

〈原 著〉

高校陸上競技選手のスプリントスタートにおける ステップキネマティクスの男女差

Sex-related differences in step kinematics at the sprint start in high-school track and field athletes

星川 佳広^{1,2}, 澤井 朱美¹, 森山 真由美¹, 大澤 拓也^{1,3}
YOSHIHIRO HOSHIKAWA^{1,2}, AKEMI SAWAI¹, MAYUMI MORIYAMA¹, TAKUYA OSAWA²

Abstract

The aim of this study was to investigate the differences in step kinematics at the sprint start between male and female high school track and field (T&F) athletes. Six male (M) and seven female (F) T&F athletes with equivalent performance levels participated in the study. Step kinematics (step length (SL), pitch (P), and foot contact time with the ground (CT)) were recorded from the 1st to 7th step at the start of a 30-m sprint on an all-weather track. SL and P indices were calculated to correct the difference in leg length between sexes. The maximal anaerobic power test and broad jump test were also conducted, and their relationships with the step kinematics were examined in F. Although SL was significantly longer in M than in F at the 5th step and after, no difference was found in the SL index of any steps. In contrast, although there was no significant difference in P, the P index, except that for the 2nd step, was significantly higher in M than in F, suggesting the necessity of pitch training in female high school T&F athletes to improve acceleration. CT of all steps was almost the same between M and F; however, SL divided by CT was significantly longer in M than in F in the 3rd step and after. This and previous studies suggest that, to achieve higher pitch, female high school T&F athletes should put emphasis on hip-flexion training more than their male counterparts. In addition, strength training of the hip joint focusing on the high-velocity aspect of the force-velocity curve or plyometric training for the ankle joint may be effective. The anaerobic power and broad jump tests correlated significantly only with SL divided by CT at the 2nd step, and had no relationship with P. In order to monitor pitch improvement in female T&F athletes, an additional test that can reflect the ability of hip flexion should be validated.

¹Research Institute of Physical Fitness, Japan Women's College of Physical Education, 8-19-1 Kitakarasuyama, Setagaya-ku Tokyo 157-8565, Japan

²Department of Sports Science, Japan Women's College of Physical Education

³Department of Sports and Health Science, Japan Women's College of Physical Education

Key words: step length, pitch, contact time, acceleration, control test

緒言

一般的に女子は男子と比較し疾走能力に劣る。疾走能力の優劣には主に体力的要因と技術的要因が影響するが、男女差の体力的要因としては、身体組成（脂肪量・筋量）あるいは筋量の差異による筋力や無酸素性パワーの男女差、スティッフネスの差異とそれと関係するストレッチショートニングサイクル利用の男女差などが影響すると考えられる。成長過程において男子の疾走能力は、身長成長の急進期が過ぎた高校生年代においても、筋量・筋力の発育発達によって18歳ころまで向上が継続するのに対し、女子の疾走能力は身長成長がほぼ終息する15歳ころにはその向上が止まる（加藤ら1994）。したがって、高校生の女子陸上競技選手は、上述の体力的な発育発達の男女差を踏まえたうえでのトレーニングを考える必要がある。

一方、疾走能力の技術的要因については大きな男女差はみられない。伊藤ら（1998）は、短距離走選手の100m走中間疾走局面の疾走速度は、接地局面の脚全体のスイング速度と高く相関し、疾走速度の高い選手が膝関節、足関節をより固定させ、股関節の伸展速度を脚全体のスイング速度につなげて、合理的なキック動作をしていることを報告している。そして、疾走速度と脚全体のスイング速度の関係性や、疾走速度と膝関節、足関節角速度の関係性は男女でほぼ一致し、男女あわせて一つの回帰線上にプロットされることを示している。また、小林ら（2013）は短距離走選手男女において、最大下（80%）疾走時と全力疾走時の下肢三関節の動きを比較し、走速度を増加させるための下肢動作の変化に男女で差異がないとしている。これら先行研究の結果は、走動作の技術的要因に大きな男女差はなく、女子が疾走能力向上を図る場合、より速い男子の動作を目標として良いこ

とを示唆する。

ところで、陸上100m走競技では最高速度の到達が30–50m地点で生じるため、30m地点までは加速局面とされ最高速度を維持する中間疾走局面とは区別して理解されている（*Delecluse* 1997, 関子 2009, 小林 2016）。100m走のゴールタイムは到達することのできる最高速度によってほぼ決定し、その関係性に男女差は見られない（松尾ら 2009）。しかし、最高速度の到達にはその前の加速局面の良否が当然ながら影響する（関子 2009, 永原ら 2013, 内藤ら 2013, 小林 2016）。加速局面は中間疾走局面と比べて、走者の足部が地面と接する接地時間が長く、その長い時間を使って前方への推進力を得て加速する（*Delecluse* 1997, *Cronin and Hansen* 2006）。関子（2009）は、加速局面をさらに分解して5m地点を初期加速局面、15m地点を最大加速局面としているが、前者の特徴としてそれ以降と比較して比較的遅い速度のなかで大きな力を発揮する能力の影響が大きいことを指摘している。

