

論文

児童の接地タイプによる疾走パフォーマンスの違い
Differences in the sprint performance of elementary school children
with different foot strike patterns

信岡沙希重^{1), 2)}, 樋口貴俊³⁾, 後藤悠太²⁾, 中田大貴⁴⁾, 磯繁雄⁵⁾, 彼末一之⁵⁾

¹⁾ 福岡大学スポーツ科学部

²⁾ 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

³⁾ 福岡工業大学社会環境学部

⁴⁾ 奈良女子大学生活環境学部

⁵⁾ 早稲田大学スポーツ科学学術院

Sakie Nobuoka^{1), 2)}, Takatoshi Higuchi³⁾, Yuta Goto²⁾, Hiroki Nakata⁴⁾,
Shigeo Iso⁵⁾, Kazuyuki Kanosue⁵⁾

¹⁾ Fukuoka University, Faculty of Sports and Health Science

²⁾ Waseda University, Graduate School of Sport Sciences

³⁾ Fukuoka Institute of Technology, Faculty of Socio-Environmental Studies

⁴⁾ Nara Women's University, Faculty of Human Life and Environment

⁵⁾ Waseda University, Faculty of Sport Sciences

キーワード: ランニング, 接地パターン

Key words: running, foot contact pattern

【抄 録】

本研究は、児童の接地タイプの実態と接地タイプによる疾走パフォーマンスに関する指標の違いを明らかにすることを目的とした。体力テストの 50m 走に参加した児童のうち、男子 334 名(第 1 学年 41 名, 第 2 学年 51 名, 第 3 学年 55 名, 第 4 学年 66 名, 第 5 学年 55 名, 第 6 学年 66 名)と女子 310 名(第 1 学年 48 名, 第 2 学年 47 名, 第 3 学年 45 名, 第 4 学年 60 名, 第 5 学年 48 名, 第 6 学年 62 名)の疾走動作を分析した。走路の 20m 地点から 30m 地点までの区間を撮影した高速度カメラの画像をもとに分析対象者の接地タイプ、接地時間、滞空時間、滞空比(滞空時間 / 接地時間)を求めた。また、パンニング撮影した画像をもとに、月齢から推定された最大速度との残差、下肢長による影響を補正したピッチ指数およびストライド指数を算出した。また、高速度ビデオカメラの映像から接地タイプを判別し、男子では踵接地タイプ 232 名, 中足部接地タイプ 82 名, 前足部接地タイプ 20 名で、女子では踵接地タイプ 269 名, 中足部接地タイプ 34 名, 前足部接地タイプ 7 名であった。各測定項目の接地タイプ間の比較には、一元配置分散分析ならびに多重比較として Tukey-HSD 法を用いた。解析の結果、男子児童においては、最大速度の残差とピッチ指数は、中足部接地タイプ(最大速度の残差: 0.14 ± 0.39 m/s (平均 \pm SD), ピッチ指数: 1.11 ± 0.06)および前足部接地タイプ(最大速度の残差: 0.35 ± 0.54 m/s, ピッチ指数: 0.13 ± 0.08)において、踵接地タイプ(最大速度の残差: -0.09 ± 0.44 m/s, ピッチ指数: 1.05 ± 0.07)よりも有意に高かった。女子児童においては、中足部接地タイプのピッチ指数(1.09 ± 0.06)は踵接地タイプ(1.04 ± 0.06)よりも有意に高く、前足部接地タイプのストライド指数(2.19 ± 0.26)は中足部接地タイプ(2.01 ± 0.14)および踵接地タイプ(2.02 ± 0.13)よりも有意に高かった。これらの結果から、踵接地タイプでは、ピッチ指数が低値であったことが、中足部接地タイプや前足部接地タイプよりも走速度が低かった原因の一つとして考えられる。しかし、より優位な走パフォーマンス指標を示した中足部接地タイプ

および前足部接地タイプの児童の割合は成人に比べて低かったことから、接地タイプは身体的発達や遊脚の接地動作などの要因の影響を受けることが考えられる。よって、児童のスプリント時の接地タイプは疾走能力に関連する指標であるが、指導するには脚動作や下腿の発達度に着目した接地動作へのアプローチが求められることが示唆された。

【Abstract】

The aim of this study was to clarify the distribution of foot strike patterns and relationships between the foot strike patterns and the parameters for sprint performance. Performances in a 50-m sprint race run by 334 boys (41 first graders, 51 second graders, 55 third graders, 66 fourth graders, 55 fifth graders, and 66 sixth graders) and 310 girls (48 first graders, 47 second graders, 45 third graders, 60 fourth graders, 48 fifth graders, and 62 sixth graders) were analyzed. Their foot strike patterns, foot contact times, aerial times, ratios of contact time to aerial time over the distances from 20 m to 30 m were analyzed from images recorded by a high-speed video camera. Their sprint speeds, step frequencies, and step lengths were analyzed from images recorded by a video camera. The numbers of Rear-foot strike pattern (RF), Mid-foot strike pattern (MF), and Fore-foot strike pattern (FF) in boys were 232, 82, and 20, respectively. The numbers of RF, MF, and FF in girls were 269, 34, and 7, respectively. One-way analysis of variance and Tukey-HSD multiple comparison were used to compare the data among RF, MF, and FF groups. In boys, the residual error from age-predicted sprint speed and the step frequency index for MF (0.14 ± 0.39 m/s (mean \pm SD), 1.11 ± 0.06) and FF (0.35 ± 0.54 m/s, 1.13 ± 0.08) were significantly greater than RF (-0.09 ± 0.44 m/s, 1.05 ± 0.07). In girls, the step frequency index for MF (1.09 ± 0.06) was significantly greater than RF (1.04 ± 0.06) and step length index for FF (2.19 ± 0.26) was significantly greater than RF (2.02 ± 0.14). These results suggest that lower sprint speed in RF related to sprint parameters such as the step frequency index. However, because of the lower ratio of MF and FF in children compared to adults, the physical development and leg swing technique seem to influence the foot strike pattern. Therefore, although foot strike patterns in children relates to their sprint performance, their state of physical development and leg swing technique should be considered for effective sprint coaching for foot strike.

スポーツ科学研究, 17, 28-43, 2020 年, 受付日:2019 年 10 月 30 日, 受理日:2020 年 5 月 25 日

連絡先:信岡沙希重 福岡大学スポーツ科学部 nobuoka@fukuoka-u.ac.jp

I. 緒言

児童の最大走速度は加齢に伴い増大していく(有川ほか, 2004a; 2004b), 走速度を増大させる要因には, 身体的特徴の変化だけでなく, 走動作の変化も考えられる。下肢長の増加や筋力の増加に伴い, 一步のストライド長(以下: ストライド)や走速度などは増加していく(辻野・後藤, 1978; Gesell, 1978; Whital & Getchell, 1995)。しかし, 9 歳頃以降は加齢による下肢長や筋力の増加と走速度増加の関係は弱くなる(Astrand et al., 1986)。つまり, 9 歳頃以降も走速度を増加させ続

けるためには, 合理的な走動作を獲得する必要がある。疾走能力は様々な運動やスポーツにおける主要な体力要素であり, 疾走能力の停滞を防ぐためにも, 幼少期の頃から合理的に疾走能力の向上に取り組むことが望ましい。走速度はストライド頻度(以下: ピッチ)とストライドの積であり, 最大速度の増加にはストライドの増加が大きく貢献することが示唆されている(宮丸, 1975(2 歳~6 歳); 辻野・後藤, 1978(2 歳~12 歳); 斉藤ほか, 1981(2 歳~11 歳); Schepens et al., 1998(2 歳~16 歳))。これまで, ストライドを下肢長で除したスト

