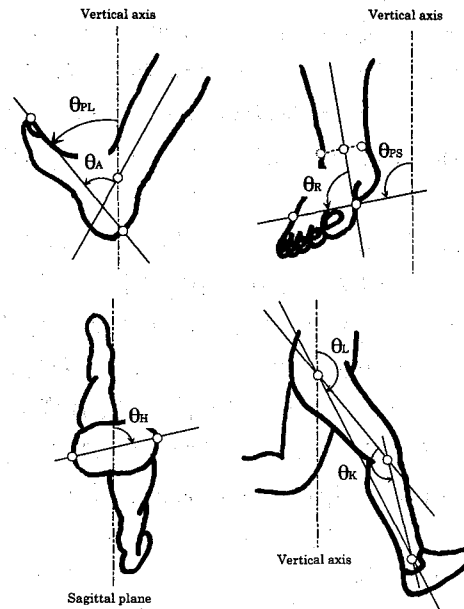


図2 分析項目とした角度の定義

3. 結果

ここでは、熟練者3名のうちK.Sの例と、未熟練者2名のうちJ.Mの例を対象に比較・分析を進めていくことにする。本研究で観察されたRaceでの接地様式及び地面反力と各関節角度 (θ_H , θ_K , θ_A , θ_L) について、マラソンシューズ装着時の例を図3に示す。また、角度 θ_A , θ_K , θ_L , θ_{PL} , θ_{RS} , θ_R の6項目については、時間局面として表2に示す局面における各角度を図4a~4b, 図5a~5b及び図6a~6bに、膝最大振り出し時から離地時までにおける脚スウィングの平均角速度を図7にそれぞれ示す。

表2 着地から各動作局面までに要した時間

		膝振り出し	足振り出し	着地	初期ピーク	2次ピーク	脚支持	離地
K.S	トレーニングシューズ Jogging	-0.12	-0.05	0	0.02	0.06	0.08	0.19
	トレーニングシューズ Race	-0.11	-0.04	0	0.01	0.05	0.07	0.16
	トレーニングシューズ Spurt	-0.13	-0.04	0	0.01	0.05	0.06	0.14
	マラソンシューズ Jogging	-0.12	-0.08	0	0.01	0.07	0.08	0.18
	マラソンシューズ Race	-0.15	-0.04	0	0.01	0.06	0.07	0.15
	マラソンシューズ Spurt	-0.13	-0.05	0	0.01	0.05	0.05	0.13
	裸足 Jogging	-0.15	-0.04	0	0.01	0.06	0.08	0.17
	裸足 Race	-0.18	-0.06	0	0.01	0.06	0.08	0.17
	裸足 Spurt	-0.15	-0.08	0	0.01	0.05	0.06	0.14
J.M	トレーニングシューズ Jogging	-0.16	-0.03	0	0.02	0.07	0.10	0.21
	トレーニングシューズ Race	-0.12	-0.04	0	0.02	0.07	0.08	0.19
	トレーニングシューズ Spurt	-0.08	-0.05	0	0.02	0.07	0.07	0.17
	マラソンシューズ Jogging	-0.17	-0.04	0	0.02	0.07	0.09	0.21
	マラソンシューズ Race	-0.17	-0.05	0	0.01	0.05	0.07	0.17
	マラソンシューズ Spurt	-0.14	-0.06	0	0.01	0.06	0.07	0.17
	裸足 Jogging	-0.17	-0.04	0	0.01	0.07	0.09	0.20
	裸足 Race	-0.10	-0.04	0	0.01	0.06	0.08	0.18
	裸足 Spurt	-0.12	-0.05	0	0.01	0.06	0.07	0.17

3.1 熟練者の場合

シューズ装着時において、足振り出し時から着地時にかけての時間間隔は、Race及びSpurtではJoggingよりも短くなっていた。対照的に、裸足時において走速度が速くなるほど、足振り出し時から着地時にかけての時間間隔は長くなっていた。また、着地時から初期ピーク時、脚支持時、離地時といった各局面までの時間間隔、及び脚支持時から離地時までの時間間隔は、走速度が速くなるほど短くなっていた。

Jogging及びRaceのとき、足関節角度 θ_A は、膝振り出し時から足振り出し時にかけてさほど変化しなかった。いずれの走速度条件においても、足関節角度 θ_A は、脚支持時から離地時に至るまでに最小の値を示しており、脚支持時以降は、足関節角度 θ_A の大きさにはさほど差はなかった。

膝関節角度 θ_K は、膝振り出し時から着地直前まで増加した後、脚支持時直後まで減少していた。これは、いずれのシューズ条件及び走速度条件においても共通して認められる傾向であった。着地前後の膝関節角度 θ_K は、走速度が速いほど小さくなる傾向が認められた。離地時における膝関節角度 θ_K は、Race及びSpurtの方がJoggingに比べて小さかった。

腰スウィング角度 θ_H は、いずれのシューズ条件及び走速度条件においても着地時以降、徐々に増加していた。脚スウィング角度 θ_L は、膝振り出し時から足振り出し時にかけてやや減少したが、着地時直前から増加に転じ、脚支持時において最大となった。

θ_{PL} は、膝振り出し時から足振り出し時にかけて減少していた。 θ_{PS} は、シューズ装着時、いずれの走速度においても、膝振り出し時から着地時にかけて増加を示し、その角度は85度以上であった。