加速局面、中間疾走局面いずれにおいても推進力の獲得に最も強く貢献するのは股関節筋群の活動である（*Delecluse* 1997, 伊藤ら 1997, 伊藤 2003, 羽田ら 2003, 小林 2016）。股関節筋力やその発生源である大腰筋や大殿筋、大腿の内転筋群の断面積は、体格の差異を考慮した場合も男女差が存在し、短距離走選手における100m走タイムや疾走速度の男女差と関連する可能性が指摘されている（渡邊ら 2000, *Hoshikawa et al.* 2006, 星川ら 2011）。中間疾走時の下肢の動作に大きな男女差はないとしても、加速局面では遅い動きの中でより力発揮が必要となるため、動作に男女の違いが表れる可能性は考えられる。しかしながら、陸上競技選手対象に加速局面について男女差を検討した研究は見当たらない。さらには、仮に男女差が存在した場合も、単に競技力の違いやからだの大

きさの男女差が反映する可能性もあるため、それらを考慮したうえでの議論が必要になる。

走速度は1歩当たりの距離であるステップ長と、1秒間当たりの歩数であるピッチの積で決定する。初期加速局面では、ステップ長、ピッチ両者を増加させて走速度が増すが、男女にかかわらず疾走能力に優れる選手は、ピッチもステップ長も高い傾向にある(図子 2009, 永原ら 2013)。したがって、加速改善を目的に様々な方法によりステップ長、ピッチを高めるためのトレーニング(Cronin and Hansen 2006)が行われるが、ピッチとステップ長は一方が高まれば他方が低くなる相互依存の関係性にある(Hunter et al. 2004, Salo et al. 2011)ため両者を同時に高めることは難しい。結局、どちらかの強化に焦点をあてたトレーニングが行われるが、どちらを重視するかはトレーニングの効率を高めるうえで重要な問題といえる。加速局面に男女差が存在しその詳細が明らかになれば、男子選手を参考にして、女子選手が加速改善を目的にピッチ、ステップ長のいずれをより強化すべきかの示唆が得られることが期待できる。また、陸上競技では定期的にコントロールテストが行われるが、コントロールテストがピッチ、ステップ長の特徴を反映しえれば、コントロールテストの結果に基づき、より効果的にピッチ、ステップ長のトレーニングを実施できると考えられる。

そこで本研究は、発育発達による疾走能力の向上が望みにくくなる高校生の女子陸上選手におけるトレーニング法に資することを目標に、同等の競技力にある男女の陸上競技選手において、スタート直後の数歩におけるステップキネマティクス(接地時間、ステップ長、ピッチなど)およびその形態補正値を比較することを主たる目的とした。また付随として、陸上競技のコントロールテストで用いられることの多い最大無酸素パワー、立ち幅とびテストと、ステップキネマティクスとの関係性を、女子選手対象に調べることも目的とした。

方法

1) 被検者

被検者は、短距離(100m走, 200m走, 400m走)もしくは跳躍(走幅跳, 棒高跳)を専門とするが短距離走種目(100m走, 200m走, 110mハードル走, 400mハードル走, 400mリレー)にも出場する高校陸上競技選手女子7名, 男子6名であった。各被検者の自己ベスト記録(タイムはスピードに換算)は、2021年7月現在のU18日本記録(日本陸上連盟公式サイト)に対して、女子平均93.8%(89.5–97.9%)、男子平均94.7%(92.3–96.0%)であり男女で同等であった。被検者の身長は身長計、座高は座高計を用いて計測し、下肢長は身長から座高を引くことで求めた。身長に対する下肢長の割合は女子45.3(0.01)%, 男子46.1(0.01)%であり有意な差異はなかった。体重、体脂肪率、除脂肪量は、Inbody770により求めた。被検者の年齢、形態をTable 1にまとめた。

本研究に参加した被検者は、東京都競技力向上テクニカルサポート事業の対象選手であり、そのコンディショニングサポートの一部として測定を行った。測定日の午前中に体育館において形態および最大無酸素性パワー、立ち幅とびテスト他の測定を行い、十分な休憩時間を取った後、午後に30m走テストを実施した。被検者とその保護者、指導する学校の陸上部担当の先生には事前に測定主旨および内容の説明を行い、被検者およびその保護者からは任意参加の同意を書面により得た。

2) 30m走テスト

30m走タイムの測定は、各被検者がアップシューズを着用したうえで、陸上競技専用トラックにて行った。30m走のスタートはスタンディングスタートとした。スタート時の後ろ足の離地および10m, 20m, 30m地点の通過を光センサー(Witty system, Microgate社)で