ライド指数が高い児童の特徴として、接地時点において遊脚膝関節の屈曲が大きいこと、低学年では遊脚大腿部分が鉛直線となす角度が小さいこと、中学年と高学年では体幹部分の前傾が大きいことが挙げられている(末松ほか, 2008). また、全国大会に出場した第 6 学年の男子児童のもも上げ動作中における水平線と大腿がなす角度は、一般の第 6 学年の男子児童よりも小さいことが報告されている(加藤ほか, 2001). 一方で加齢に伴うピッチの変化は小さいが、下肢長による影響を考慮したピッチ指数は増加することが報告されている(信岡ほか, 2015(6 歳~12 歳)). さらに、ピッチは接地時間と負相関し、ストライドは滞空時間と正相関することが、高速度カメラを用いた測定から明らかにされている(信岡ほか, 2015). これらのことから、児童が高い疾走パフォーマンスを発揮するために必要な遊脚の動作やパラメータは明らかになってきたが、体を支え、推進力を発生させるための接地方法や支持脚の動作についての知見は乏しい。

走運動において個人内および個人間での特徴を表す指標の一つとして、地面へ振り下ろした足が最初に接地する部位、つまり接地タイプがある。成人の男女が靴を履いて走っている際の接地パターンを測定した研究では、段階的に走速度が増加するに連れて、ほとんどの走者の接地タイプが、踵接地タイプから中足部接地タイプや前足部接地タイプに変化していった(Breine et al., 2014; Keller et al., 1996). つまり、高い走速度では中足部接地や前足部接地を選択する利点があると考えられる。成人をモデルにした短距離走の指導書では、踵接地による大きなブレーキ成分の地面反力が働かない走り方(繁田, 2014)や、接地中に踵は地面につかないように走ることが推奨されている(Bosch & Klomp, 2005).

走運動に必要な不可欠な地面反力について、接地タイプ間で比較した先行研究では、踵接地タイプの特徴として、前足部接地タイプよりも大きな鉛直成分の力が接地直後の足に伝わっていることが明らかにされている(Payne, 1983). 接地時の足への衝撃の強さが接地タイプの決定に関与しており、緩衝効果のある靴や整備された地面が、高い速度での走運動においての踵からの接地を

許容している可能性がある(Nigg, 1997). 成人を対象とした研究では、靴を履いた状態では踵接地タイプのランナーでも、靴による緩衝効果が得られない裸足の状態や硬い地面の上を走る際には、中足部接地や前足部接地になる場合があることが報告されている(Lieberman et al., 2010; Gruber et al., 2013). つまり接地タイプの決定には、環境的要因も影響する。また、前足部接地と踵接地による接地時の力発揮を比較した先行研究では、前足部接地の方が接地時における下腿三頭筋による力発揮が大きいことが報告されている(Perl et al., 2012). これらのことから、成人に比べて体重や筋力が少なく、走運動の経験も浅い児童では、接地タイプの傾向や走パフォーマンスに及ぼす影響が異なる可能性がある。また、児童の短距離走時の接地タイプの割合についての実態も把握されていない。接地タイプの違いを考慮せずに走動作の指導をしても、十分な効果が得られないだけでなく、傷害リスクを高めてしまう危険性もある。児童の接地タイプの実態と接地動作と疾走パフォーマンスとの関係を明らかにすることができれば、児童の疾走パフォーマンス向上の一助となることが期待される。

本研究の目的は、児童の接地タイプの実態と接地タイプによる走速度やピッチ、ストライドなどの疾走パフォーマンスに関する指標の違いを明らかにすることである。児童の疾走中の接地タイプによって疾走パフォーマンスに関する指標は異なるという仮説を検証した。そして、接地タイプの違いと走速度の関係について検討した。

II. 方法

1. 参加者

埼玉県 の 2 つの小学校で実施された体力テストの 50m 走の測定に参加した小学校第 1 学年から第 6 学年の児童 686 名(女子 334 名, 男子 352 名)を分析対象とした。分析対象者の月齢, 身長, 体重を表 1 に示した。本研究の実施に際し、筆者らが所属する大学の「人を対象とする研究に関する倫理委員会」の承認を得た後、児童の保護者および担当教員に本研究の目的, 方法, 個人情報取り扱いについて書面にて説明し、撮影と分析の許可を得た上で実施した。

表 1. 分析対象者の月齢, 身長, 体重

学年	1		2		3		4		5		6		
性別	男子	女子	男子	女子	男子	女子	男子	女子	男子	女子	男子	女子	
人数	41	48	51	47	55	45	66	60	55	48	66	62	
月齡	平均値	81.8	80.8	93.4	93.3	104.4	103.9	116.6	116.0	128.3	128.0	140.1	140.2
	SD	3.2	3.2	2.8	3.3	3.6	3.1	3.5	3.0	3.4	3.6	3.1	3.7
身長 (m)	平均値	1.157	1.156	1.218	1.230	1.287	1.279	1.347	1.333	1.373	1.397	1.450	1.466
	SD	0.054	0.045	0.052	0.047	0.064	0.062	0.069	0.046	0.064	0.066	0.071	0.069
体重 (kg)	平均値	21.5	20.6	24.1	24.8	27.9	26.9	31.9	30.9	33.3	34.4	39.6	38.5
	SD	3.8	2.7	4.4	4.2	5.1	4.9	8.3	6.2	7.2	7.9	11.8	7.1

2. データ収集

50m 走の測定は 5 月に実施し, 児童の身長(1000 分の 1m まで)および体重(10 分の 1kg まで)は同年 4 月に各小学校が実施した身体測定のデータを使用した. 参加した児童は教員の指示のもと準備運動と練習走を行い, 50m 走の測定実施法について説明を受けた後, 2 つの走路から 2 名ずつ 50m 走の計測を 1 回実施した(図 1). 50m 走は文部科学省の「新体力テスト実施要項(6 歳～11 歳対象)」に準拠した走路, スタート合図, 計測方法で行われた. また, 走者がゴール直前に意図的に減速することを防ぐために, 有川ら(2004 年)と同様に実際のゴール地点から 5m 先に目印となるコーンを設置し, 55m 地点まで全速力で走るように児童に指示した. 20m 地点から 30m 地点

までの接地動作の撮影のために, 各レーンの 25m 地点の側方(右レーンの右側と左レーンの左側)に高速度デジタルビデオカメラ(JVC 社製, GC-PX1, 撮影速度: 300 frames/s)を設置し, 三脚を用いた固定撮影を行った. また, スタート地点からゴール地点までの走動作の撮影のために, デジタルビデオカメラ(JVC 社製, GC-PX1, 撮影速度: 60 frames/s)を前述した高速度デジタルビデオカメラと同じく各レーンの 25m 地点の側方(右レーンの右側と左レーンの左側)に設置し, 三脚を用いたパンニング撮影を行った. パンニング撮影用カメラの映像で走者の位置を確認するために, 各走路中央の 10m 毎の地点とカメラを結ぶ線上にコーン型の目印を設置した.

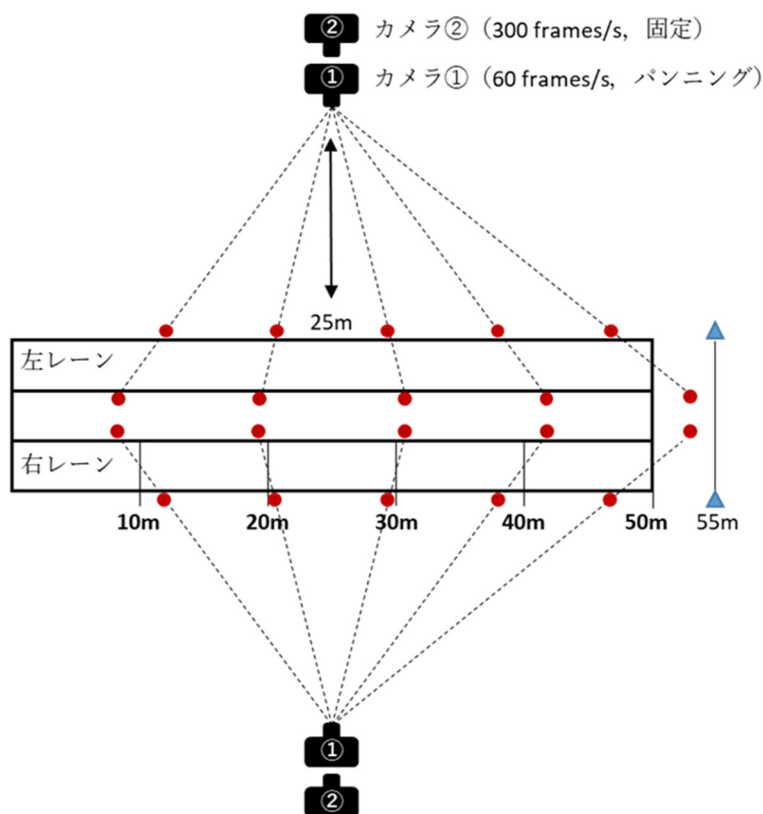


図 1. 測定機材の設置位置(カメラ(黒色), 区間到達確認用コーン(赤色), 全力疾走の目標コーン(青色)).