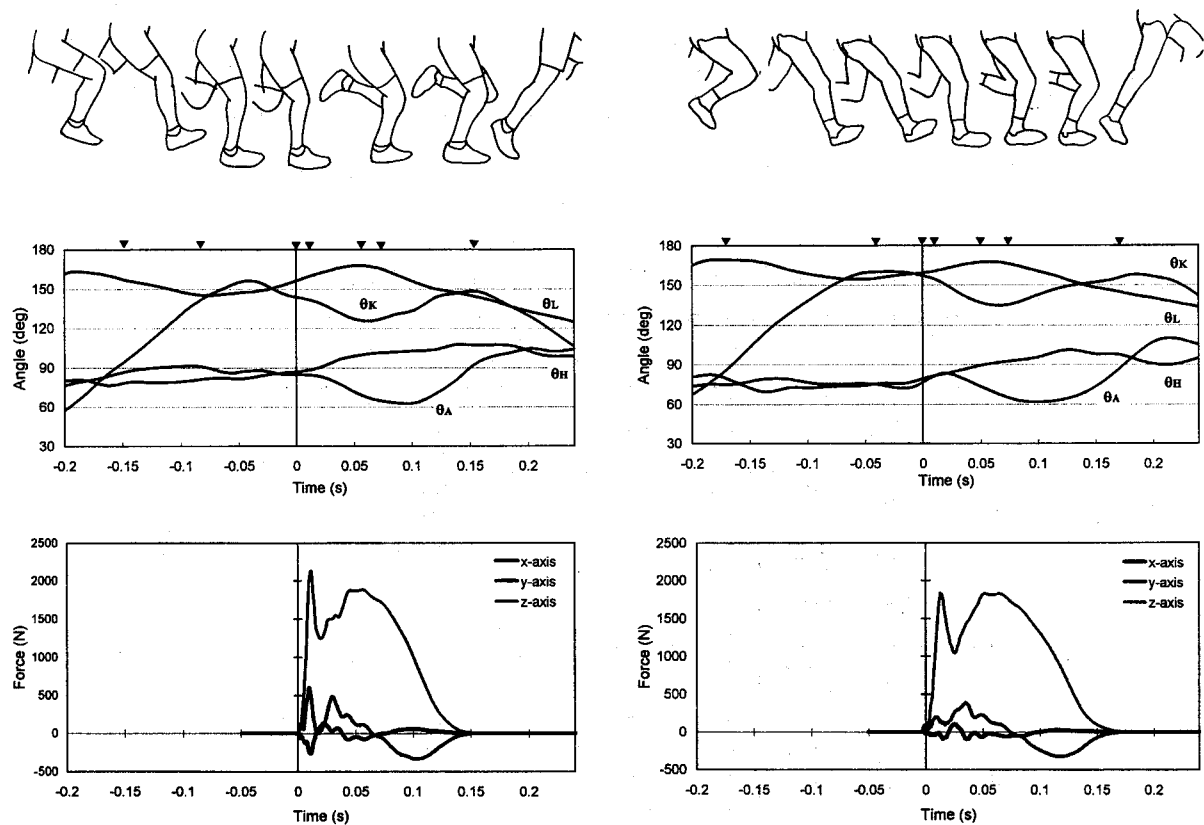


図3 Race時の接地様式、地面反力及び各関節角度 (マラソンシューズ装着時、左；熟練者、右；未熟練者)

長距離走の接地局面における下肢の三次元動作分析

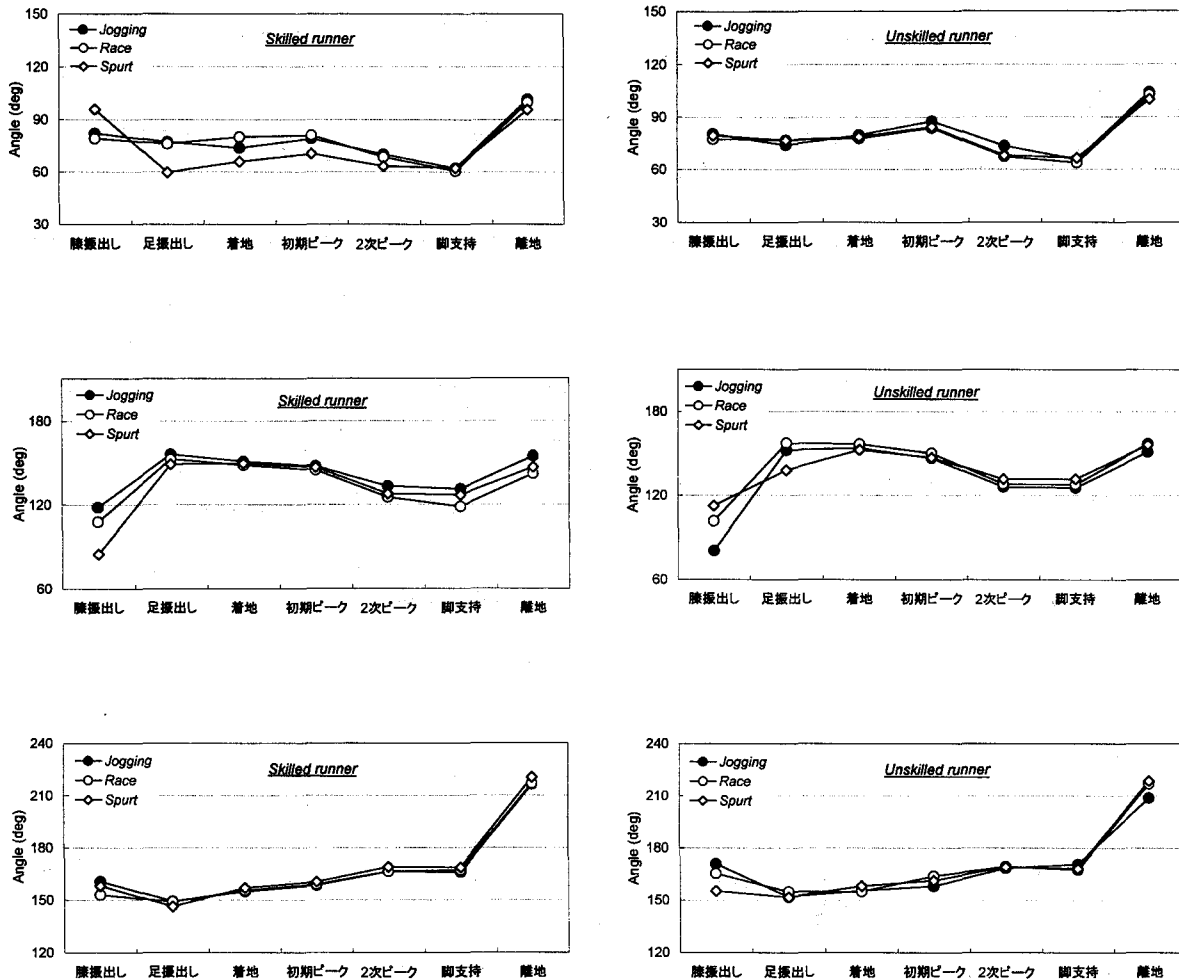


図4 a トレーニングシューズ装着時の各局面における各関節角度
(上から, θ_A , θ_K , θ_L を示す。)