Table 1 Subjects' characteristics average

	N	Age yrs	Height Cm	Body mass kg	BMI kg/m ²	Leg length cm	%Fat %	FFM Kg	FFM/ht kg/m
Female	7	16.6(0.7)	162.1(6.2)	50.9(4.7)	19.4(1.3)	73.4(3.9)	15.2(2.5)	43.1(3.0)	26.6(1.4)
Male	6	17.2(0.7)	176.7(9.3)	66.6(4.9)	21.4(1.4)	81.5(6.4)	8.7(2.7)	60.8(4.7)	34.4(1.0)
F/M Ratio			91.7%	76.4%	90.6%	90.1%	175.4%	70.8%	77.2%

Average (standard deviation)

検出して、各地点のタイムを求めた。10m, 20m, 30m 地点の光センサーの高さは走路から120cmとした。各被検者は2-3回の試行を行い、最も速い30m走タイムの試行を分析に用いた。

30m 走の走路に、スタートから10m 地点までの区間において OptoJump Next (Microgate 社) を設置した。OptoJumpNext は、走路から3mm の高さに1cm 間隔で光学センサーが配置され、走行中の被検者の足部の位置と時刻を検出する測定器である。これにより、スタートから10m 地点までのステップキネマティクス、すなわち各ステップのステップ長 (cm)、ピッチ (歩/秒) および接地時間 (秒) を求めた。本研究で1歩とは、スタート1歩目を除き、片足が接地した瞬間から対側の足が接地する瞬間までと定義した。スタート1歩目についてはスタート時に後ろ足が離地した瞬間から対側の足が接地する瞬間までとした。したがって、接地時間については、1歩目は存在せず2歩目から記録され、全被検者のデータ取得ができた7歩目までを分析した。ステップ長、ピッチは1歩目から6歩目までを分析対象とした。

また、男女の形態差を補正するために、伊藤ら (1997) にならい、ステップ長、ピッチを下肢長で補正したステップ指数、ピッチ指数を以下の式で求めた。

$$\text{ステップ指数} = \text{ステップ長 (cm)} \div \text{下肢長 (cm)}$$

$$\text{ピッチ指数} = \text{ピッチ (歩/秒)} \times (\text{下肢長 (m)} \div \text{g})^{1/2}$$

ここで g は重力加速度 ($\approx 9.8\text{m/秒}^2$) である。また、一般に接地時間とステップ長は比例す

るが、疾走能力の高い人ほど短い接地時間でより長いステップ長を獲得できることが知られている (Murphy et al. 2003, Lockie et al. 2013)。そこで、接地時間当たりのステップ長 (SI-Ct) を以下の式で求めた。

$$\text{SI-Ct (cm/秒)} = \text{ステップ長} \div \text{そのステップ長の起点となる足の接地時間}$$

3) 最大無酸素パワーテスト、立ち幅とびテスト

最大無酸素パワーテストは、電磁式自転車エルゴメータ (Power Max VIII, コナミ社製) に内蔵された「無酸素パワーテスト」を用いて実施した。エルゴメータのサドル位置を各被検者の最適な位置に設定した後に被検者を着座させ、足部を付属のトゥークリップとベルトで固定した。その後、被検者は椅坐位姿勢でお尻をサドルから離すことなく、機器の指示に従い10秒間の全力ペダリング運動を2分の休憩をはさみ3セット実施した。3セットの負荷は徐々に重くなり、各負荷とその負荷に対するペダリングの最大回転数との回帰直線から推定されるパワーの最高値を最大無酸素パワーとした (国立スポーツ科学センター 2021)。その後の分析には、最大無酸素パワーを被検者の体重で除した体重比 (W/kg) を利用した。

立ち幅とびテストは文部省 (2000) の実施要項に従い実施した。各被検者は、2-3回の試行を行い最も良い結果を分析に使用した。

4) 統計

各測定値を男女別にまとめ、平均 (標準偏差) で示した。男女比を計算するときは、女子の平

均値÷男子の平均値×100(%)で求めた。測定値がタイムの場合は、距離をタイムで割り速度に換算したうえで男女比を求めた。男女差の有意差を検定する場合は、ノンパラメトリックのMan-Whitney検定を用いた。また女子選手において、ステップキネマティクスの各指標と0-10m区間タイムの関係性、および、最大無酸素パワー、立ち幅とびと各指標の関係性を、ノンパラメトリックのSpearmanの順位相関係数により有意性を検定した。各検定の有意性は5%水準で判断した。

結果

1 30m走テスト

1.1 ラップタイム

30m走テストの10m区間ずつのラップタイムをFig.1に示した。いずれの区間も男子が女子より有意に速かった。男女比は、0-10m, 10-20m, 20-30m各区間それぞれで89.3%, 90.6%, 89.6%であった。

