

女子短距離走選手を対象とした足底屈パワーテストと疾走能力の関係

永原 隆¹, 宮代賢治², 囃子浩二³

¹⁾ 筑波大学大学院人間総合科学研究科コーチング学専攻

²⁾ 筑波大学大学院人間総合科学研究科体育科学専攻

³⁾ 筑波大学体育系

キーワード: ジャンプ能力, スプリント, 足関節

[要 旨]

本研究では, 女子短距離走選手を対象として, 足底屈筋群の力-パワー発揮能力を評価するジャンプテストの特性について検討し, 疾走能力の間接的評価に対する有効性について明らかにすることを目的とした. 大学陸上競技部に所属する女子短距離走選手 8 名を被験者とし, これまで一般的に用いられてきた 5 種のジャンプテスト (standing long jump, standing five jump, squat jump, counter movement jump, rebound jump) に加えて, 足底屈のみで遂行されるジャンプテスト (Ankle Jump: AJ) を行わせ, 得られた各ジャンプテストの記録間および 100m 走記録との関係について検討した. また, 典型的な 2 選手を抽出し, ジャンプテストによって評価した力-パワー発揮特性と疾走速度の変化特性の関係について事例的に検討した. その結果, 足関節の底屈のみで遂行される AJ は, これまで一般的に用いられてきたジャンプテストによって評価される力-パワーの発揮能力とは異なり, 足底屈筋群の伸張短縮サイクルを利用した短い遂行時間の力-パワー発揮能力を評価できることがわかった. また, AJ は 100m 走における女子選手の疾走能力に対する間接的評価指標として有効であった. さらに, 事例的な検討から, AJ によって最高速度付近の高い疾走能力を間接的に評価できる可能性が示された.

スポーツパフォーマンス研究, 5, 279-294, 2013 年, 受付日: 2013 年 6 月 3 日, 受理日: 2013 年 10 月 27 日

責任著者: 永原隆 筑波大学体育系 〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1 nagahara.r@gmail.com

Relationship of strength-power test of plantar flexor with sprinting ability for female sprinters

Ryu Nagahara, Kenji Miyashiro, Koji Zushi

University of Tsukuba

Key Words: jumping ability, sprint, ankle joint

[Abstract]

The present study examined characteristics of a jump modality which evaluates a strength-power capability of the plantar flexor and the effectiveness of an indirect assessment of the sprinting ability of female sprinters using the jump. The participants, eight female sprinters from a varsity track club, performed five traditional jump tests (standing long jump, standing five jump, squat jump, counter movement jump, and rebound jump), and, in addition, an ankle jump (AJ) that was executed with only planter flexion (without hip and knee extension). The correlation coefficients between variables of jump tests and the best records of 100-m race were calculated. Furthermore, focusing on two typical sprinters, an influence of difference in characteristics of strength-power capability on the profile of changes in running speed was also examined as a case investigation. The results revealed that the AJ could be used for evaluating the reactive strength-power capability of the plantar flexor with short force exerting time. The ability evaluated with the AJ is different from the strength-power capability that has been evaluated with the traditional jump tests. The AJ was also effective as an indirect assessment index of sprinting ability. In addition, the case investigation of the two typical sprinters suggested the possibility of using the AJ for an indirect evaluation of sprinting ability at higher speeds in contrast to initial acceleration.

I. 諸言

陸上競技の 100m 走において高いパフォーマンスを発揮するためには、非常に大きな力やパワーの発揮能力が必要とされることから (Bezodis et al., 2008; Bosch and Klomp, 2005), それらの能力を間接的かつ簡便に評価するために、図 1 から図 5 および動画 1~5 に示したような種々のジャンプテスト (Standing Long Jump: SLJ, Standing Five Jump: SFJ, Squat Jump: SJ, Counter Movement Jump: CMJ, Rebound Jump: RJ) が用いられてきた (Bissas and Havenetidis, 2008; Kale et al., 2009; Smirniotou et al., 2008; Young, 1995). これらの異なるジャンプテストは、選手の異なる力-パワー発揮能力を評価するために用いられている (Bobbert et al., 1986; Fukashiro and Komi, 1987; Komi and Bosco, 1978). SJ は、下肢のコンセントリックな力-パワー発揮能力, SLJ や CMJ は、反動動作によって伸張短縮サイクルを利用した下肢の力-パワー発揮能力, RJ は、非常に大きな先行負荷により伸張短縮サイクルの作用を強化した下肢の力-パワー発揮能力, SFJ は姿勢の変化をともなう前方への連続的な下肢の力-パワー発揮能力を評価している. このように、異なるジャンプテストの記録は、異なる下肢の力-パワー発揮能力を反映しているにも関わらず、それぞれのジャンプテストと疾走能力との間に関係性が報告されている (Bret et al., 2002; Bissas and Havenetidis, 2008; Kale et al., 2009; Misjuk and Viru, 2007; Smirniotou et al., 2008; Young et al., 1995). このような結果は、100m 走の加速や最高速度付近、減速などの異なる局面において、必要とされている力-パワー発揮能力が異なることに起因している (Delecluse, 1997).