θ_R は、足振り出し時から初期ピーク時にかけてさほど大きく変化しておらず、シューズ装着時、着地時までは90度以上の大きさであった。これは走速度にかかわらず共通して認められた。対照的に、裸足時において、足振り出し時以降、脚支持時まで θ_R は徐々に減少していた。

膝最大振り出し時から離地時までに脚スウィングの平均角速度は、いずれのシューズ条件においても、Joggingに比べてRace及びSpurtでは増加していた。また、シューズ装着時において、Jogging及びRaceでの脚スウィングの平均角速度は、未熟練者の平均角速度を大きく上回っていた。

3.2 未熟練者の場合

走速度が速くなるほど、膝振り出し時から着地時にかけての時間間隔は短くなり、足振り出し時から着地時にかけての時間間隔は長くなっており、膝振り出し時から足振り出し時までの時間間隔も短くなっていた。着地後の各局面までの時間間隔、及び各局面間の時間間隔は、走速度が速くなるほど短くなっていた。

足関節角度 θ_A は、いずれのシューズ条件及び走速度条件においても、膝振り出し時から着地時にかけてさほど大きな変化が認められず、初期ピーク時に一旦増加し、脚支持時から離地時に至るまでに最小となる傾向であった。

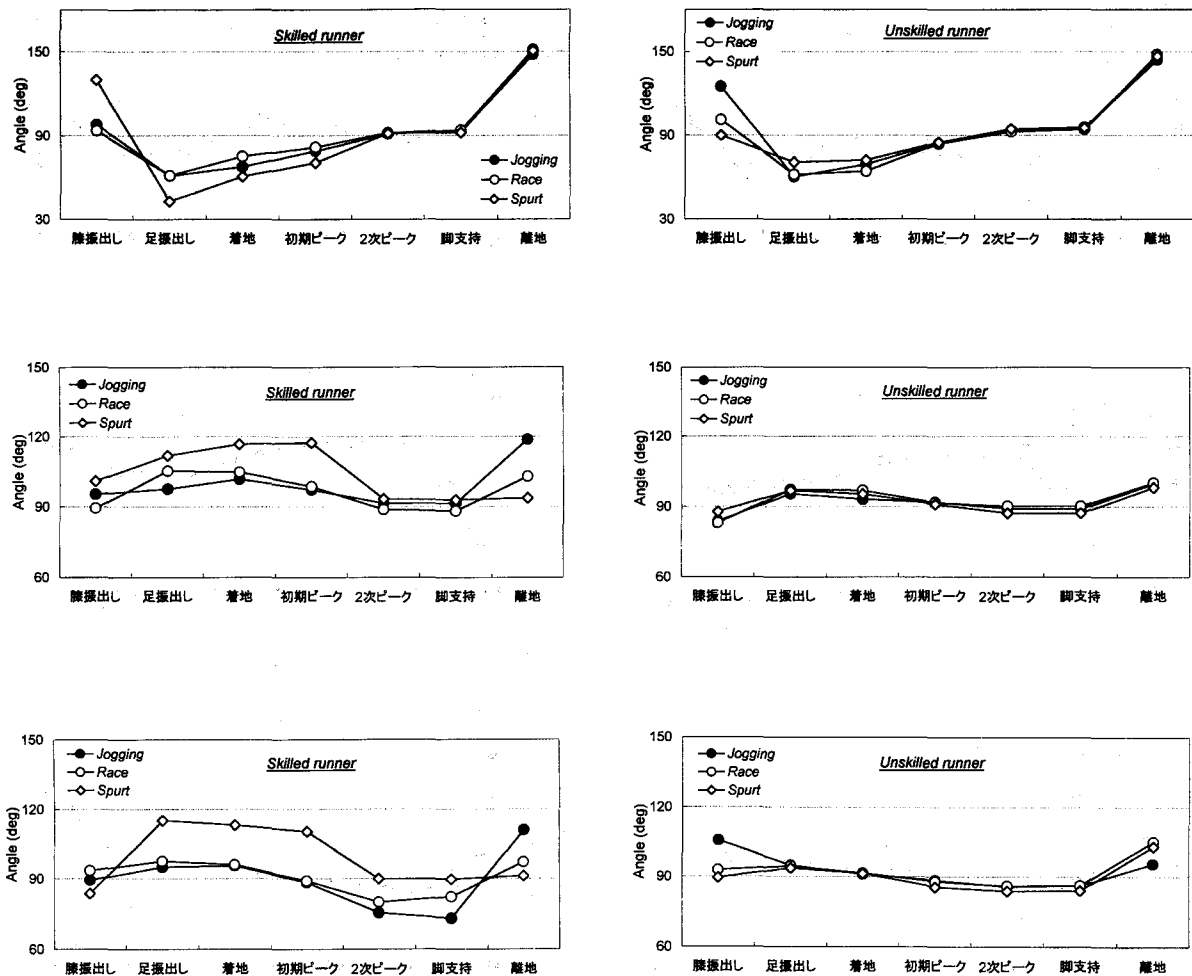


図4b トレーニングシューズ装着時の各局面における各関節角度 (上から, θ_{PL} , θ_{PS} , θ_R を示す。)

膝関節角度 θ_K の変化は、シューズ条件及び走速度条件の違いにかかわらず、熟練者と同様の傾向を示していた。しかし、足振り出し時から着地時にかけて、膝関節角度 θ_K は熟練者ほどの大きく増加していなかった。シューズ装着時において、着地時以降では、足関節角度 θ_A 及び膝関節角度 θ_K に関して、走速度の違いによる差はさほど認められなかった。

腰スウィング角度 θ_H は、着地時直前から離地時にかけて徐々に増加していた。脚スウィング角度 θ_L は、着地前から2次ピーク時にかけて増加していた。

θ_{PL} は、いずれのシューズ条件においても、膝振り出し時から足振り出し時にかけて大幅に減少し、着地時後は徐々に増加していた。また、足振り出し時から離地時にかけて、走速度の違いによる角度の差はさほどなかった。 θ_{PS} は、いずれのシューズ条件においても、膝振り出し時から足振り出し時にかけて増加していた。足振り出し時から着地時にかけての各局面での θ_{PS} 及び θ_R は、いずれのシューズ条件及び走速度条件においても、90度以上であった。