1.2 接地時間

接地時間は男女ともにほぼ同じ変化を示した(Fig.2)。すなわち、2歩目の約0.20秒から4歩目の約0.15秒へ急減したのち、それ以降、

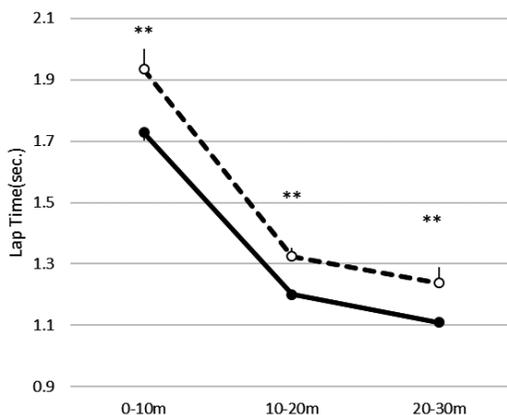


Fig.1 Lap time in every 10-m interval (○Female ●Male)

**p<0.01

7歩目の約0.13秒まで徐々に低下した。何れの歩にも男女間に有意差は見られなかった。

1.3 ステップ長、ピッチ

ステップ長、ピッチおよびそれぞれの指数をFig.3に示した。ステップ長 (Fig.3左上)は何れの歩も男子が女子より大きく、5,6歩目において有意差が見られた。しかし、ステップ指数 (Fig.3右上)は男女でほぼ同じであり、有意差は見られなかった。

ピッチ (Fig.3左下)は、男子が女子より大きい傾向にあったが有意差は見られなかった。しかし、ピッチ指数 (Fig.3右下)は、2歩目を除き、男子が女子より有意に大きかった。

1.4 ステップ長接地時間比 (SI-Ct)

SI-Ctは男女ともにスタートより徐々に増加し、3歩目から6歩目にかけて男子が女子より有意に大きかった。

2 最大無酸素パワーおよび立ち幅とび

最大無酸素パワー、立ち幅とびの結果をTable 2にまとめた。いずれも男子が女子より有意に大きく、その男女比(女÷男×100)は、およそ80%であった。

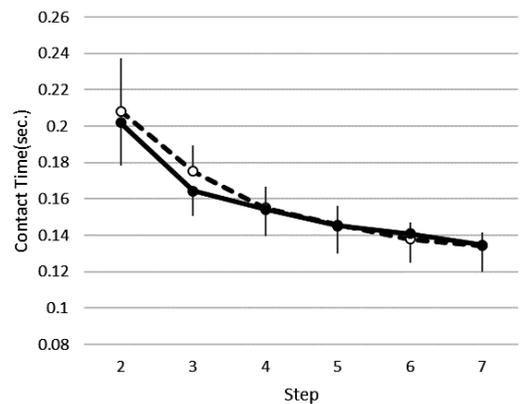


Fig.2 Contact time at the sprint start (○Female ●Male)