図 1 Standing long jump (SLJ) の例 (動画 1)



図 2 Standing five jump (SFJ) の例 (動画 2)



図 3 Squat jump (SJ) の例 (動画 3)

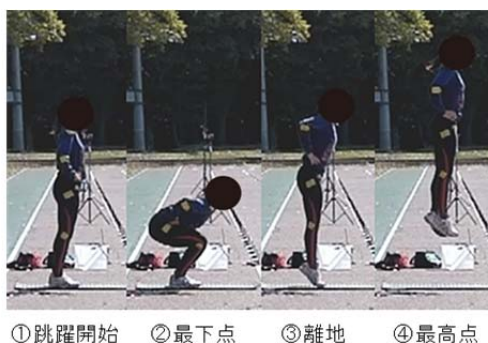


図 4 Counter movement jump (CMJ) の例 (動画 4)

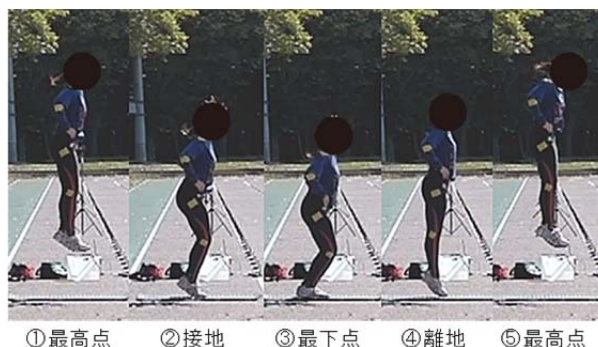


図 5 Rebound jump (RJ) の例 (動画 5)

一方, 100m 走の記録は, レース中の最高速度と強く関係していることから (Mackala, 2007), これまで最高速度局面における疾走動作などが積極的に評価され, 疾走能力との関係が検討されてきた (伊藤ほか, 1998; Mann, 2011). 力やパワーの発揮という観点から, 最高速度を制限する (決定する) 要因として, 疾走中に脚を素早く前後に動かすための股関節の屈曲伸展筋力 (van Ingen Schenau et al., 1994) や疾走中のスイング期後半における振り出した下腿を引き戻す際の膝関節の負のパワー (Chapman and Caldwell, 1983), 疾走中の支持期において発揮される足関節の負のパワーが挙げられている (Bezodis et al., 2008). しかし, 疾走中のスイング期における股関節の屈曲伸展トルクやスイング期後半の膝関節の負のパワーは, スタートから 50m 付近で発現する最高速度に達する以前の 25m 付近において最高値に達することから (永原, 2008), これらの力発揮能力が最高速度を決定する要因である蓋然性は低い. 足底屈筋力に関しては, 足関節が地面に力を伝える接地点に最も近い下位の関節であること (ここでは中足趾節関節は無視する), 足底屈力の

大きさが反映される鉛直地面反力の大きさが疾走能力の決定因子であると指摘されていること (Weyand et al., 2000), ヒトや走鳥類, 二肢で移動運動を遂行するカンガルーなどの動物において, 足底屈による力の発揮能力が最高速度を左右する可能性が示されていること (Bennett and Taylor, 1995; Hutchinson, 2004; Roberts and Scales, 2002) を考慮すると, 高い最高速度に与える影響が大きいと結論付けられる。

先に述べた疾走能力と下肢の力-パワー発揮能力の関係を検討するために用いられてきたジャンプテストは, 主に股関節, 膝関節, 足関節の伸展および底屈によって遂行される。SJ や CMJ などの鉛直ジャンプの遂行における足底屈の貢献は小さくないが (下肢三関節においてなされる総仕事の 35—40%) (Bobbett et al., 1986; Bobbett et al., 1987; Jacobs et al., 1996), それらのジャンプテストの記録は足関節底屈筋力の優劣を直接反映したものではない。足底屈筋群の力-パワー発揮能力を直接評価する鉛直ジャンプとして, 股関節および膝関節を伸展位で固定して遂行される足底屈のみによるジャンプが用いられている (Bosco et al., 1982; Fukashiro et al., 2005; Yamazaki et al., 1989)。足底屈筋力の優劣が最高速度に与える影響が大きいことから, このような足底屈筋群の力-パワー発揮能力が反映されるジャンプテスト (Ankle Jump: AJ) が, これまで一般的に用いられてきたジャンプテストと同様に, 100m 走の疾走能力を間接的に評価する有用な指標となる可能性がある。足底屈による力-パワー発揮能力と 100m 走の疾走能力の関係を検討することは, 疾走能力のより適切な間接的評価と高い疾走能力に必要な体力特性への理解を深める一助となるだろう。

疾走能力とジャンプテストで評価した力-パワー発揮能力との関係について検討した研究は数多く存在するものの (Bissas and Havenetidis, 2008; Bret et al., 2002; Kale et al., 2009; Morin and Belli, 2003; Smirniotou et al., 2008), 女子選手を対象としたものは少ない (Hennessy and Kilty, 2001; Young et al., 1995)。女子選手に, 男子選手を対象とした研究から得られた示唆を適用することは, 形態的特性などに差異があることから必ずしも有用ではなく, 女子選手を対象とした研究の必要性は高いと考えられる。また, 男女の短距離走選手を対象とした研究では, 男子選手を被験者とした場合と比べて, 女子選手の方が CMJ や SFJ の記録と疾走能力 (10m 走および 30m 走のタイム) との間の関係性が強いことが示されている (Misjuk and Viru, 2007)。したがって, 女子選手を対象とした疾走能力の間接的評価指標としてジャンプテストの有効性を検討することは, 実践的な立場から考えても意義深いであろう。