膝最大振り出し時から離地時までにおける脚スウィングの平均角速度は、走速度が上昇するにつれて増加していた。

長距離走の接地局面における下肢の三次元動作分析

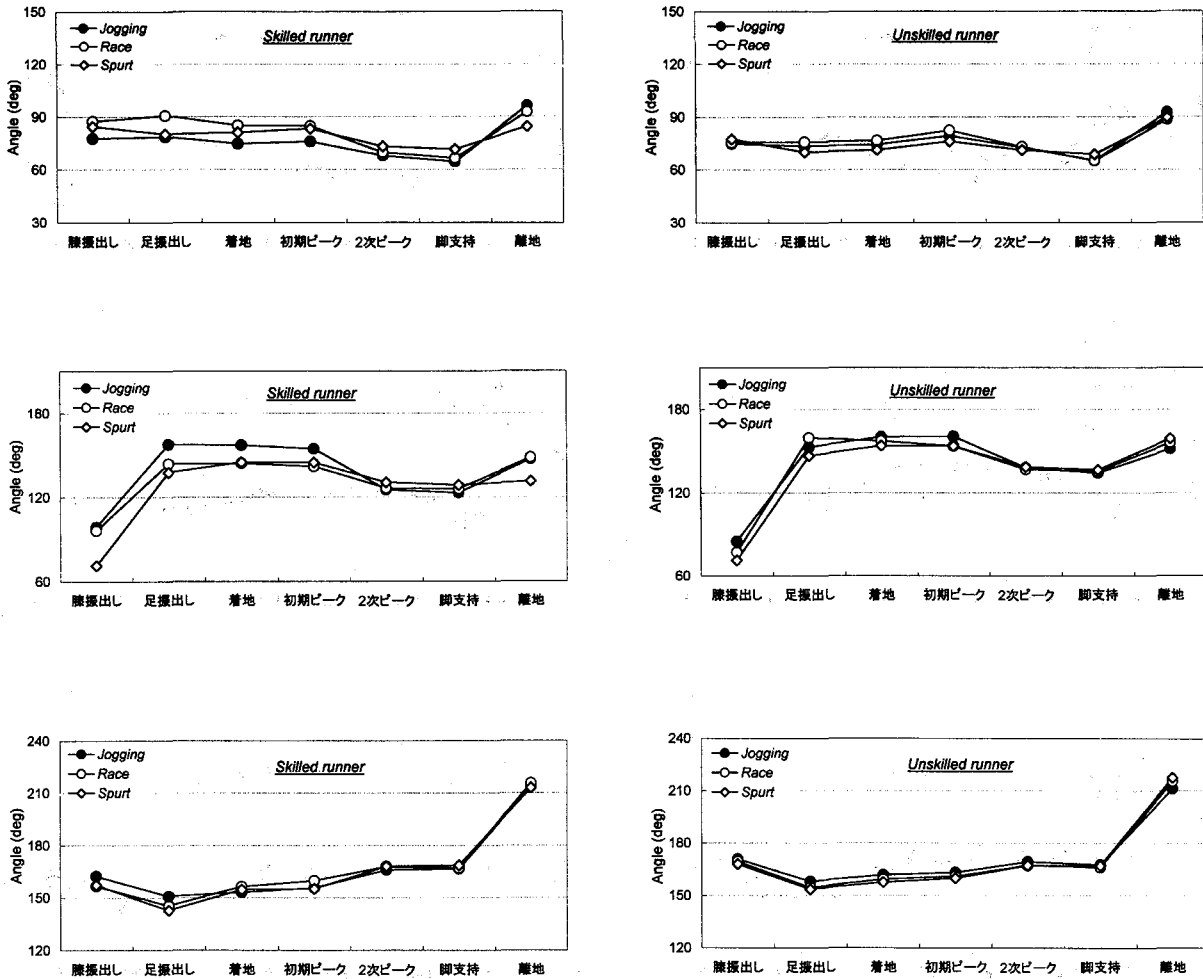


図5 a マラソンシューズ装着時の各局面における各関節角度
(上から、 θ_A 、 θ_K 、 θ_L を示す。)

4. 考察

4.1 各動作局面間に要する時間

着地前の局面に着目すると、未熟練者は、シューズ条件の違いにかかわらず、走速度が速くなるほど、足振り出し時から着地時にかけての時間間隔が長くなっていった。対照的に、熟練者は、シューズ装着時において、走速度が速くなるほど、足振り出し時から着地時にかけての時間間隔が短くなっていった。これは未熟練者が、膝振り出し時以降の着地に至るまでのあいだに、前方に振り出した下腿を引き戻すのに時間がかかっているものと考えられる。シューズ着用時という、実際の競技に近い状況下でこのような結果が認められたことにより、被験者の競技レベルにかなりの差があることが示唆される。

4.2 脚スウィングの平均角速度

熟練者においては、脚スウィングの平均角速度には、走速度条件が同一であれば、シューズ条件が変化しても、大きな差は認められなかった。すなわち、熟練者では、大まかな下肢の動きはシューズ条件に影響されないと考えられる。しかし、脚スウィングの平均角速度では足部の動きが含まれないので、下肢全体の動きに影響が全くないとは断定できない。