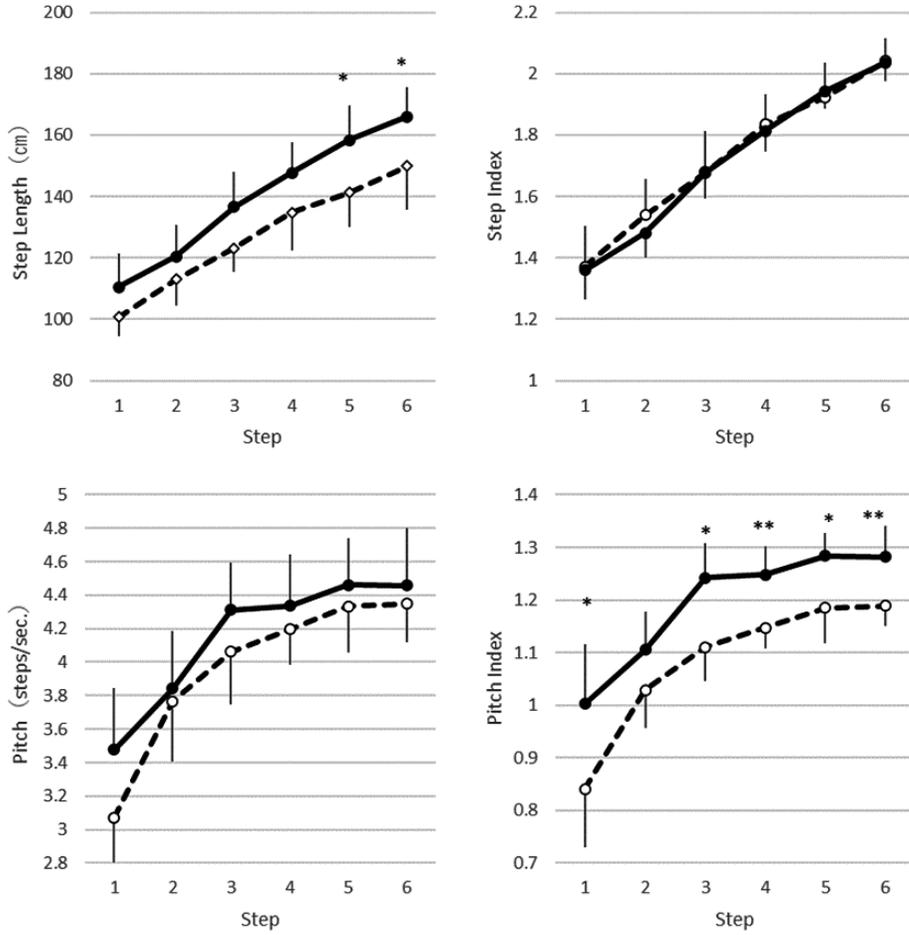


Fig.3 Step length and index (upper), and pitch and pitch index (lower) (○Female ●Male)
*p<0.05, **p<0.01

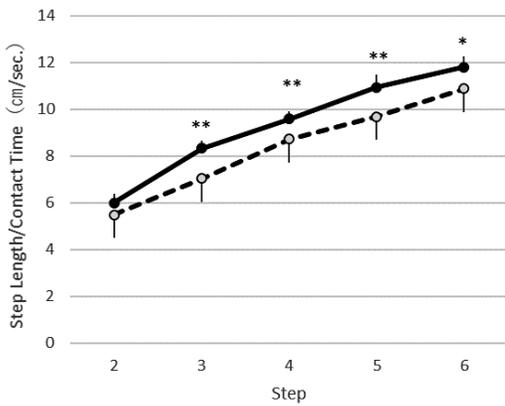


Fig.4 Step length per contact time at the sprint start (○Female ●Male)
*p<0.05, **p<0.01

Table 2 Results of fitness control tests

	Anaerobic Power W/kg	Broad Jump Cm
Female	11.3(0.8)	223.1(18.6)
Male	14.1(1.1)	269.0(21.0)
F/M ratio	80.3%	83.7%

Average (standard deviation)

3 相関

接地時間, ステップ長, ピッチについて, スタート直後の1歩目, 2歩目および3-6歩目で傾向が異なったので, ステップ長, ピッチとその指数については1歩目, 2歩目と3-6歩

目の平均をまとめた (SI-Ct については 2 歩目と 3-6 歩目の平均をまとめた)。女子選手において、それらの値と 0-10m 区間タイムの相関係数を示したものが Table 3 である。ステップ長、ステップ指数、SI-Ct と 0-10m 区間タイムについては、いずれの歩数においても有意な相関性がみられなかった。しかし、ピッチ、ピッチ指数はともに 1 歩目において、0-10m 区間タイムと有意な負の相関がみられ、1 歩目のピッチ、ピッチ指数が高いものほど 0-10m 区間タイムが短かった。

女子選手における、0-10m 区間タイムとコントロールテスト (最大無酸素パワー、立ち幅とび) の結果との相関関係を Table 4 に示した。多くの項目において有意な相関関係は見られなかった。唯一、2 歩目の SI-Ct が、最大無酸素パワー、立ち幅とびと相関係数 0.82、0.86 の関係性にあった。

考察

2021 年 7 月現在、100m 走の U18 日本記録は男子 10.19 秒、女子 11.43 秒である。秒速に換算するとそれぞれ 9.81m/秒、8.75m/秒であり男女比は 89.2% である。本研究の 30m 走の

各 10m 区間タイムの男女比はそれぞれで 89.3% - 90.6% であり、日本記録の男女比とほぼ同等であった。すなわち、本研究の被検者の競技レベルは各性別において同水準にあり、以下では疾走能力に関する技術的、体力的レベルが各性別でみれば同じ程度にある前提で議論する。

走速度はステップ長とピッチの積である。ステップ長、ピッチは相互依存の関係にあり、走者自身の選択あるいは無意識のうちにも変わりえる (Hunter et al. 2004, Salo et al. 2011)。しかし、スタート直後の数歩を男女で比較した場合、男子は女子よりもステップ長が 5 歩目以降で有意に大きく、ピッチも大きい傾向にあったが有意な差異ではなかった (Fig.3)。したがって、スタート直後の 10m 区間で既に生じている男女の 10% 程度のタイム差は、主に男女のステップ長の差が主要因であると考えられる。しかしながら、ステップ長を脚長比で見たステップ指数では男女の有意差は消失し、ほぼ同じ値となった。本研究の男女の身長比、脚長比は区間タイムの男女比と同様の約 90% であった。これらのことは、本研究の女子は、スタート直後のステップ長について、からだの大きさにあわせて生み出す力を男子と同程度に獲得していると考えられる。したがって、ステップ長がタイムの男女差の起因ではあるものの、女子選手の加速能力向上においては、ステップ長を延ばすことは必ずしも優先的課題ではないことが考えられる。

一方のピッチについては、脚長あたりのピッチ指数でみた場合には、女子が男子より有意に小さかった。脚長が短い女子は物理的には脚を回転させやすいはずであるがそうになっていな

Table 3 Correlation of step kinematic parameters with 0-10m lap time in the F.