さらに, 著者らの経験に基づく限りでは, 短距離走における実践的な場面で, 疾走能力の優劣に関わらず, 選手の特徴について, 「足首が硬い」あるいは「軟らかい」と表現することがあり, 先に述べた足底屈筋群の力-パワー発揮能力が反映されるジャンプテストの記録がこのような選手の特徴を評価する指標となる可能性もある。

本研究では, 陸上競技の女子短距離走選手 (以下, 女子短距離走選手) を対象として, 足底屈筋群の力-パワー発揮能力を評価するジャンプテストの特性について検討し, 疾走能力の関節的評価に対する有効性について明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

被験者は、大学陸上競技部に所属する女子短距離走選手 8 名 (年齢 19.9 ± 1.1 yr, 身長 1.63 ± 0.08 m, 体重 52.8 ± 2.6 kg, 100m 走自己最高記録 12.20 ± 0.45 s; 11.68–12.81 s) とした。本研究は倫理委員会の承認を得て実施され、実験に先立ち、実験の要旨、内容および危険性について被験者へ説明し、書面で実験参加の同意を得た。

2. ジャンプテストによるカーパワー発揮能力の評価

ウォーミングアップの後、被験者には 6 種のジャンプテスト (SLJ, SFJ, SJ, CMJ, RJ, AJ) を行わせた (図 1-6 および動画 1, 2, 3, 4, 5, 6)。SLJ では、被験者に立位の状態から反動動作を行わせて、両脚で砂場へ跳躍させた。SFJ では、被験者に立位の状態から反動動作を行わせて両脚で跳躍を開始させ、その後両足交互に 4 回跳躍を行わせて砂場へ着地させた。跳躍開始地点から砂場の着地地点の水平長軸方向距離を計測し、SLJ, SFJ の記録とした。SLJ, SFJ は、それぞれ 2 回の試技を行わせ、記録の良かった試技の値を分析に用いた。全ての鉛直ジャンプテストは、上肢の動作による影響を排除するために、腰に手を当てた状態で行わせた。SJ, CMJ は全力で 2 試技ずつ行わせ、記録 (跳躍高) の良かった試技を採用した。RJ では、6 回の連続跳躍 (できるだけ短い支持時間で高く跳ぶように指示) を行わせ、最初と最後の跳躍を除いた跳躍のうち、後述するインデックスの値が最も高かった跳躍を採用し、分析に用いた。AJ では、先行研究を参考として (Bosco et al., 1983; Fukashiro et al., 2005), 股関節、膝関節を伸展位で固定するように指示し、足関節と中足趾節関節の底屈のみで 6 回の連続跳躍 (できるだけ短い支持時間で高く跳ぶように指示) を行わせ、RJ と同じく最初と最後の跳躍を除いた跳躍のうち、インデックスの値が最も高かった跳躍を採用し、分析に用いた。各鉛直ジャンプテストの滞空時間および接地時間は、マットスイッチ (Multi Jump Tester; DKH Co., Tokyo, Japan) を用いて計測した。また、滞空時間から Bosco et al. (1983) の方法により跳躍高を求めた。RJ および AJ では、跳躍高、接地時間、さらに跳躍高を接地時間で除したインデックスを変数とした。AJ 以外のジャンプテストに関しては、被験者が普段のトレーニングで行っていることから、実験に先立って練習等は行わせなかった。AJ に関しては、実験に先立ち、験者の監督のもとで十分に練習を行い、適切にジャンプを遂行できることを確認した。また、AJ 以外のジャンプテスト遂行時には各自のシューズを着用して行わせたが (図 1-5), AJ ではシューズを着用せずに行わせた (図 6)。各ジャンプテストの試技に際しては、測定者が被験者のジャンプを目視で評価し、適切に遂行されていないと判断した場合は再度試技を行わせた。



図 6 Ankle jump (AJ) の例 (動画 6)

3. 統計処理

各変数の平均と標準偏差を算出し、各ジャンプテストの記録間および 100m 走自己最高記録との関係について検定するために、ピアソンの積率相関係数を算出した。なお、有意水準は 5%未満とした。

4. 事例的評価

下肢の力-パワー発揮能力の特性が異なる選手の特徴を事例的に評価するために、ジャンプテストの結果が異なる典型的な2名の選手を抽出し、実験実施時に近い時期に行われたコントロールテストでのスターティングブロックからの 30m 走における 0-10m 区間および 10-30m 区間, 60m 加速走における 30-40m 区間, 40-50m 区間, 50-60m 区間の平均速度を比較した。この際の各区間の平均疾走速度は、各区間の距離を光電管 (Sprint System, Brower Timing Systems, Draper, UT, USA) によって計測した各区間のタイムで除すことで求めた。

III. 結果

表 1 は、各ジャンプテストの記録および変数間の相関係数を示したものである。ジャンプテストの変数間では、SJ の跳躍高と CMJ の跳躍高との間 ($r = 0.94$), RJ のインデックスと RJ の跳躍高との間 ($r = 0.74$), AJ のインデックスと AJ の跳躍高との間 ($r = 0.99$) に有意な正の相関があった。また、SJ および CMJ の跳躍高と AJ の接地時間との間 ($r = -0.83, -0.77$), RJ のインデックスと RJ の接地時間との間 ($r = -0.76$) に有意な負の相関があった。