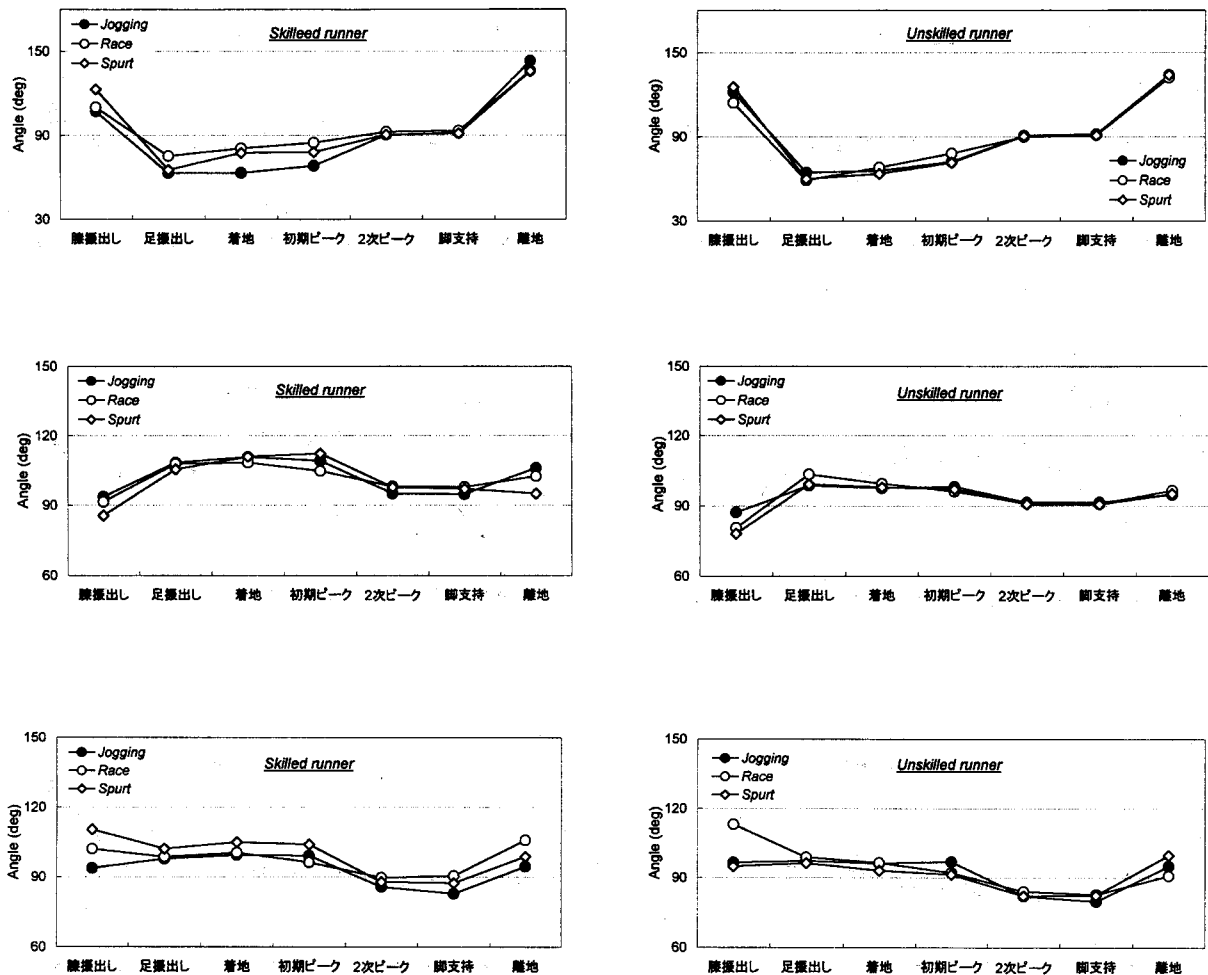


図5 b マラソンシューズ装着時の各局面における各関節角度 (上から, θ_{PL} , θ_{PS} , θ_R を示す。)

一方、未熟練者において、トレーニングシューズでのSpurtに比べてマラソンシューズ及び裸足でのSpurtでは、脚スウィングの平均角速度が著しく減少していた。すなわち、未熟練者では両者の下肢動作が異なっていると考えられる。

4.3 接地前半における脚動作

走運動では、1サイクルの中で脚の振り出しから振り下ろし、接地、蹴り上げという一連の動作が行われる。そのため接地動作には、その前後に行われる振り出し、振り下ろし、蹴り上げといった動作と密接な関係があると考えられる。

接地動作の最初の局面である着地に関しては、これまでにいくつかの研究が行われている。Cavanagh et al. (1980) は、長距離走において足のどの部分から着地しているかについて検討した際、対象となる選手の全員が、踵から着地する群、足の中央部で着地時する群に属していたと報告している。そして、Payne (1983) も、国際大会に出場した90名の選手について、フィルム分析から長距離選手では踵から着地する選手が多いことを報告している。また、飯本ら (1983) は、踵型 (rearfoot strike)、中間型 (midfoot strike)、つま先型 (forefoot strike) の3種類に分類し、着地直前の足関節角度が、足の着地の仕方に影響することを報告している。