	Step No.1	Step No.2	Step No.3-6
Step length	0.00	0.00	-0.29
Step Index	0.36	0.21	0.04
Pitch	-0.82**	-0.04	0.36
Pitch Index	-0.89**	-0.25	0.11
SI-Ct		0.18	-0.07

**p<0.01

Table 4 Correlation of fitness control tests results with step kinematic parameters in the F.

	Step length			Step Index			Pitch			Pitch Index			St-Ct	
	No.1	No.2	No.3-6	No.1	No.2	No.3-6	No.1	No.2	No.3-6	No.1	No.2	No.3-6	No.2	No.3-6
Anaerobic Power	-0.11	-0.11	0.04	0.36	0.43	0.46	0.00	0.71	0.43	-0.07	0.57	-0.18	0.82**	0.07
Broad Jump	-0.29	-0.14	-0.14	0.29	0.46	0.39	-0.21	0.57	0.50	-0.36	0.43	-0.14	0.86**	0.14

**p<0.01

かった。この結果は、仮に形態が同じ男女がいた場合にも、ピッチの低さ分だけ女子選手がより遅くなることを意味する。女子のみで相関性を見た場合、特に1歩目のピッチ、ピッチ指数は0–10m区間タイムと係数-0.8以下と相関性が高く (Table 3)、スタート直後のピッチを高めることは加速能力を向上させるうえでポイントとなることが示唆される。一般高校生の疾走能力は、男子ではピッチが増加することでさらに発達するのに対して、女子ではピッチ増加は観察されず、疾走能力のさらなる発達も観察されない (加藤ら 1994)。また、100m 走の中間疾走を調べた伊藤ほか (1998) は、ピッチおよびピッチ指数は男女を含めた場合や女子のみの場合は走速度と相関するが、男子のみでは相関しないため、ピッチを高めることはより女子で重要であることを示唆している。さらには、100m 走においてピッチは約20m 地点には最大となり、その後漸減する (羽田ら 2003, *Cronin and Hansen* 2006, 内藤ら 2013)。加速局面の走速度の増加には、スタート後8歩目まではピッチの増加率の貢献が大きく、ステップ長の増加率が加速度と関連するのはそれ以降との報告 (永原 2013) もあり、ピッチの高さは中間疾走以上にスタート時の加速局面でより重要と考えられる。また、内藤ら (2012) はステップタイプ (ステップ長優位タイプもしくはピッチ優位タイプ) で短距離選手を分類したうえで、それぞれのステップタイプでの疾走能力の高い選手と低い選手を比較した場合、ステップ長、ピッチに有意差が出てくるのは7歩目 (およそ9m 地点) 以降としている。したがって、選手のステップタイプにかかわらず、女子の高校陸上選手においては男子以上に、スタート時にピッチを高める意識をより高くもつことが10m までの加速能力向上に有効であることが示唆される。

本研究はステップキネマティクスの観察にとどまり、関節角度や角速度、力発揮の男女の違いを計測しておらず、スタート直後のピッチ指

数の男女差を生む要因は明らかにできない。先行研究では、小林ら (2013) が短距離走選手において疾走速度 80% 時と 100% 時 (全力疾走時) の下肢三関節の動きの変化を男女で比較している。その結果では、走速度増加に対して男女ともにステップ長ではなくピッチの増加で対応し、そのために下肢を前方へより早く回復させる必要性から離地時の股関節伸展角度を減少させることが示されている。そして、男子に比べて女子は股関節屈曲伸展筋力が低いために股関節の回転速度を男子ほどには高められていないことが示唆されている。Hoshikawa et al. (2006)、星川ら (2011) は陸上短距離選手の股関節筋群の筋断面積を調べ、体格差を考慮した場合も女子は特に屈曲側の筋断面積が男子に比べて小さいことを示し、Tottori et al. (2018) は思春期前の短距離走選手対象に、股関節屈曲筋群の発育が50m 走のスピードおよびピッチと相関 (ステップ長とは相関なし) することを指摘している。これらの研究に基づけば、特に女子選手においてスタート時のピッチを高めるうえで股関節屈曲筋群の強化は一つの着目点と考えられる。実際に Deane et al. (2005) は、活動的な大学生を対象に伸張性チューブを用いた股関節屈曲トレーニングを行ったところ、10ヤード (約9.1m) のタイムは男女ともに改善したことを報告している。その一方で、短距離走選手の股関節筋群を調べた渡邊ら (2000) は、男子では股関節筋群の筋断面積と筋力、中間疾走時の走速度とに有意な関連性を認めるが、女子ではその関連性がみられないことを報告している。女子では股関節筋群の筋力を疾走速度に有効に利用できていない別問題の存在の可能性も考えられる。