3. 測定項目とデータ処理

パニング撮影を行ったカメラの画像をもとに, 10m 地点から 50m 地点までの各 10m 区間の平均速度と全区間の中での最大速度, そして最大速度を記録した区間での平均ストライド頻度(以下: ピッチ)および平均ストライド長(以下: ストライド)を算出した. 走速度については, 短距離走のゴールタイムを決定する最大の要因である最大速度を解析した(Mackala, 2007; 松尾ほか, 2008). 男子児童の 50m 走においても, 最大速度が記録と最も強い負相関を示していた(伊藤ほか, 2012). そして, 加齢による最大速度への影響を統制するために, 分析対象者の月齢と最大速度の関係から, 月齢より推定される最大速度と実際の最大速度との残差を求めて使用した. ピッチは各 10m 区間内で初めに接地した足が再び接地する回数(ストライド・サイクル数)をその所要時間で除した値とした. ストライドは区間の平均速度をピッチで除した値とした. また, 接地時間と滞空時間は, 20m 地点から 30m 地点までの走動作を固定撮影したカメラの画像をもとに, 2 名の検者によって接地時

間と滞空時間を 2 ストライド・サイクル(4 ステップ・サイクル)分算出し, 1 ステップ・サイクルあたりの平均値で表した. 検者間の誤差は 1%未満で, 後日ランダムに選出した 50 名分の算出結果の比較より求めた検者内誤差も 1%未満であった. 接地時間と滞空時間の比率を表す滞空比は滞空時間を接地時間で除して求めた. 接地と離地の判定は, 分析対象者の前足部, 踵または足全体が地面に触れたと確認できたフレームを接地開始, 接地していた足部のつま先の移動を確認できたフレームを接地終了とした.

児童の身長の影響を取り除いた疾走能力を調べるために, 下肢長の物理的な影響を取り除いた Alexander(1977)の算出式よりピッチとストライドについての指数を算出した.

$$\text{ピッチ指数} = \text{ピッチ} \cdot (\text{下肢長} \cdot g^{-1})^{1/2}$$

$$\text{ストライド指数} = \text{ストライド} \cdot \text{下肢長}^{-1}$$

ここで, g は重力加速度である. 下肢長は「新・日本人の体力標準値Ⅱ」(首都大学東京体力標

準値研究会, 2007)の各年齢の平均的下肢長比と測定した身長との積とした。

接地パターンの測定には、フォースプレートから得られた足底圧分布を用いた方法(Breine et al., 2014; Keller et al., 1996)のほかに、ビデオ画像から算出した接地角度を用いた方法(Lieberman et al., 2015)があり、足底圧分布から求めた圧力中心の位置と画像から算出した接地角度の間に強い相関関係が認められている(Altman & Davis, 2012)。本研究では、高速度ビデオカメラで固定撮影した 20m 地点から 30m 地点での疾走中の足部の接地動作の画像をもとに、分析対象者の接地タイプを目視で判別した。まず、ビデオ画像をもとに接地局面において前足部と踵の動きを観察し、フレーム間で前足部または踵の変位がなくなった最初のフレームを接地時点とした。そして接地時点での靴底の傾き方から踵接地タイプ(rear-foot strike pattern: RF)、中足部接地タイプ(mid-foot strike pattern: MF)、前足部接地タイプ(fore-foot strike pattern: FF)、に判別した。判別する際の基準は、接地時点において靴底の踵側が前足部側よりも低く傾いている場合は踵接地タイプ、靴底の傾きが地面と平行な場合は中足部接地タイプ、靴底の前足部側が踵側よりも低く傾いている場合は前足部接地タイプとした。2名の検者により接地タイプの判別結果を照合した。2名の検者間で判別が一致しなかった分析対象者は、686名中13名であった。判別結果が一致しなかった試技は、さらに1名の分析者を加えて再度判別を行った。接地動作を撮影した 20m 地点から 30m 地点の区間の走速度が最大速度よりも5%以上低い児童は分析対象者から除外した。

4. 統計処理

児童の月齢と最大速度の関係を表す一次近似式を求め、月齢から推定される最大速度との残差を算出した。各接地タイプおよび性別の最大速度の残差、ピッチ指数、ストライド指数、接地時間、滞空時間の平均値および標準偏差を計算した。各測定項目の接地タイプ間の比較には、Shapiro-Wilk 検定により、3群(踵接地タイプ、中足部接地タイプ、前足部接地タイプ)すべてで正規性が認められた場合は一元配置分散分析を用い、F値が有意であった項目について Tukey-HSD 法による多重比較を実施した。有意水準はすべて危険率 5%未満とした。統計解析ソフトウェアは、IBM SPSS Statistics 22.0 を用いた。

III. 結果

1. 接地タイプの割合

各性別の接地タイプの割合を表2に示した。男女ともに踵接地タイプの割合が最も大きく、中足部接地タイプ、前足部接地タイプの順に割合は小さくなった。また、低学年(第1学年と第2学年)から中学年(第3学年と第4学年)、高学年(第5学年と第6学年)と上がるにつれて踵接地タイプの割合は減少し、中足部接地タイプの割合は増加した。男女の区間速度は表3および表4の通りで、最大速度の出現区間は10-20m区間と20-30m区間が最も多かった。接地タイプの判定を行った20-30m区間での相対速度の平均値は全ての学年と性別で最大速度の95%を上回っていたが、個人で95%以下となり分析対象者から除外した児童は男子で18名、女子で25名であった。

表2. 低・中・高学年の対象者の接地タイプ(%)

		全体	低学年	中学年	高学年
RF	男子	69.5	74.8	74.1	63.2
	女子	86.8	91.7	87.2	81.4
MF	男子	24.6	17.1	22.0	31.1
	女子	11.0	6.3	11.9	15.1
FF	男子	6.0	8.1	3.9	5.8
	女子	2.3	2.1	0.8	3.5

踵接地タイプ(RF), 中足部接地タイプ(MF), 前足部接地タイプ(FF)

表 3. 男子児童の区間速度

学年	1	2	3	4	5	6
最大速度の 出現区間(人)	0-10m	0	0	0	0	0
	10-20m	40	25	29	25	12
	20-30m	12	32	29	32	37
	30-40m	2	5	11	15	17
	40-50m	2	4	2	13	3
速度(m/s) (平均±SD)	0-10m	3.9 ± 0.3	4.1 ± 0.4	4.2 ± 0.3	4.2 ± 0.3	4.3 ± 0.2
	10-20m	4.8 ± 0.4	5.1 ± 0.4	5.5 ± 0.4	5.5 ± 0.5	5.8 ± 0.4
	20-30m	4.7 ± 0.4	5.2 ± 0.5	5.5 ± 0.5	5.7 ± 0.6	5.9 ± 0.4
	30-40m	4.6 ± 0.4	5.0 ± 0.5	5.4 ± 0.4	5.5 ± 0.5	5.7 ± 0.5
	40-50m	4.4 ± 0.5	4.9 ± 0.6	5.2 ± 0.5	5.4 ± 0.5	5.6 ± 0.5
相対速度(%) (平均±SD)	0-10m	82.1 ± 6.0	78.9 ± 5.5	75.6 ± 3.5	73.6 ± 5.2	72.7 ± 3.5
	10-20m	99.3 ± 1.8	99.1 ± 1.2	98.5 ± 2.2	97.2 ± 6.7	96.8 ± 2.4
	20-30m	97.0 ± 2.5	99.1 ± 1.5	98.7 ± 1.8	99.0 ± 1.3	99.4 ± 1.0
	30-40m	95.1 ± 3.2	96.5 ± 2.8	97.1 ± 2.1	96.8 ± 5.0	96.1 ± 4.5
	40-50m	90.7 ± 5.1	93.5 ± 5.7	94.5 ± 3.5	95.1 ± 6.0	93.7 ± 5.0