長距離走の接地局面における下肢の三次元動作分析

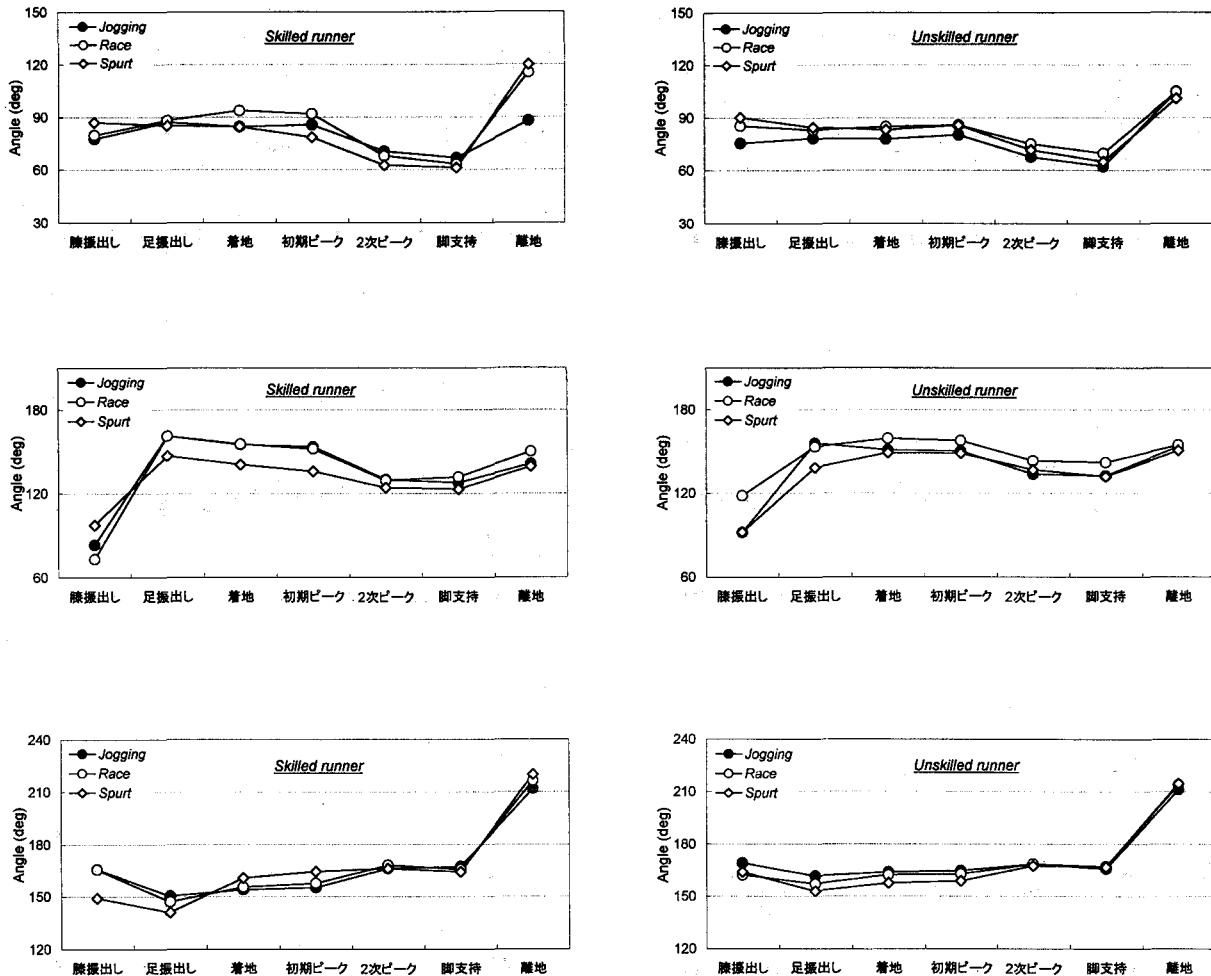


図 6 a 裸足時の各局面における各関節角度
(上から, θ_A , θ_K , θ_L を示す。)

足振り出し時から着地に至る着地直前付近に着目すると、いずれの条件においても、熟練者の脚スウィング角度は増加し、膝関節角度はほとんど変化しない傾向であった。未熟練者の脚スウィング角度は、熟練者と同様に、いずれの条件においても増加していたものの、膝関節角度も増加していた。これらの結果から、着地を迎えるにあたって熟練者は、いわゆる、脚をスウィングするように振り下ろす動作になっていると考えられる。さらに、着地時直後の初期ピーク時には、着地時に比べて脚スウィング角度はさらに増加し、膝関節角度は減少していた。これは、足振り出し時以降、脚をスウィングするように振り下ろして着地に至っていることを裏付ける結果であろう。

このように脚をスウィングするように動かしていること、また、着地時に足関節角度が90度を下回り、鋭角であったこと、 θ_{PL} がいずれの条件においても角度が増加していたことなどを考え合わせると、熟練者においては、走速度が速くなると、必ずしも踵から着地に至るとは限らず、踵よりも前、すなわち中足部や前足部から着地することもあり得るのではないだろうか。本研究の方法ではこれを判定することはできないが、熟練した競技者では、踵から着地に至っているように見えても、脚のスウィングによって、実際の着地時には既に中足部にまで進んでいる場合があることが推測される。このような場合、シューズのソールの厚さという要素を考慮すると、特に踵部におけるソールの厚さの

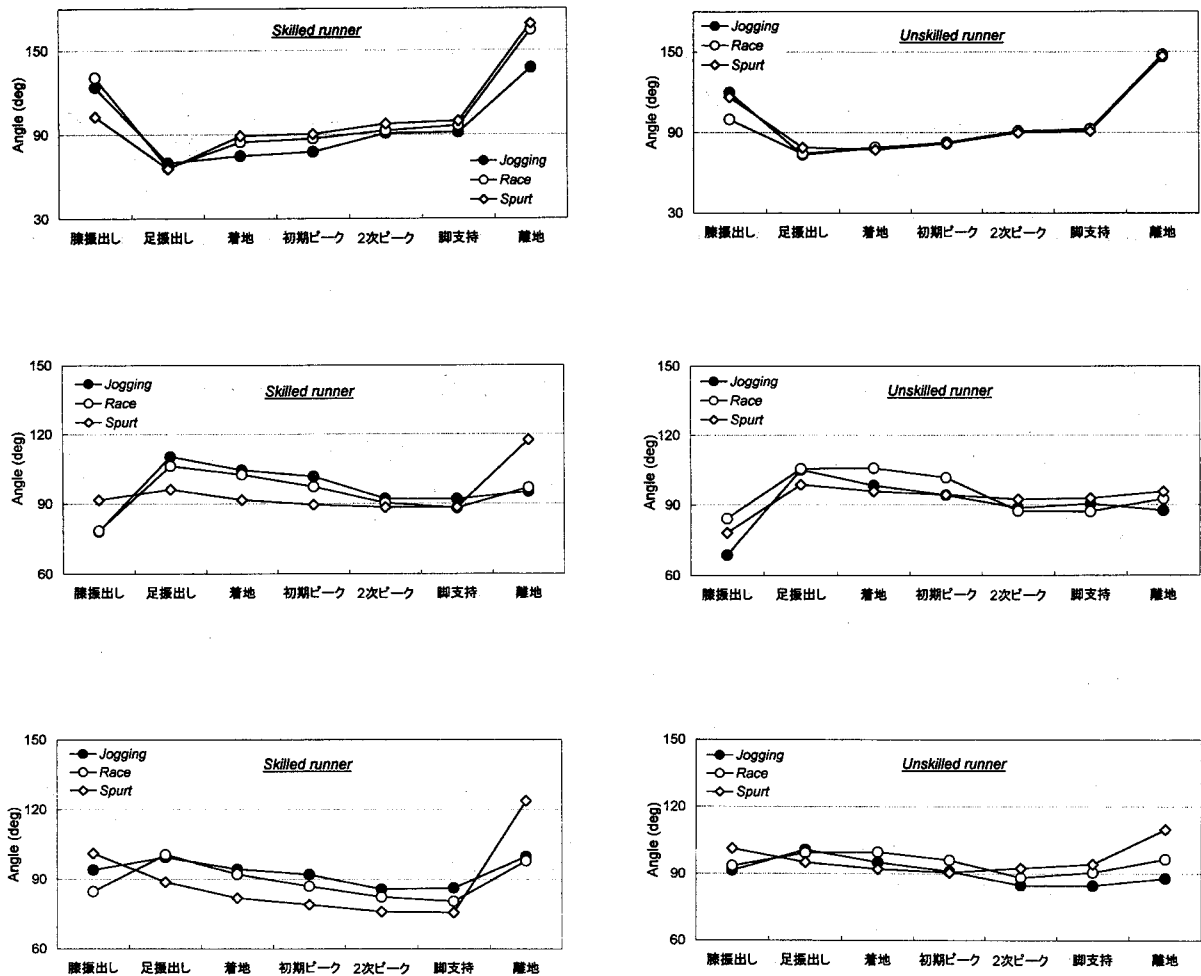


図6 b 裸足時の各局面における各関節角度 (上から, θ_{PL} , θ_{PS} , θ_R を示す。)