接地時間当たりのステップ長 (SI-Ct) にも有意な男女差がみられた。この結果には、接地時間が男女でほぼ同じであったため、ステップ長の有意差がそのまま反映したと考えられる。一般に、疾走能力の高い人は短い接地時間でより長いステップ長を獲得できる (*Murphy et al.* 2003,

Lockie et al. 2013). 福田と伊藤 (2004) は、スタート後の秒速 6 m の段階において男子選手がさらに +0.7m/s の加速を上乘せできるのに対して、女子選手は +0.45m/s の加速しかできずに、最高到達速度も低くなることについて、筋の力一速度関係の影響を議論している。すなわち男子選手が、相対的に後方へ速く動く地面に対して短時間に大きな力発揮を行いステップ長の獲得につなげるのに対して、女子選手では高速領域でそれができず、ステップ長あたりにみて接地時間を短くできてないという解釈である。また、股関節伸展速度を脚全体のスイング速度に有効利用するには、接地期における地面への力伝達において足関節がより固定されていた方が適切である (伊藤 2003)。接地期において、女子は男子と比較し足関節の伸展動作がありそれが余分な身体重心の上下動を生み出すこと (伊藤 2003) や、男子選手が接地期において足関節をより底屈位で固定し、接地時間短縮とそれに伴いピッチ増加を達成するのに対して、女子ではそれができていないこと (小林ら 2013) などが報告されている。これらには一般に女子の下肢スティッフネスが男子と比較して低い (McMahon et al. 2017) ことが影響している可能性もある。一般に、100m 走における加速局面はそれ以降と比べて、筋力への依存度が大きくストレッチショートニングサイクルへの依存度は小さいと考えられる (福田と伊藤 2004, Cronin and Hansen 2006, 小林 2016) が、下肢スティッフネスが低い女子においてはプライオメトリクストレーニングを重視することも提案される。

ところで、陸上競技においてコントロールテストとして利用されることの多い最大無酸素パワー、立ち幅とびテストの結果は、2 歩目のみであるが接地時間あたりのステップ長と有意に相関し、スタート直後の接地時間当たりのステップ長を、一定程度、予測しえると考えられる。一方、ピッチ、ピッチ指数とはいずれの歩においても有意な相関が観察されなかった。最

大無酸素パワー、立ち幅とびテストはともに股関節伸展をはじめ下肢三関節の伸展が主導となるテストであり、その結果は女子選手の接地時間当たりのステップ長を予測しえるが、ピッチは反映しにくいことが考えられる。女子陸上選手のピッチを高める観点では、コントロールテストに股関節屈曲に関わるテストも加え、ピッチとの関係性を検討すべきことが提案できる。ただし、股関節屈曲を評価できる妥当性が検証された簡便なコントロールテストは管見の限り見当たらない。

本研究からの現場への示唆としては、高校女子陸上競技選手が競技レベルは同程度であるがタイムは速い男子を参考にすると、スタート直後の加速能力の向上にはステップ長増加よりもピッチ増加を意識してトレーニングを行うことが挙げられる。また、そのために股関節屈曲筋群の強化をはかることや、筋の力一速度関係において高速領域の力発揮能力を高めること、足関節をより固定するためにプライオメトリクストレーニングを行うことなどが候補として考えられる。

謝辞

本研究成果は、公益財団法人東京都スポーツ文化事業団によるテクニカルサポート事業 (大学連携事業) に日本女子体育大学が連携し得られたものである。

文献

- Cronin, J. and Hansen, K. T.: Resisted sprint training for the acceleration phase of sprinting. *Strength Cond. J.*, 28: 42-51, 2006.
- Deane, R. S., Chow, J. W., Tillman, M. D. and Fournier, K. A.: Effects of hip flexor training on sprint, shuttle run, and vertical jump performance. *J. Strength Con. Res.*, 19: 615-621, 2005.
- Delecluse, C.: Influence of strength training on sprint performance. *Current findings and implications*