表1 ジャンプテストにおける各変数の記録と変数間の相関係数

		n=8									
Variables [unit]		Mean $\pm$ SD	Correlation coefficients								
			SLJ	SFJ	SJ	CMJ	RJI	RJCT	RJH	AJI	AJCT
Standing long jump (SLJ) [m]		2.35 $\pm$ 0.10									
Standing five jump (SFJ) [m]		11.80 $\pm$ 0.57	0.65								
Squat jump (SJ) [m]		0.36 $\pm$ 0.04	0.63	0.44							
Counter movement jump (CMJ) [m]		0.39 $\pm$ 0.04	0.64	0.50	0.94*						
Rebound jump	Index (RJI) [$m \times s^{-1}$]	2.38 $\pm$ 0.36	-0.09	-0.08	0.36	0.51					
	Contact time (RJCT) [s]	0.147 $\pm$ 0.017	0.26	-0.09	-0.07	-0.32	-0.76*				
	Height (RJH) [m]	0.35 $\pm$ 0.04	0.24	-0.11	0.51	0.53	0.74*	-0.14			
Ankle Jump	Index (AJI) [$m \times s^{-1}$]	0.91 $\pm$ 0.49	0.10	0.37	0.52	0.52	0.22	-0.49	-0.20		
	Contact time (AJCT) [s]	0.130 $\pm$ 0.015	-0.42	-0.64	-0.83*	-0.77*	-0.15	0.10	-0.16	-0.66	
	Height (AJH) [m]	0.11 $\pm$ 0.06	0.08	0.35	0.44	0.45	0.14	-0.47	-0.29	0.99*	-0.60

*: $P < 0.05$

図 7 は、ジャンプテストの記録と 100m 走自己最高記録との間の相関係数を示したものである。図中の赤および青で示した値は、事例的に抽出した AJ インデックスの値が最も高かった選手 (A 選手, 100m 走自己最高記録 11.68 s) および最も低かった選手 (B 選手, 100m 走自己最高記録 12.01 s) のものである。100m 走自己最高記録との間には、SFJ の跳躍距離 ($r = -0.81$), AJ のイン