表 4. 女子児童の区間速度

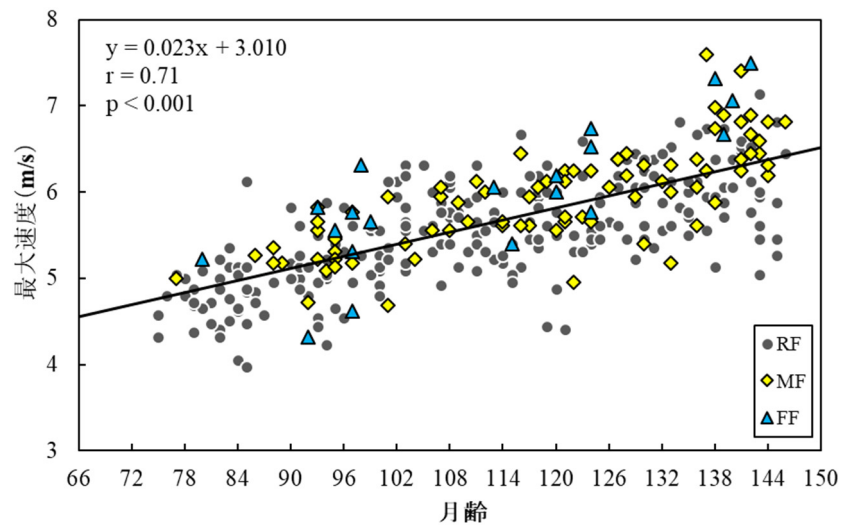
学年	1	2	3	4	5	6
最大速度の 出現区間(人)	0-10m	0	0	0	0	0
	10-20m	44	34	33	28	17
	20-30m	12	13	20	31	30
	30-40m	5	12	1	9	8
	40-50m	0	5	0	3	4
速度(m/s) (平均±SD)	0-10m	4.0 ± 0.3	4.2 ± 0.3	4.1 ± 0.3	4.1 ± 0.2	4.3 ± 0.2
	10-20m	4.7 ± 0.3	5.1 ± 0.4	5.4 ± 0.3	5.5 ± 0.4	5.7 ± 0.4
	20-30m	4.6 ± 0.4	5.0 ± 0.4	5.4 ± 0.3	5.5 ± 0.4	5.8 ± 0.5
	30-40m	4.5 ± 0.4	5.0 ± 0.4	5.2 ± 0.3	5.4 ± 0.4	5.6 ± 0.5
	40-50m	4.2 ± 0.5	4.8 ± 0.5	5.0 ± 0.4	5.3 ± 0.4	5.5 ± 0.5
相対速度(%) (平均±SD)	0-10m	84.3 ± 6.1	80.8 ± 6.9	75.3 ± 4.2	74.8 ± 4.5	72.8 ± 3.5
	10-20m	99.5 ± 1.0	98.7 ± 2.1	99.2 ± 1.5	98.4 ± 2.4	97.3 ± 2.8
	20-30m	96.8 ± 3.6	97.2 ± 2.6	98.8 ± 1.6	99.1 ± 1.2	98.7 ± 2.1
	30-40m	94.4 ± 4.3	96.6 ± 3.2	96.1 ± 2.3	97.3 ± 2.0	95.4 ± 4.1
	40-50m	89.0 ± 6.5	92.6 ± 4.5	92.8 ± 3.8	95.1 ± 3.1	94.3 ± 3.4

2. 最大速度の残差, ピッチ指数, ストライド指数

分析対象者の月齢と最大速度の関係 (男子: $y = 0.023x + 3.010$, $r = 0.71$, $p < 0.001$, 女子: $y = 0.021x + 3.117$, $r = 0.73$, $p < 0.001$) を図 2 に示した. 男子児童および女子児童の最大速度の残差, ピッチ指数, ストライド指数をそれぞれ図 3 に示す. 一元配置分散分析の結果, 男子児童の最大速度の残差とピッチ指数および, 女子児童のピッチ指数とストライド指数において主効果が認められた (男子の最大速度の残差: $F(2, 331) = 14.90$, $p < 0.01$; 男子のピッチ指数: $F(2, 331) = 28.02$, $p < 0.01$; 女子の最大速度の残差: $F(2, 307) = 3.70$, $p < 0.05$; 女子のピッチ指数: $F(2, 307) = 8.74$, $p < 0.01$; 女子のストライド指

数: $F(2, 307) = 5.14$, $p < 0.01$). Tukey-HSD 検定の結果, 男子児童の最大速度の残差とピッチ指数(平均 ± SD)は, 中足部接地タイプ(0.14 ± 0.39 m/s, 1.11 ± 0.06)および前足部接地タイプ(0.35 ± 0.54 m/s, 1.13 ± 0.08)において踵接地タイプ(-0.09 ± 0.44 m/s, 1.05 ± 0.07)よりも有意に高かった. 一方で, ストライド指数については統計的有意差が認められなかった. 女子児童のピッチ指数においては, 中足部接地タイプ(1.09 ± 0.06)は踵接地タイプ(1.04 ± 0.06)よりも有意に高かった. 同じく女子児童のストライド指数においては, 前足部接地タイプ(2.19 ± 0.26)は中足部接地タイプ(2.01 ± 0.14)および踵接地タイプ(2.02 ± 0.13)よりも有意に高かった.

A. 男子児童



B. 女子児童

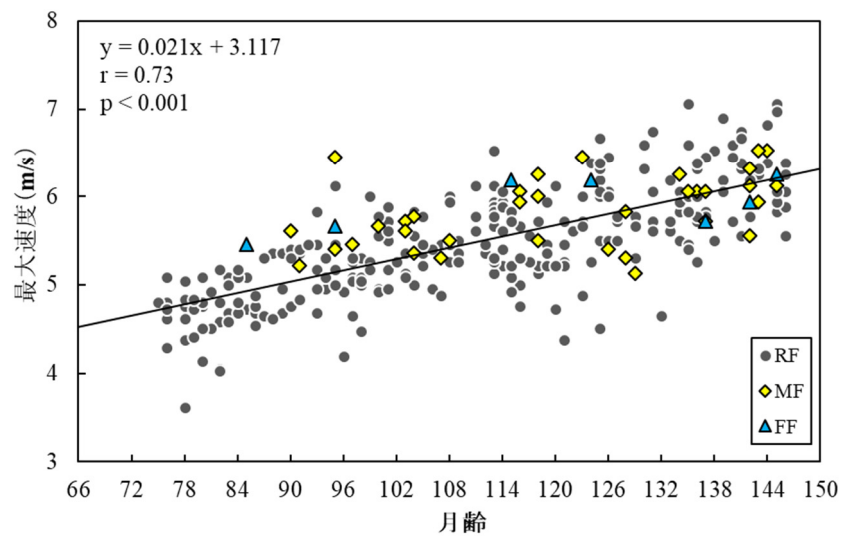


図 2. 男子児童(A)および女子児童(B)の月齢と最大速度の関係(踵接地タイプ(RF), 中足部接地タイプ(MF), 前足部接地タイプ(FF))