違いによって足底面の着地位置も変わり得ることが推察できる。

対照的に、未熟練者は、足振り出し時より膝関節を伸展させた状態で着地を迎えており、脚をスウィングするというよりは、むしろ下腿を振り出した後、踵を地面に下ろすように着地に至っているものと考えられる。さらに、足振り出し時と着地時における足関節角度に、さほど大きな差が認められないことから、未熟練者は足振り出し時における足関節角度を維持したまま、脚を地面に下ろして着地に至っている、すなわち、踵から着地に至っていることがわかる。

また、着地時の脚スウィング角度では、熟練者において、Race及びSpurtのときは、Joggingのときに比べて角度が大きくなる傾向が認められた。脚スウィング角度が大きいということは、より体幹の真下に近い位置で地面を捉えていることになる。熟練者では、このことにより着地後の体重移動をより円滑に行うことが可能になるのではないかと考えられる。対照的に未熟練者において、着地時の脚スウィング角度は、走速度が上昇するほど角度が小さくなっており、より体幹の真下から遠い位置で地面を捉えていることになる。こうした動きは、着地時にブレーキとなるのは明らかで、記録を向上するためにはマイナス要因となるであろうと考えられる。

近年、短距離走のバイオメカニクス研究から、パフォーマンスを左右する関節は股関節と足関節で

長距離走の接地局面における下肢の三次元動作分析

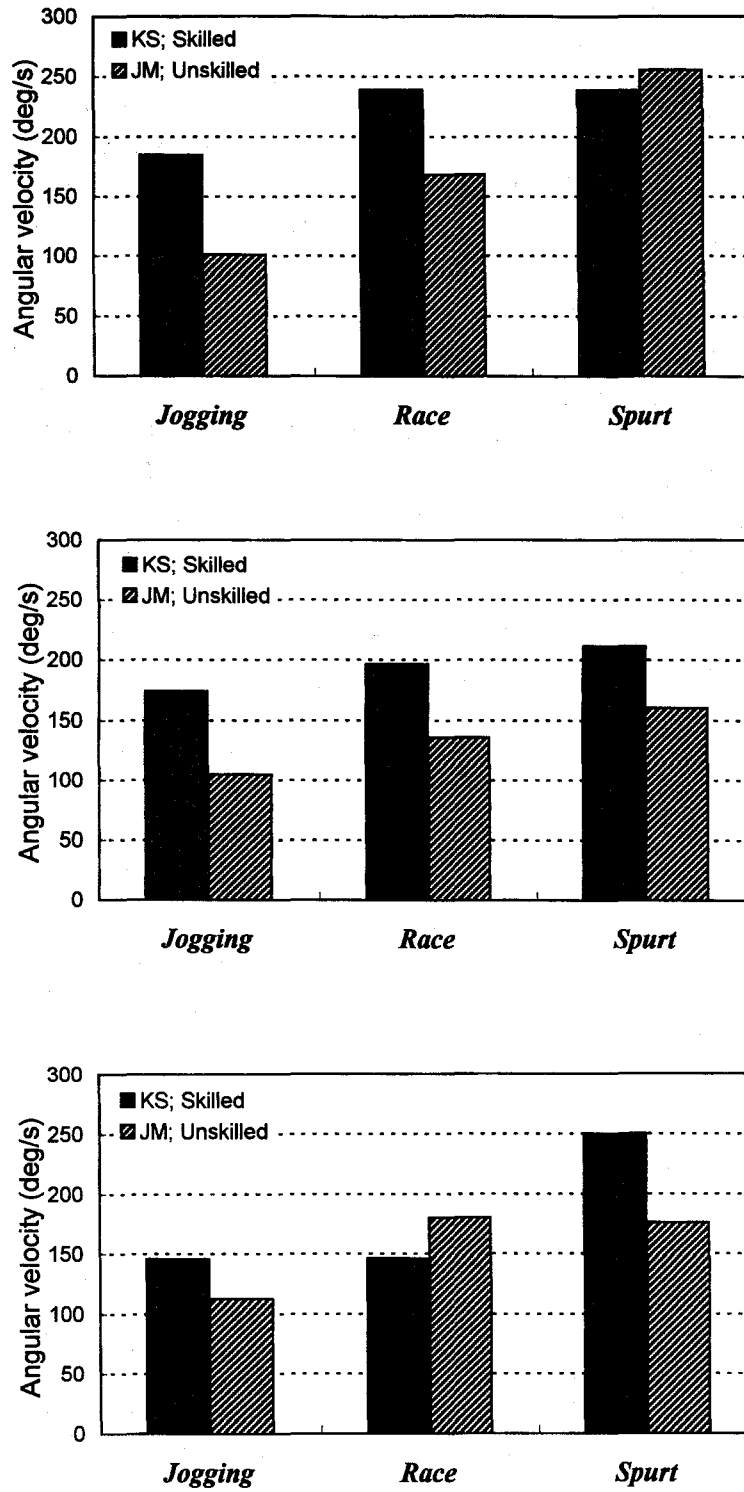


図7 膝最大振り出し時から離地時までにおける脚スウィングの平均角速度 (上から、トレーニングシューズ装着時、マラソンシューズ装着時、裸足時を示す。)

あると言われ、特に股関節の伸展・屈曲であるスウィング動作が重要であることが指摘されている(伊藤ら, 1997など)。長距離走と短距離走とは一見、走動作は異なったものと考えられがちであるが、動作の根本として、脚のスウィング動作が重要であるということは共通しているのではないだろうか。