デックス($r = -0.72$)と接地時間($r = 0.72$)に有意な相関があった。

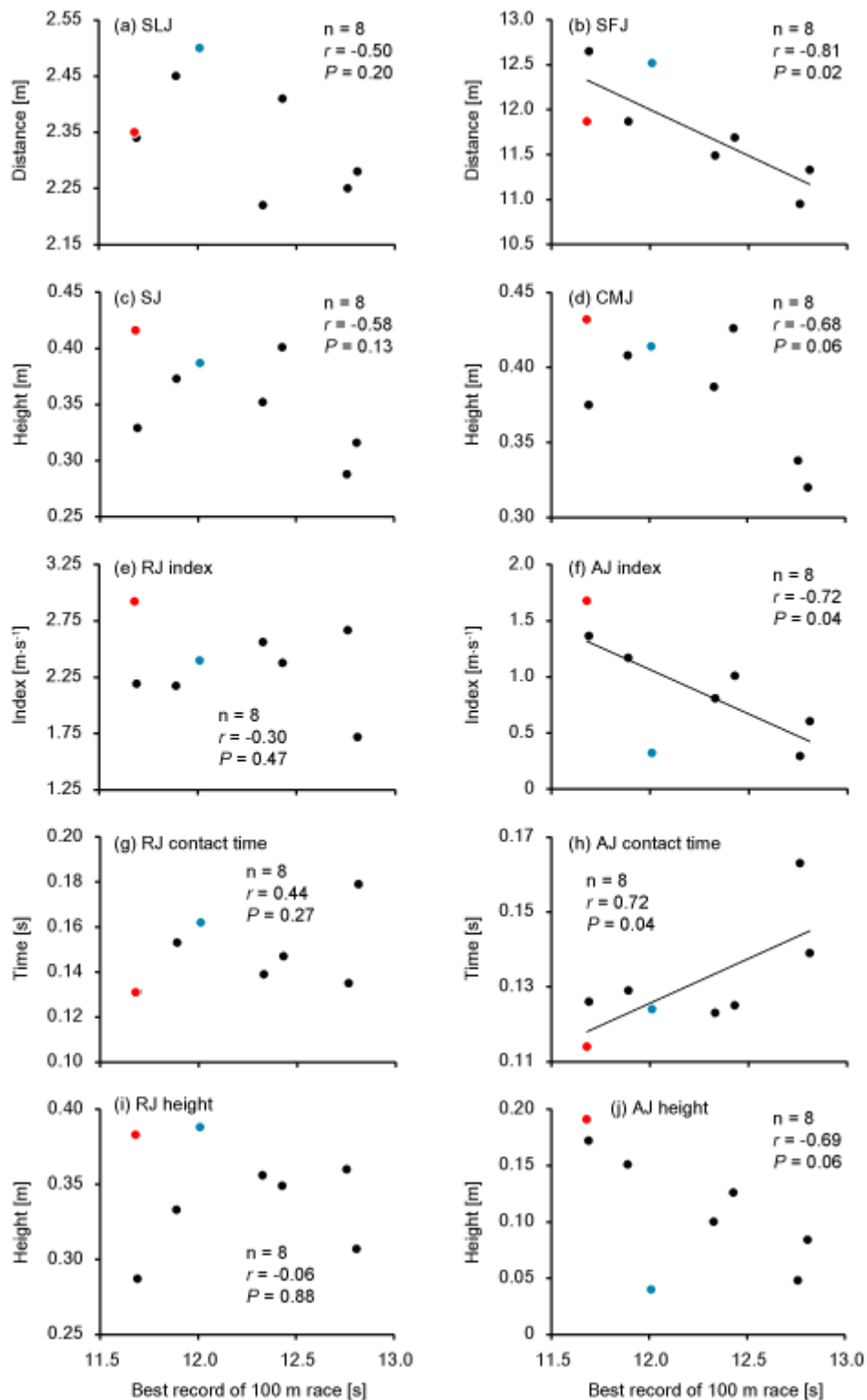


図 7 100m 走 自己最高記録とジャンプテストの記録との間の関係 (赤丸, 青丸は事例的に評価した選手を示している): (a) SLJ, (b) SFJ, (c) SJ, (d) CMJ, (e) RJ のインデックス, (f) AJ のインデックス, (g) RJ の接地時間, (h) AJ の接地時間, (i) RJ の跳躍高, (j) AJ の跳躍高

図 8 は、事例的に抽出した 2 名の選手のコントロールテストでのスターティングブロックからの 30m 走における 0-10m 区間および 10-30m 区間、60m 加速走における 30-40m 区間、40-50m 区間、50-60m 区間の平均速度を示したものである。30m 走における各区間の平均速度の差は、両者の間でわずかであったが(0-10m 区間において $4.72 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ と $4.69 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 10-30m 区間において $8.26 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ と $8.23 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), 60m 走の各区間における平均速度は、全ての区間において A 選手が B 選手を大きく上回っていた(30-40m 区間において $8.77 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ と $8.26 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 40-50m 区間において $8.93 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ と $8.47 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 50-60m 区間において $8.77 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ と $8.26 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。

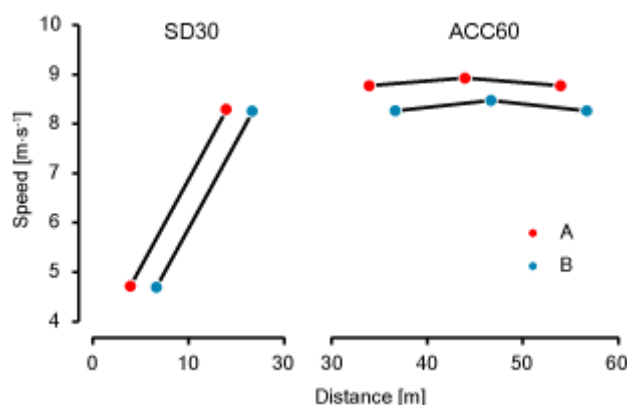


図 8 典型的な 2 選手のスターティングブロックからの 30m 走および 60m 加速走における各区間の平均疾走速度の変化

IV. 考察

本研究では、女子短距離走選手を対象として、足関節の底屈力を評価するジャンプテスト(AJ)の特性について検討し、疾走能力の間接的評価に対する有効性について明らかにしようとした。以下では、AJ に関する結果を中心に考察する。

1. AJ の特性

本研究で用いた AJ の跳躍高は、 $0.11 \pm 0.06 \text{ m}$ 、インデックスは $0.91 \pm 0.49 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ であり、RJ におけるそれらの値(跳躍高: $0.35 \pm 0.04 \text{ m}$ 、インデックス: $2.38 \pm 0.36 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)と比較して著しく低かった(表 1)。AJ では、接地期における膝関節や股関節の屈曲伸展を制限しており、それらの関節によって発揮される力が排除されたことによって地面に伝えられる力積が減少したと考えられる。

一方、AJ の接地時間は $0.130 \pm 0.015 \text{ s}$ であり、RJ の接地時間($0.147 \pm 0.017 \text{ s}$)よりも短かった(表 1)。RJ においても AJ の場合と同様に、できるだけ短い接地時間でジャンプを遂行するよう指示を与えていたにもかかわらず、AJ の接地時間が短かったことは、AJ において評価している足底屈による力-パワーの発揮能力が RJ で評価している力-パワーの発揮能力と異なることを示すものである。このような短い接地時間は、AJ が下腿を垂直に近い角度に保持した姿勢で遂行されるため、足関節の背屈変位が制限されることに起因していると考えられる。足底屈力の発揮に長い時間を要した場合、踵が地面に接することになり、下腿三頭筋の筋腱複合体に保存された弾性エネルギーが消失してしまうことから、AJ の接地時間は短くせざるをえないと推察される。また、本研究で実施した

AJ の接地時間(力発揮時間)は, 先行研究(Fukashiro and Komi, 1987; Bobbert et al., 1986)の鉛直ジャンプテストの力発揮時間より短く, 最高速度付近における疾走時の接地時間(0.1 s 前後)(Bosch and Klomp, 2005)により近いものであった. したがって, AJ では大きな力積を発揮できないものの, 非常に短い遂行時間における足底屈筋群の伸張短縮サイクルを利用した力-パワー発揮能力を評価できることが明らかとなった.