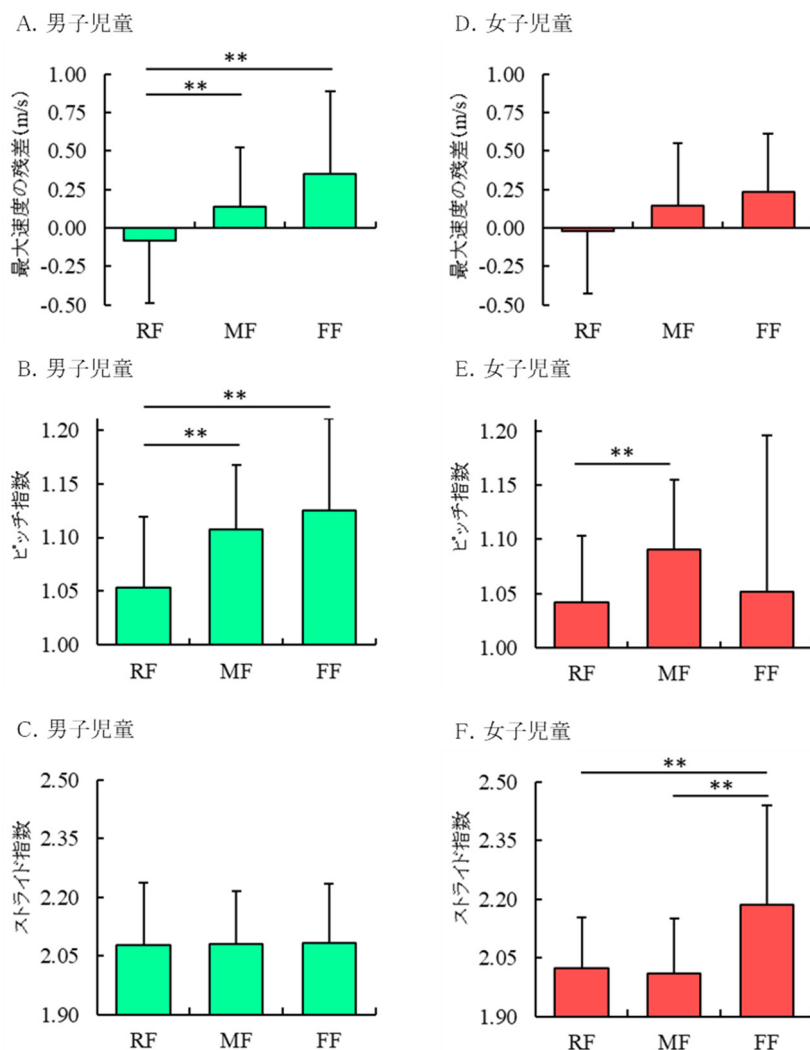


図 3. 男子児童(A, B, C)および女子児童(D, E, F)の各接地タイプ(踵接地タイプ(RF), 中足部接地タイプ(MF), 前足部接地タイプ(FF) における最大速度の残差, ピッチ指数, ストライド指数の比較 *; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$

3. 接地時間と滞空時間

男子児童および女子児童の接地時間と滞空時間, 滞空比を図 4 に示す. 一元配置分散分析の結果, 男子児童および女子児童の接地時間と滞空時間, 滞空比において主効果が認められた (男子の接地時間: $F(2, 331) = 44.96$, $p < 0.01$; 男子の滞空時間: $F(2, 331) = 6.85$, $p < 0.01$; 男子の滞空比: $F(2, 331) = 34.99$, $p < 0.01$; 女子の接地時間: $F(2, 307) = 18.67$, $p < 0.01$; 女子の滞空時間: $F(2, 307) = 7.13$, $p < 0.01$; 男子の滞空比: $F(2, 307) = 22.65$, $p < 0.01$). Tukey-HSD 検定の結果, 男子児童および女子児童の接地時間は, 中足部接地タイプ(男子児童: 0.15 ± 0.01 秒, 女子児童: 0.15 ± 0.01 秒)および前足部接地タイプ(男子児童: 0.14 ± 0.02 秒,

女子児童: 0.14 ± 0.02 秒)において踵接地タイプ(男子児童: 0.16 ± 0.02 秒, 女子児童: 0.16 ± 0.01 秒)よりも有意に短かった. 男子児童および女子児童の滞空時間は, 中足部接地タイプ(男子児童: 0.09 ± 0.01 秒, 女子児童: 0.10 ± 0.01 秒)において踵接地タイプ(男子児童: 0.09 ± 0.01 秒, 女子児童: 0.10 ± 0.01 秒)よりも有意に長かった. また, 男子児童および女子児童の滞空比は, 中足部接地タイプ(男子児童: 0.64 ± 0.11 秒, 女子児童: 0.68 ± 0.12 秒)および前足部接地タイプ(男子児童: 0.73 ± 0.14 秒, 女子児童: 0.81 ± 0.15 秒)において踵接地タイプ(男子児童: 0.56 ± 0.11 秒, 女子児童: 0.60 ± 0.10 秒)よりも有意に大きかった.

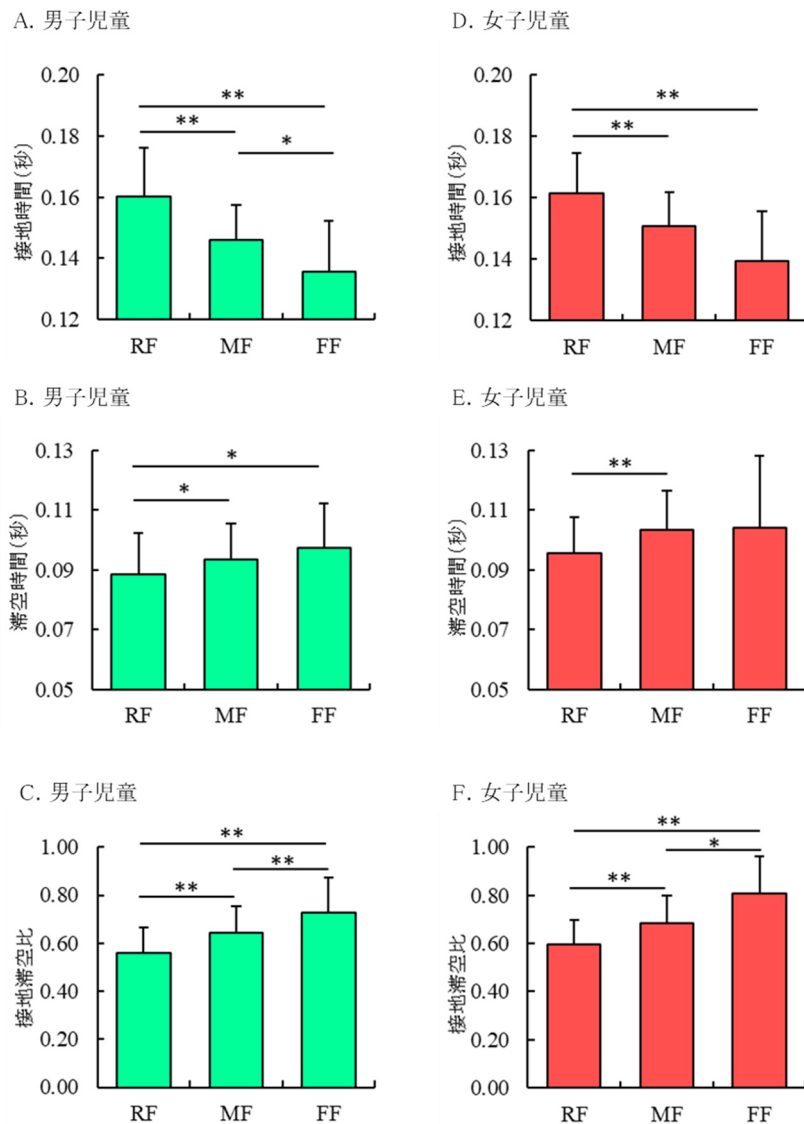


図 4. 男子児童(A, B, C)および女子児童(D, E, F)の各接地タイプ(踵接地タイプ(RF), 中足部接地タイプ(MF), 前足部接地タイプ(FF)における接地時間, 滞空時間, 滞空比の比較 *; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$

4. 踵接地タイプと中足部接地タイプの走動作の比較

接地タイプによる脚動作の違いについて検討するために, 平均的な身長および体重の第 5 学年女子の踵接地タイプと中足部接地タイプの児童の滞空期および接地期の走動作の一例を図 5 に示す. いずれの女子児童も踵接地タイプまたは中足部接地タイプの接地時間および滞空時間の特徴を示す典型例として採用した. 2 名の典型例の間では, 中足部接地タイプの滞空期では, 踵接地タイプに比べ接地直前に矢状面上において左右大腿のなす角が小さくなるように接地前の支持脚を後方へ振り戻している様子が顕著に観察

できる(図 5. 中足部接地タイプ(MF)滞空期⑤～⑨). そして, 中足部接地タイプの接地期では, 踵接地タイプに比べ, 支持脚と遊脚が前後方向においてより閉じた状態から接地期が始まり, より短い時間で接地期を終えている(図 5. 中足部接地タイプ(MF)接地期①～⑦). 一方踵接地タイプでは, 滞空期に矢状面上において左右大腿のなす角を小さくする動作による後方の遊脚の前方への引き寄せが中足部接地よりも小さいために((図 5. 踵接地タイプ(RF)滞空期①～⑤), 接地期に遊脚を前へ振り出すためにより長い時間を要しているように観察できる.