足振り出し時から着地時にかけて、いずれの被験者においても、腓側中足点と脛側中足点とを結んだ直線と下腿とのなす角 θ_R は90度以上を示していた。このことから、足振り出し時から着地時にかけて後足部が回外していると考えられ、足底面外側が下がった状態で着地を迎えている(高橋ら, 2000)と推察される。また、シューズ装着時の方が裸足の場合に比べて θ_R の角度が大きくなるのは、後足部のソールの厚さの違いによって、着地時における地面と足底面との位置関係が変化することが影響していると考えられる。

4.4 接地後半における脚動作

離地時における膝関節角度に着目すると、熟練者では、走速度が速くなると、Race及びSpurtのときの方がJoggingのときに比べて膝関節角度は小さくなっていた。また、未熟練者では熟練者のような傾向が認められなかった。これは、離地時後の滞空期へ移行する際のスピードを生み出すための技術の違いによるものと考えられる。すなわち、全速疾走においては膝関節角度が増大すると、脚スウィング速度が減少する(伊藤ら, 1992)と言われており、本研究における熟練者も膝関節を伸展させてではなく、やや屈曲させた状態のまま前方へ進もうとしており、股関節を中心とした脚のスウィング動作の影響が現れていると考えられる。

また、離地時における足関節角度に着目すると、熟練者ではシューズ条件と走速度条件の違いによって角度に違いが認められた。それは、シューズ装着時には、走速度が速くなると足関節角度は小さくなる傾向があり、裸足の場合、足関節角度が大きくなる傾向があるというものであった。これらのことから、離地時の足関節角度の大きさには、シューズのソールの厚さと脚スウィング速度が影響しているものと考えられる。本研究ではシューズのソールの屈曲性まで検討してはいないが、ソールは厚いほど屈曲性が劣るであろうから、ソールの厚さまたはソールがあることにより足関節角度に差が生じたものと考えられる。さらに、離地時に足関節が伸展して足関節角度が大きくなると、接地時間が長くなり、脚スウィング速度の低下を招くと考えられ、脚スウィング速度の違いによって足関節角度に違いが生じたとも考えられる。裸足の場合、シューズ装着時と異なって、ソールの屈曲性の影響を全く受けまいであろうから、足の指部が離地時に地面に引っ掛かったような状態になり、このような結果が生じたものと考えられる。

5. 結 言

本研究では、走速度やシューズのソールの厚さの違いが、走行時の下肢動作に及ぼす影響を検討し、長距離選手の接地技術を評価・検討することを目的とした。

主な結果は、以下のとおりである。

1. 熟練者の着地時の足関節角度は、シューズ条件及び走速度の違いによって、必ずしも同程度の角度を示しているわけではなかった。対照的に、未熟練者の着地時における足関節角度は、シューズ装着時において、同程度の角度であった。
2. 未熟練者は、足振り出し時と着地時の足関節角度にさほど大きな差が認められなかった。しかし熟練者は、足関節角度がJoggingでは減少し、Race及びSpurtでは増加していた。
3. 熟練者における、着地時の脚スウィング角度は、Race及びSpurtのときの方がJoggingのときに比べて大きくなる傾向が認められた。
4. 熟練者では、シューズ条件と走速度条件の違いによって離地時における足関節角度に違いが認められたが、未熟練者では熟練者のような傾向が認められなかった。

長距離走の接地局面における下肢の三次元動作分析

長距離走における下肢動作は、熟練者においては、股関節を中心とした脚のスウィング動作、対照的に未熟練者においては、熟練者に比べて膝関節を屈曲・伸展する度合いが多い下肢動作を行っていると考えられ、そのような下肢動作の違いから、着地や離地の仕方などの接地動作は、ソールの厚さや走速度によって変化し得ることが示唆された。

参考文献

- Cavanagh, P.R. (1977) A biomechanical comparison of elite and good distance runners. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 301 : 328-345.
- Cavanagh, P.R. and LaFortune, M.A. (1980) Ground reaction forces in distance running. *J. Biomechanics* 13 : 397-406.
- Correa, S.C. (1989) A kinematics study of long distance running performed at different velocities in athletes of distinct degrees of skill. *Biomechanics XI-B*. pp630-634.
- 榎本靖士・阿江通良・藤井範久 (1997) 世界一流長距離選手の疾走フォームの特徴. 身体運動のバイオメカニクス. 195-199.
- 榎本靖士・阿江通良・藤井範久・鍋倉賢治 (1999) 長距離選手の記録向上と疾走動作の変化. バイオメカニクス研究概論. 224-228.
- 深代千之・石毛勇介・川本和久・原田康弘・岩本広明 (1999) スプリント走における脚のスウィング動作の評価. バイオメカニクス研究概論. 204-207.
- 飯本雄二・小林一敏・中田了 (1983) 足の着き方と着地時衝撃の関連性についての力学的研究. *東京体育学研究*. 10 : 31-34.
- 伊藤章・斎藤昌久・佐川和則・加藤謙一 (1992) ルイス, バレルと日本トップ選手のキック・フォーム. *Jpn. J. Sports Sci.* 11 : 604-608.
- 伊藤章・斎藤昌久・淵本隆文 (1997) スタートダッシュにおける下肢関節のピークトルクとピークパワー, および筋放電パターンの変化. *体育学研究*. 42(2) : 71-83.
- 宮下憲・阿江通良・横井孝志・橋原孝博・大木昭一郎 (1986) 世界一流スプリンターの疾走フォームの分析. *Jpn. J. Sports Sci.* 5 : 892-898.
- Payne, A.H. (1983) Foot to ground contact forces of elite runners. In : Matsui, H. and Kobayashi, K. (Eds.) *Biomechanics VIII-B*. Human Kinetics Publishers : Champaign. pp746-753.
- 高橋昌宏・前田正登・野村治夫・柳田泰義 (2000) 長距離選手における走行時の足底圧分布. *スポーツ産業学研究*.
- 湯海鵬 (1997) 機械的エネルギーからみた一流女子長距離ランナーの疾走フォームに関する研究—王軍霞選手と五十嵐選手の比較—. *Jpn. J. Sports Sci.* 16 : 127-132.