さらに, AJ のインデックスは, AJ 以外のジャンプテストの結果との間に有意な相関関係がなかった. このような結果も, AJ において評価している足底屈による力-パワーの発揮能力がその他のジャンプテストで評価している力-パワーの発揮能力と異なることを支持するものである.

その他, AJ の接地時間は, SJ および CMJ の跳躍高との間に有意な負の相関を示した. この関係の背景にある機序について, 本研究の結果から明らかにすることはできないが, SJ や CMJ において足関節は受動的に底屈トルクを発揮することから, AJ を短い接地時間で遂行する能力が SJ や CMJ において効果的に地面に力を加えることに関係しているかもしれない.

2. 疾走能力とジャンプテストで評価した力-パワー発揮特性との関係

100m 走自己最高記録との間の関係では, SFJ の跳躍距離, AJ のインデックスおよび接地時間に有意な相関関係があった(図 7). これらの結果から, 女子短距離走選手を対象とした場合において, SFJ と AJ が疾走能力を間接的に評価する指標として有効であることが示された. 数多くの先行研究(Bret et al., 2002; Kale et al., 2009; Smirniotou et al., 2008; Young et al., 1995)において, 疾走能力の間接的評価に対する有効性が示されている SJ や CMJ の跳躍高と 100m 走自己最高記録との間の相関係数が有意になる値に満たなかったのに対して, AJ のインデックスは有意な負の相関関係を示した. このことは, 高い疾走能力を有する女子選手のグループを対象とした場合に, 100m 走の疾走能力に対する間接的評価指標として, AJ インデックスが優位である可能性を示している.

AJ と疾走能力の関係については, これまで検討されていないことから, 先行研究との比較はできない. しかし, 諸言で述べたように, 最高速度付近における疾走中の足底屈力やパワーの疾走能力に対する重要性は指摘されており(Bezodis et al., 2008; Hutchinson, 2004), 100m 走自己最高記録と AJ インデックスとの間の有意な相関関係の背景には, そのような高い疾走速度に対する足底屈筋力の重要性が存在すると考えられる. また, AJ の接地時間と 100m 走の記録との間の有意な相関関係についても, 高い最高疾走速度を獲得するために, 疾走中の支持時間を短くする必要があることを指摘した先行研究(Kunz and Kaufmann, 1981)の結果を踏まえると, 高い速度条件における疾走に対して, AJ の短い時間で力-パワーを発揮する能力が必要とされていることが, AJ の各変数と 100m 走自己最高記録の関係を生じさせた一因であることを示唆している.

100m 走の疾走能力に対する間接的評価指標として AJ の有効性が示されたことは, ジャンプテストによる疾走能力の間接的評価の精度を高める一助になると考えられ, 疾走能力を高めるための体力トレーニングプログラムを構築する際に有用な知見となろう.

SFJ に関しては, これまで研究においても疾走能力の間接的評価指標としての有効性が指摘されており(Misjuk and Viru, 2007), 本研究の結果はそれを支持するものであった.

3. 個人の疾走の特徴と力-パワー発揮特性の関係

本研究で事例的に取り上げた2人の選手は、AJのインデックスが最も高かった選手(A選手, 図7, 8中の赤丸)と最も低かった選手(B選手, 図7, 8中の青丸)であった。A選手(身長1.54 m, 体重51.0 kg, 100m走自己最高記録11.68 s)は、AJ以外のジャンプテストにおいても平均以上の値を示し、SJ, CMJ, RJのインデックスは最も高い値であった。このことは、A選手がコンセントリックおよび伸張短縮サイクルを利用した下肢全体の力-パワー発揮能力と足底屈のみによる力-パワー発揮能力のどちらにも優れた選手であることを示している。一方、B選手(身長1.62 m, 体重48.4 kg, 100m走自己最高記録12.01 s)は、AJ以外のジャンプテストでは平均以上の値を示しており、SLJおよびRJの跳躍高では最も高い記録であった。したがって、B選手の特徴として、下肢全体での伸張短縮サイクルを利用した力-パワー発揮能力には比較的優れているものの、足底屈のみによる力-パワーの発揮能力に劣ることが挙げられる。また、著者らの主観的な判断に基づく限り、A選手は「足首が硬い」と形容できる選手であり、B選手は反対に「足首が軟らかい」と特徴づけられる選手であった。

両者の30m走, 60m走の各区間における疾走速度を比較すると、30m走の各区間における疾走速度の差は小さかったが(0-10m, 10-30m 区間において、それぞれ $0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), 60m走の30m以降の区間においては、各区間において $0.46 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上の差があった。このことは、両者の100m走における記録の差が、スタートから30m以降における疾走能力の差に起因することを示しており、足底屈による力-パワー発揮能力の優劣が30m以降の疾走能力に影響することを示唆している。また、これらのことは、AJが特に30m以降の高速条件下における疾走能力を間接的に評価するために有効である可能性を示すものである。