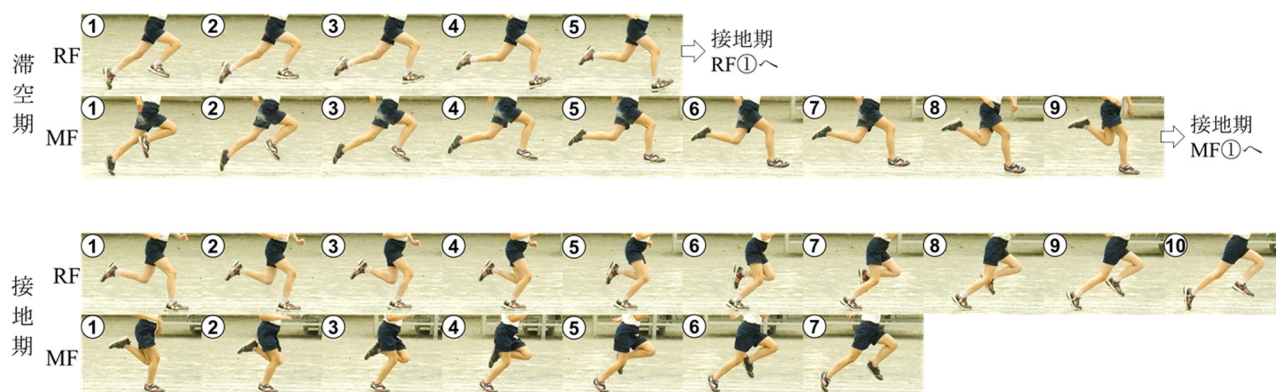


図 5. 踵接地タイプ(RF)と中足部接地タイプ(MF)の滞空期と接地期における脚動作の連続写真(60 frames/s)

IV. 考察

本研究では児童の接地タイプの実態と接地タイプによる走速度および疾走パフォーマンスに関する指標(最大速度, ピッチ指数, ストライド指数, 接地時間, 滞空時間, 滞空比)の違いを明らかにすることを目的とし, 児童の疾走中の接地タイプによって疾走パフォーマンスに関する指標は異なるという仮説を検証した. 以下では, 児童の接地タイプと疾走パフォーマンスの特徴について考察する. そして, 接地タイプの違いと走速度の関係について検討した.

1. 児童の接地タイプの割合

指導書では, 本研究で実施した 50m 走を含む短距離走においては, 前足部接地や中足部接地が望ましいとされている(Bosch & Klomp, 2005; 繁田, 2014). 本研究においても, 月齢から推定した最大速度と測定した最大速度との残差は, 踵接地の男女児童では負の値となり, 中足部接地および前足部接地の男女児童では正の値となったことから(図 3A, 3D), 各月齢においても前足部接地や中足部接地の児童の最大速度は相対的に高いことが示された. しかし, 分析対象となった児童の接地タイプは, 男女ともに踵接地タイプが最も多く, 前足部接地タイプの割合は男子全児童と女子全児童でそれぞれ 6.0%と 2.3%で, 中足部接地タイプの割合はそれぞれ 24.6%と 11.0%であった(表 2). 成人を対象とした先行研究では, 速度の高い走行条件では, 半数以上の走者が中足部接地や前足部接地であった(Breine et al., 2014; Keller et al., 1996). 実験条件は同一では

ないが, 本研究においても最大速度または最大速度に近い速度の出現区間での接地タイプの分析を行い, 成人の接地タイプの割合とは異なる結果が示された. また, 加齢に伴う接地タイプの変化を検討するために, 低・中・高学年の 3 群に分けて接地タイプの割合を分析した結果, 男女ともに, 踵接地タイプは低学年から高学年にかけて減少し, 中足部接地タイプは低学年から高学年にかけて増加する傾向があった(表 2). 本研究では, 解析区間である 20-30m 区間の相対速度が 95%以上の児童のみを分析対象としたが, 篠原・前田(2016)の先行研究と同様に, 本研究においても最大速度の出現区間の分布が学年により異なっていた. そのため, 解析を行った 20-30m 区間の疾走局面(加速局面や減速局面)が児童によって異なっていたことが接地動作に影響を及ぼした可能性もある. このように, 児童と成人の間で, スプリント時の接地タイプの割合が大きく異なっていたことから, 児童の接地タイプを決定する要因として, 加齢に関わる要因が存在することが示唆された. 加齢に関わる要因としては, 身体的発達や走動作の習熟度などが考えられる. 本研究の分析対象者の身長および体重の学年平均は, 1 学年上がるたびに, 体重は男子児童でおよそ 13%, 女子児童でおよそ 20%ずつ高くなり, 身長は男子児童でおよそ 5%, 女子児童でおよそ 6%ずつ高くなったことから(表 1 より算出), 走動作に影響するほどの体重および身長の増加が児童期には起きていると考えられる. また, 前足部接地の方が接地時における下腿三頭筋による力発揮が大きいことから(Perl et al., 2012), 児童の多くは前

足部で接地して体を支持しながら速く走ることが難しいため、踵接地で走っている可能性がある。また前足部接地や中足部接地では、踵接地よりも大きな弾性エネルギーをアキレス腱に貯蔵し、Stretch-Shortening Cycle を利用して疾走パフォーマンスを高めているとすれば、成人に比べてアキレス腱のスティフネスが低い児童(茂木ほか, 2013; Waugh et al., 2012)では、前足部や中足部で接地することの利点が小さいのかもしれない。これらのことから、踵接地タイプの児童に即時的に前足部接地や中足部接地に変えて走らせても、疾走パフォーマンスは向上しない可能性がある。

2. 接地タイプと最大速度、ピッチ指数、ストライド指数との関係

最大速度の残差は、踵接地タイプに比べ、男女とも中足部接地タイプおよび前足部接地タイプが高値を示したが、統計的有意差は男子児童でのみ認められた。平均的な身長成長曲線では、女子児童は年間身長増加量のピークを 9.55 歳(およそ第 4 学年)で迎えるのに対し、男子児童は年間身長増加量のピークを 11.79 歳(およそ第 6 学年)で迎えることから(Yokoya & Higuchi, 2014)、女子児童ではより早期に身長や体重が大きく増加することにより、接地タイプと走速度の関係に性差が生じた可能性がある。

男子児童の中足部接地タイプおよび前足部接地タイプにおいて最大速度の残差が高かった要因としてはピッチ指数が踵接地タイプの児童よりも高かったことによることが示唆される(図 3B)。また女子児童においては、最大速度の残差に統計的有意差は認められなかったが($p = 0.063$)、中足部接地タイプのピッチ指数が踵接地タイプよりも高く(図 3E)、前足部接地タイプのストライド指数が踵接地タイプおよび中足部接地タイプよりも高かった(図 3F)。前足部接地タイプについては、男子児童の前足部接地タイプと異なり、ストライド指数は他の接地タイプよりも高く、ピッチ指数は他の接地タイプよりも高くないという特徴があったことから、身長に対するストライドが大きかったことがピッチに影響した可能性がある。少数であった女子児童の前足部接地タイプを除くと、踵接地タイプは