- for training. *Sports Med.*, 24: 147-156, 1997.
- 福田厚治, 伊藤章: 最高疾走速度と接地期の身体重心の水平速度の減速・加速: 接地による減速を減らすことで最高疾走速度は高められるか. *体育学研究*, 49: 29-39, 2004.
- 羽田雄一, 阿江通良, 榎本靖士, 法元康二, 藤井範久: 100 m走における疾走スピードと下肢関節のキネティクスの変化. *Jpn. J. Biomech. Sports Exerc.*, 7: 193-205, 2003.
- Hunter, J. P., Marshall, R. N. and McNair, P. J.:* Interaction of step length and step rate during sprint running. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 36: 261-271, 2004.
- Hoshikawa, Y., Muramatsu, M., Iida, T., Uchiyama, A., Nakajima, Y., Kanehisa, H. and Fukunaga, T.:* Influence of the psoas major and thigh muscularity on 100-m times in junior sprinters. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 38: 2138-2143, 2006.
- 星川佳広, 村松正隆, 飯田朝美, 井伊希美, 中嶋由晴: 競技力の異なる男女ジュニア短距離選手の股関節筋力と筋横断面積. *トレーニング科学*, 23: 153-165, 2011.
- 伊藤章, 齊藤昌久, 淵本隆文: 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: 71-83, 1997.
- 伊藤章: 短距離走に関する研究: コーチングに役立つ科学的根拠を求めて. *体育学研究*, 48: 355-367, 2003.
- 加藤謙一, 宮丸凱史, 阿江通良: 女子高生の疾走能力および最大無酸素パワーの発達. *体育学研究*, 39: 31-27, 1994.
- 小林海, 中川裕介, 田内健二, 磯繁雄: 走速度変化に対する下肢キネマティクスの差異における男女差. *スプリント研究*, 22: 47-55, 2013.
- 小林海: 短距離走の加速局面における走速度の決定因子に関する研究. *陸上競技研究*, 105: 2-12, 2016.
- 国立スポーツ科学センター: フィットネス・チェック マニュアル. 最大無酸素パワー. https://www.jpnsport.go.jp/jiss/Portals/0/column/fcmanual/11_saidaimusansopower.pdf (2021年8月確認)
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., Schultz, A. B., Jeffriess, M. D. and Callaghan, S. J.:* Influences of sprint acceleration stance kinetics on velocity and step kinematics in field sport athletes. *J. Strength Con. Res.*, 27: 2494-2503, 2013.
- 松尾彰史, 広川龍太郎, 杉田正明, 柳谷登志雄: レーザー方式による 100m レースのスピード評価の試み. 日本トレーニング科学会編, *スプリントトレーニングー速く走る・泳ぐ・滑るを科学する*. 朝倉書店: 東京, pp.83-95, 2009.
- McMahon, J. J., Comfort, P. and Pearson, S.:* 下肢ステイフネス: 女性アスリートに関する考察. *ストレングス&コンディショニング*, 24: 66-69, 2017.
- 文部省: 新体力テスト. 有意義な活用のために, 2000.
- Murphy, A. J., Lokie, R. G. and Coutts, A. J.:* Kinematic determinants of early acceleration in field sports athletes. *J. Sports Sci. Med.*, 2: 144-150, 2003.
- 永原隆, 内藤景, 宮代賢治, 岡子浩二: 全力疾走時の加速度とピッチおよびストライド変化率との関係の変化. *スプリント研究*, 22: 143-145, 2013.
- 内藤景, 菊山靖, 宮代賢治, 山元康平, 尾縣貢, 谷川聡: 短距離走競技者のステップタイプに応じた 100m レース中の加速局面の疾走動態. *体育学研究*, 58: 523-538, 2013.
- 日本陸上連盟公式サイト: U18 日本記録 <https://www.jaaf.or.jp/record/u18/?segment=2> (2021年8月2日閲覧)
- Salo, A. L. T., Bezodis, I. N., Batterham, A. M. and Kerwin, D. G.:* Elite sprinting: Are athletes individually step-frequency or step-length reliant? *Med. Sci. Sports Exerc.*, 43: 1055-1062, 2011.
- Tottori, N., Suga, T., Miyake, Y., Tsuchikane, T., Otsuka, M., Nagano, A. Fujita, S. and Isaka, T.:* Hip Flexor and knee extensor muscularity are associated with sprint performance in sprint-trained preadolescent boys. *Pediatr. Exerc. Sci.*, 30: 115-123, 2018.
- 渡邊伸晃, 榎本好孝, 大山下圭悟, 狩野豊, 安井年文, 宮下憲, 久野謙也, 勝田茂: スプリンターの股関節筋力とスプリント走パフォーマンスとの関係. *体育学研究*, 45: 520-529, 2000.
- 岡子浩二: スプリントトレーニングのマネジメント. 日本トレーニング科学会編, *スプリントトレーニングー速く走る・泳ぐ・滑るを科学する*. 朝倉書店: 東京, pp.1-9, 2009.