図9および動画7, 8は、両選手の60m走における45mから50m付近の支持期における疾走動作の連続写真と映像を示したものである(両選手の連続写真の時間間隔は同一)。支持期における足関節の挙動に注目すると、A選手は支持期中盤(図9, A③からA⑤)における足関節の背屈変位が小さく、足部と下腿が同調して前方へ回転していることがわかる。一方、B選手の場合は、支持期中盤(図9, B③からB⑥)における足関節の背屈変位が比較的大きく、先に下腿が大きく倒れこみ、その後足底屈が生じている。また、両選手の40mから50m区間における4歩の平均支持時間は、 0.099 s (A選手)と 0.110 s (B選手)であった(動画から目視で判定)。高速度での疾走では身体が前方へ移動する速度が高いために、短い時間で大きな力を地面へ伝える必要があり、短い支持時間は高い最高速度を達成するための条件の1つとされている(Kunz and Kaufmann, 1981; Weyand et al., 2000)。したがって、A選手が高い最高速度を達成できた要因の1つとして、優れた足底屈筋群の力-パワー発揮能力によって、先に述べたような支持期における足関節の背屈変位を小さくできたことにより、短い支持時間で地面に力を伝えることができた可能性が挙げられる。

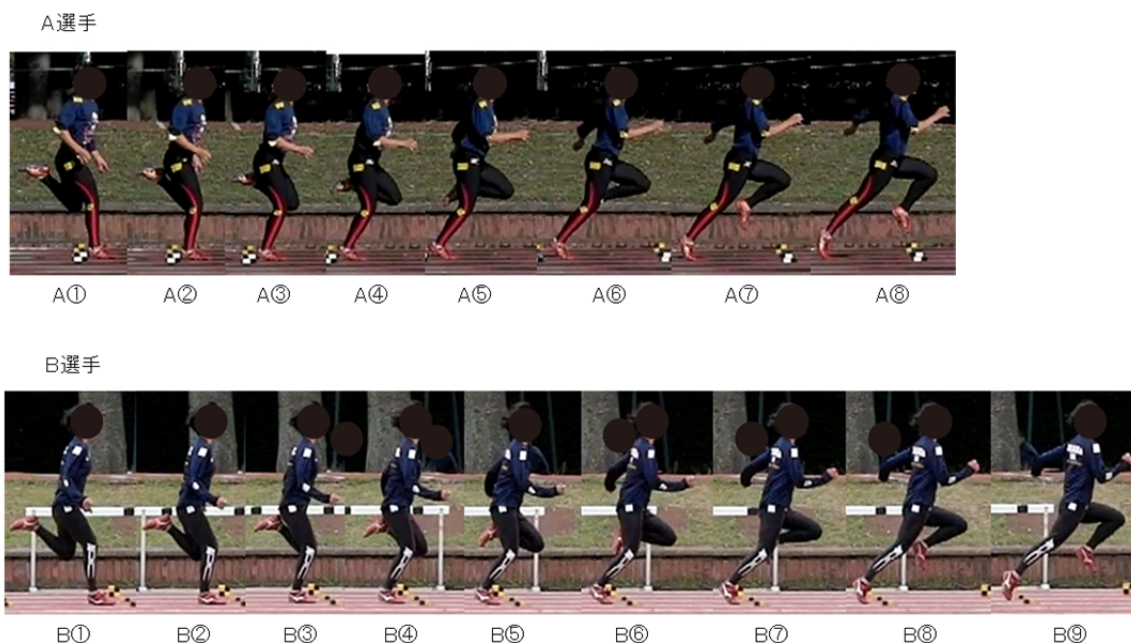


図9 典型的な2選手の60m走における45-50m付近の疾走動作(動画7および動画8)

また、A選手のような動作では、支持期中盤において膝関節が素早く前方へ移動すると考えられ、このことにより股関節の伸展角速度を低く抑えることが可能となる。筋が発揮できる力は、その短縮速度(関節角速度)の増加にともない減少するので(Hill, 1938)、優れた足底屈筋群のカーパワー発揮能力によって先に指摘した動作を実現させ、高い速度においても股関節の伸展角速度を低く抑え、比較的大きな股関節伸展力を発揮できたことが、A選手が高い疾走速度に到達できた要因の1つであると考えられる。

本研究において、連続写真を用いて検討した2名の選手の疾走動作に異なる特徴があったことは、選手の特性に対する著者らの主観的な判断がそのような疾走動作の違いに起因する可能性を示している。また、AJの記録や著者らの主観的な評価、疾走動作の特徴をふまえると、AJによる客観的な評価が、主観的に評価されている「足首の硬さ」を反映すると考えられ、このことはAJを用いた選手の評価を行うことの実践的有益性を支持している。

4. 実践への示唆と研究の限界

本研究では、疾走能力に対する足関節の底屈筋群による伸張短縮サイクルを利用したカーパワー発揮能力の重要性を示した。疾走時には、接地に先立ち下腿三頭筋と拮抗筋である前脛骨筋が共収縮することが知られている(Komi and Golhofer, 1997; Mero and Komi, 1987)。また、足部はそれ自体がばねとして働く(Ker et al., 1987)。したがって、疾走時における足底屈力を高めるためには、足底屈筋群のみならず、足背屈筋群、足部を形成する靱帯や足底部の筋、中足趾節関節の底背屈筋群などに関しても強化することが重要となろう。具体的なトレーニング手段として、カーフレイズのような足底屈運動に加えて、膝の屈伸をできるだけ抑えて行う縄跳びや、同様に膝関節の屈伸を抑えて行うミニハードルなどを用いた前方への移動をともなう連続跳躍、足関節の角度を