ピッチ指数が低いために他の接地タイプよりも走速度が低くなっていることが考えられる。

3. 接地タイプと接地時間および滞空時間との関係

接地時間と滞空時間は走速度を決定する要因であるピッチとストライドに関連する要因である。児童のスプリント時の接地時間は最大速度およびピッチ指数と負相関し、滞空時間はストライド指数と正相関することが報告されている(信岡ほか, 2015)。また、成人においても接地時間と最大速度が負相関することが示されている(Weyand et al., 2000)。本研究では、接地タイプによる接地時間および滞空時間の違いを検討した。中足部接地タイプは男女ともに踵接地タイプよりも接地時間が短く、滞空時間が長かった。前足部接地タイプは男女ともに踵接地タイプよりも接地時間は短かったが、滞空時間については踵接地タイプよりも平均値は大きかったが統計的有意差は認められなかった。滞空時間を接地時間で除した値である滞空比は、男女ともに踵接地タイプ、中足部接地タイプ、前足部接地タイプの順に大きな値となった。接地時間が短かった中足部接地タイプと前足部接地タイプは踵接地タイプよりもピッチ指数が高かったことは、信岡ほか(2015)で報告された傾向と一致するものであった。一方で、踵接地タイプよりも滞空時間が長かった中足部接地タイプのストライド指数については踵接地タイプとの間に統計的有意差は認められず、滞空時間の長さが大きなストライド獲得に貢献するという先行研究の傾向とは一致しなかった。このことから、接地前に支持脚の振り下ろし動作の違いなどにより、進行方向上における支持脚の接地位置が接地タイプにより異なる可能性があることが示唆された。

ピッチ指数が高い児童の走動作の特徴として、接地時点において後方の遊脚の大腿部分がより前方に位置し、支持脚の下腿部分がより前傾した走動作であることが報告されている(末松ほか, 2008)。つまり、接地直前の滞空期では接地する側の脚をより前方へと振りだすのではなく、両脚を「挟み込む動作」(矢状面において左右大腿のなす角が小さくなる動作)で接地する側の脚を後方

へ振り戻しながら接地するという特徴が短い接地時間と高い走速度に関与することが考えられる(阿江ほか, 2001; 信岡ほか, 2016). このような脚動作と接地タイプの関係についてはより詳細な検証が必要であるが, 本研究において滞空時間の長さに応じてストライド指数が高くならなかった中足部接地タイプや前足部接地タイプの児童では, 滞空期においてそのような脚の振り戻し動作があった可能性もある. ただし, 走速度の高い男子児童の支持脚の下腿部分がより前傾していたという特徴については, 成人において日本人競技者よりも世界一流競技者のほうが接地時に下腿がより後傾している(宮下ほか, 1986)という報告もあることから, 下腿の前後傾角度には最適値が存在する可能性や一流競技者には特有のスプリント技術がある可能性もある.

4. 接地タイプと脚動作の関連性

踵接地タイプと中足部接地タイプにおける接地時間と滞空時間の違いについて, 図 5 に示した連続写真を用いて考察する. 2 名の典型例の比較では, 中足部接地タイプの滞空期において, 踵接地タイプに比べ接地直前に矢状面上において左右大腿のなす角が小さくなるように接地前の支持脚を後方へ振り戻している様子や, 接地期において支持脚と遊脚が前後方向においてより閉じた状態から接地期が始まり, より短い時間で接地期を終えているように観察できた(図 5). 接地タイプと接地時間の関係については, 前足部接地タイプに比べ, 踵接地タイプは接地期における膝関節の屈曲および伸展により長い時間を要するために接地時間が長くなる傾向がある(Hasegwa et al., 20017; Williams & Cavanagh, 1987). これらのことから, 接地タイプによる脚動作の違いが接地期と滞空期の比率に影響を及ぼした可能性がある. また高い走速度の場合, 接地した地点を体が通過する時間も短くなるので, 接地時間が長くなる踵接地は不向きである可能性や, 接地時に下腿の後傾が小さいため中足部接地しやすい足関節の姿勢になっている可能性なども考えられる.

踵接地タイプで観察されるような前方に大きく

踏み出した接地の場合(図 5. 踵接地タイプ(RF)接地期①), 大きなストライドを獲得することはできないかもしれないが, 接地時にブレーキ成分の大きな力が走者に作用する. 鉛直方向の力積の獲得が滞空時間の増加につながる(豊嶋ほか, 2015)ことから, 踵接地タイプの児童は, 鉛直方向の力積が小さいために滞空時間が短くなり, 中足部接地タイプのように支持脚を振り戻す動作を行えなかった可能性がある. 他にも, 前足がより前方で接地しているために, 踵から接地しても接地した地面を体が通過するまでの時間が十分にあるために踵接地を許容できた可能性や, 支持脚の下腿がより後傾しているためにつま先が上方を向き, 踵から接地しやすい姿勢になっていることが影響している可能性もある. これらのことから, 接地タイプによる接地時間と滞空時間の違いは, 単なる接地部位の違いによるものだけではなく, 各局面における脚部の動作の違いや鉛直方向の力積の違いが接地部位や接地時間, 滞空時間と相互に影響していることが考えられ, 脚部の動作と接地についてより詳細に調査することの有用性が示された.

5. 本研究の意義と実践的応用

本研究では, ビデオカメラを用いた映像分析の手法を用いて児童のスプリントにおける接地タイプの実態を検証した. 陸上競技の指導書ではつま先や母趾球などの前足部での接地が望ましいとされ(Bosch & Klomp, 2005; 繁田, 2014), 成人や優れた陸上競技選手の多くが前足部で接地していることが報告されている(Breine et al., 2014; Keller et al., 1996). しかし, 本研究の分析対象となった児童では, およそ7割以上の児童が踵接地タイプであることが明らかとなった. 接地タイプには, 接地時の足への衝撃の強さ(Nigg, 1997)や身体を支えるための筋力(Perl et al., 2012), 脚動作(Hasegwa et al., 2007; Williams & Cavanagh, 1987)が影響している. このことから, 児童の疾走能力向上のためのアプローチとして, 即時的に接地部位のみを矯正するのではなく, 児童の身体的発達による力発揮能力の向上や脚動作の改善に伴って前足部接地や中足部接地でのスプリ

ントを実現させる必要性が示された。また、走速度を決定するピッチとストライドには接地時間と滞空時間が関与していることが先行研究で報告されてきたが、本研究では、接地タイプに分けてそれぞれの要因を比較することにより、接地時間と滞空時間がどのような機序でピッチとストライドに関与しているのかについて考察し、走パフォーマンス向上につながる知見を示した。

児童の接地動作を改善するための方法については今後さらなる調査と検証が必要である。本研究では、児童のスプリント時の接地タイプの割合が成人とは異なっていたことから、身体的発達や走動作の技能の未熟さにより、前足部接地や中足部接地でのスプリントが適さない児童もいる可能性が示唆された。よって、単純に接地する足の部位を変えるだけでなく、下腿の筋力向上や前足部接地や中足部接地を実現するための脚部の動作の習得もパフォーマンス向上やケガのリスク抑制には必要と考えられる。また、日常のおよび一時的な靴の有無や地面の硬さなどの外的な要因も接地部位に影響を及ぼすことから(Gruber et al., 2013; Lieberman et al., 2010), クッション性が高すぎない靴を履いたトレーニングを行ったり、硬い地面を裸足で走るといったアプローチで踵接地以外の接地方法での走運動を促すことも有効かもしれない。これらについての介入効果や発達発育との関係を明らかにすることができれば、より適切な走動作の指導法の確立や疾走能力の向上に寄与することが期待できる。

V. まとめ

本研究では児童の接地タイプの実態と接地タイプによる走速度および疾走パフォーマンスに関する指標の違いを明らかにすることを目的とし、第1学年から第6学年までの児童の50m走の映像データを分析した。主要な結果は以下の通りである。

- 1) ハイスピードカメラでの記録画像から接地部位を特定し、過半数の児童が踵接地タイプ(男子児童: 69.6 %, 女子児童: 87.1 %)であった。
- 2) 男子児童の中足部接地タイプおよび前足部

接地タイプにおいて踵接地タイプよりも最大速度の残差が高かった要因として、ピッチ指数が踵接地タイプの児童よりも高かったことが示唆された。

- 3) 女子児童の中足部接地タイプのピッチ指数は踵接地タイプよりも高かったが、最大速度の残差については、中足部接地タイプが踵接地タイプよりも高いという傾向のみが認められた。
- 4) 中足部接地タイプの滞空時間は踵接地タイプよりも長いにも関わらずストライド指数に差が認められない理由として、中足部接地タイプは振り出した前足をすぐ接地させずに後方へ振り戻していることが考えられた。
- 5) 滞空期に接地直前の足を後方へ振り戻し、矢状面上において左右大腿のなす角を小さくする動作により後方の遊脚がより前方に位置することで、接地から離地までに要する時間(接地時間)を短くすることができる可能性が示唆された。

以上のように本研究では、児童の多くが50m走の20m地点から30m地点の区間では踵接地タイプであり、中足部接地タイプの児童に比べ、踵接地タイプの児童はピッチ指数が小さく、接地時間が長く、滞空時間が短いといった特徴が示された。接地タイプにより疾走パフォーマンスに関する指標に違いがみられたことから、児童の接地タイプに応じた適切な練習法や指導法を用いる必要性が示唆された。また、より優位な走パフォーマンス指標を示した中足部接地タイプおよび前足部接地タイプの児童の割合は成人に比べて低かったことから、接地タイプは身体的発達や遊脚の接地動作などの要因の影響を受けることが考えられる。よって、児童のスプリント時の接地タイプは疾走能力に関連する指標であるが、指導する際には脚動作や下腿の発達度に着目した接地動作へのアプローチが求められることが示唆された。

謝辞

本研究は、早稲田大学グローバル COE プログラム「アクティヴ・ライフを創出するスポーツ科学」の助成を受けたものである。

文献

- 阿江通良. (2001) スプリントに関するバイオメカニクス的研究から得られるいくつかの示唆. スプリント研究, 11, 15-26.
- Alexander RM. (1977) Terrestrial locomotion. In: Alexander RM, Goldspink G (Eds) Mechanics and Energetics of Animal Locomotion. Chapman and Hall: London. 168-203.
- Altman AR, & Davis IS. (2012) A kinematic method for footstrike pattern detection in barefoot and shod runners. Gait and posture, 35, 298-300.
- 有川秀之, 太田涼, 中西健二, 駒崎弘匡, 上園竜之介. (2004a) 男児児童における疾走能力の分析. 埼玉大学紀要, 53, 79-88.
- 有川秀之, 太田涼, 中西健二, 駒崎弘匡, 上園竜之介. (2004b) 女児児童における疾走能力の分析. 埼玉大学教育学部附属教育実践総合センター紀要, 3, 77-88.
- Astrand PO, Rodahl K, Dahl HA, Stromme SB. (1986) Body dimensions and muscular exercise. Chapter 10, TEXTBOOK OF WORK PHYSIOLOGY. Human Kinetics Inc. 391-411.
- Bosch F, Komp R. (2005) Running techniques. Chapter 3, RUNNING: Biomechanics and exercise physiology applied in practice. Elsevier Churchill Livingstone. 136.
- Breine B, Malcolm P, Frederick EC, Clercq DD. (2014) Relationship between running speed and initial foot contact patterns. Medicine and Science in Sports and Exercise, 46, 1595-1603.
- Gesell A. 山下俊郎訳. (1978) 乳幼児の心理学—出生より 5 歳まで—. 家政教育社, 東京, 147-153.
- Gruber AH, Silvernail JF, Brueggemann P, Rohr E, Hamill J. (2013) Footfall patterns during barefoot running on harder and softer surfaces. Footwear Science, 5, 39-44.
- Hasegawa H, Yamauchi T, Kraemer WJ. (2007) Foot strike patterns of runners at the 15-km point during an elite-level half marathon. Journal of Strength Conditioning Research, 21, 888-893.
- 伊藤知之, 金子憲一, 袴田智子, 柏木悠, 船渡和男. (2012) レーザー速度測定器を用いた小学生男子児童の50m疾走能力の評価. 日本体育大学紀要, 41, 161-170.
- 加藤謙一, 宮丸凱史, 松元剛. (2001) 優れた小学生スプリンターにおける疾走動作の特徴. 体育学研究, 46, 179-194.
- Keller TS, Weisberger AM, Ray JL, Hasan SS, Shiavi RG, Spengler DM. (1996) Relationship between vertical ground reaction force and speed during walking, slow jogging, and running. Clinical Biomechanics, 11, 253-259.
- Lieberman DE, Castillo ER, Otarola-Castillo E, Sang MK, Sigel TK, Ojiambo R, Okutoyi P, Pitsiladis Y. (2015) Variation in foot strike patterns among habitually barefoot and shod runners in Kenya. PLOS ONE, 10, e0131354.
- Lieberman DE, Venkadesan M, Werbel WA, Daoud AI, D'Andrea S, Davis IS, Mang'Eni RO., Pitsiladis Y. (2010) Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. Nature, 463, 531-535.
- Mackala BK. (2007) Optimisation of performance different phases of the 100 metres. New Studies in Athletics, 22, 7-16.
- 松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 土江寛裕, 杉田正明. (2008) 男女 100m レースのスピード変化. バイオメカニクス研究, 12, 74-83.
- 宮丸凱史. (1975) 幼児の基礎的運動技能における Motor Pattern の発達: —1—幼児の Running Pattern の発達過程. 東京女子体育大学紀要, 10, 14-25.
- 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. Japanese Journal of Sports Sciences, 5, 892-898.
- 茂木康嘉, 鳥居俊, 川上泰雄, 矢内利政. (2013) 思春期男子におけるアキレス腱の形態学的・力学的特性. 体力科学, 62, 303-313.
- Nigg BM. (1997) Impact forces in running.

Current Opinion in Orthopaedics, 8, 43-47.

- 信岡沙希重, 樋口貴俊, 中田大貴, 小川哲也, 加藤孝基, 中川剣人, 土江寛裕, 磯繁雄, 彼末一之. (2015) 児童の走速度とピッチ・ストライド・接地時間・滞空時間の関係. 体育学研究, 60, 497-510.
- 信岡沙希重, 樋口貴俊, 中田大貴, 彼末一之. (2016) 児童の走運動における調整力. バイオメカニクス研究, 20, 177-181.
- Payne AH. (1983) Foot to ground contact forces of elite runners. In: Matsui H. and Kobayashi K. (Eds.) Biomechanics VIII-B. Human Kinetics, Champaign, 746-753.
- Perl DP, Daoud AI, Lieberman DE. (2012) Effects of footwear and strike type on running economy. Medicine and Science in Sports and Exercise, 44, 1335-1343.
- 斉藤昌久, 宮丸凱史, 湯浅景元, 三宅一郎, 浅川正一. (1981) 2~11 歳児の走運動における脚の動作様式. 体育の科学, 31, 357-361.
- Schepens B, Willems PA, Cavagna GA. (1998) The mechanics of running in children. Journal of Physiology, 509, 927-940.
- 繁田進. これで完ぺき! 陸上競技. 2014 年 2 月 28 日 第1版第1刷発行, 池田哲雄, 株式会社ベースボール・マガジン社, 東京.
- 篠原康男, 前田正登. (2016) 疾走速度変化からみた小学生の 50m 走における局面構成. 体育学研究, 61, 797-813.
- 首都大学東京体力標準値研究会. (2007) 新・日本人の体力標準値(2)宮脇道生, 不昧堂出版, 東京.
- 末松大喜, 西嶋尚彦, 尾縣貢. (2008) 男子小学生における疾走能力の指数と疾走中の接地時点の動作と因果構造. 体育学研究, 53, 363-373.
- 豊嶋陵司, 田内健二, 遠藤俊典, 磯繁雄, 桜井伸二. (2015) 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, 60, 197-208.
- Yokoya M, Higuchi Y. (2014) Geographical differences in the population-based cross-sectional growth curve and age at peak height velocity with respect to the prevalence rate of overweight in Japanese children. International Journal of Pediatrics, 2014, 867890.
- 辻野昭, 後藤幸弘. (1978) 幼児・児童期における走運動の pattern の加齢的変遷. 大阪教育大学紀要, 24, 253-261.
- Waugh CM, Blazeovich AJ, Fath F, Korff T. (2012) Age-related changes in mechanical properties of the Achilles tendon. Journal of Anatomy, 220, 144-155.
- Weyand PG, Sternlight DB, Bellizzi MJ, Wright S. (2000) Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. Journal of Applied Physiology, 89, 1991-1999.
- Whital J, Getchell N. (1995) From walking to running: Applying a dynamical systems approach to the development of locomotor skills. Child Development, 66, 1541-1553.
- Williams KR, Cavanagh PR. (1987). Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. Journal of Applied Physiology, 63, 1236-1245.