90 度に保持し、補助者が継続的に加える底屈や背屈、うち返し、外返し方向などのさまざまな方向の力に対して、アイソメトリックに力を発揮させる補強運動、バランスボードやバランスマット上に片脚で立ち、その状態でスクワットなどの運動を行う補強運動、足趾で弾力のあるゴムなどをつかむなどの足趾を動かす筋力を高める運動(足把持運動)などが挙げられる。

また、本研究で用いた AJ をコントロールテストの種目として採用し、定期的に測定を行うことで疾走能力の向上を目的としたトレーニングの進捗状況を評価することや、個人内における体調の指標とすることができるであろう。本研究の実験において被験者に AJ を行わせた際、AJ インデックスの値が低かった選手は、適切に AJ を遂行できるようになるまでに多くの練習を要した。また、適切な指示の下で被験者に AJ を行わせても、初めて行う者は遂行時に膝の屈曲伸展を利用してしまい、初めから適切に遂行できるものは少なかった。さらに、適切に遂行できていないにも関わらず、AJ の実施者は適切に行うことができていると感じていることが多かった。これら背景には、通常が多関節による跳躍において、二関節筋(腓腹筋)の働きにより、膝関節の伸展が足関節の底屈を促進する作用を持っており、跳躍時にそのような膝関節の伸展にともなう二関節筋による足底屈の促進を前提として上位中枢で運動が企画され、実行器へ伝達される影響があると考えられる。このような背景から、連続跳躍時には不随意的に膝関節の屈曲伸展が生じる可能性がある。したがって、コントロールテストなどで AJ を行う場合には、観察者をともなった練習試技を十分に行わせ、実際に測定する場合にも観察者の評価を得ながら行わせることが望ましい。AJ の練習に際しては、高く跳躍することより正確に遂行することを優先して行わせ、膝を完全に伸展させたくて大腿四頭筋に力を入れて、膝関節の屈曲が起きないように接地期、滞空期に関わらず、「常に膝をロックさせる」といった教示を加えることが有効である。実施者が AJ を正確に遂行できる状態になった後に、できるだけ高くぶよう指示を与えることで、AJ の各変数に対する信頼性は向上すると考えられるので、このような過程を経てテストとして採用すべきであろう。

本研究の被験者は 8 名であり、有意となる最低の相関係数($r = 0.72$)の 95%信頼区間を求めると、0.03-0.95 の範囲となる。したがって、異なる集団を被験者とした場合に、本研究で有意であった相関関係が必ずしも成り立たない可能性がある。また、事例的に AJ インデックスの異なる選手の疾走動作について検討したが、疾走動作は身体部分の配置や走者の速度、各関節の発揮している力のバランス、重力などによる影響を受けるために、考察で述べた動作が足関節の力-パワー発揮能力の優劣のみに影響されているわけではない。さらに、本研究で用いた AJ の遂行能力は、足関節の底背屈に関与する筋の能動的な筋力だけでなく、受動的な関節の硬さ(スティフネス)の影響を受けていると考えられる。したがって、トレーニングによって、AJ の遂行能力をどの程度向上させられるかについては明らかではない。このような点に留意することが、実践的には必要であろう。

本研究では、女子選手を対象として疾走能力と AJ の関係について検討したものであり、男子選手においても同様の関係性があるかについて結論を下すことはできない。しかしながら、考察において引用している疾走能力に対する支持期に発揮される足底屈力の重要性を指摘した先行研究は、男子選手を対象として行われたものであり、本研究において女子選手を対象とした場合に有効であった AJ による疾走能力の間接的評価が、男子選手を対象とした場合にも成り立つ蓋然性は比較的高いと考えられ、今後の検討課題として挙げられる。

V. まとめ

本研究では、女子短距離走選手を対象として、6種のジャンプテストを行わせ、足関節の底屈のみで遂行される鉛直ジャンプテストの特性について検討し、疾走能力の間接的評価に対する有効性について明らかにすることを目的とした。その結果、足関節の底屈のみで遂行される鉛直ジャンプテストは、これまで一般的に用いられてきたジャンプテストによって評価される力-パワーの発揮能力とは異なり、足底屈筋群の伸張短縮サイクルを利用した短い遂行時間の力-パワー発揮能力を評価できることがわかった。また、この足関節の底屈のみで遂行されるジャンプテストは、女子選手の100m走の疾走能力に対する間接的評価指標として有効であった。さらに、事例的な検討から、このジャンプテストによって最高速度付近の高い疾走能力を間接的に評価できる可能性が示された。

謝辞

本研究の実施に際し、筑波大学陸上競技部短距離ブロックの選手各位ならびに筑波大学陸上競技部コーチの谷川聡准教授には多大なご協力をいただきました。ここに記し、感謝の意を表します。

文献

- ・ Bennett MB, Taylor GC (1995) Scaling of elastic strain energy in kangaroos and the benefits of being big. *Nature* 378:56-59
- ・ Bezodis IN, Kerwin DG, Salo AI (2008) Lower-limb mechanics during the support phase of maximum-velocity sprint running. *Med Sci Sports Exerc* 40:707-715
- ・ Bissas AI, Havenetidis K (2008) The use of various strength-power tests as predictors of sprint running performance. *J Sports Med Phys Fitness* 48:49-54
- ・ Bobbert MF, Huijing PA, van Ingen Schenau GJ (1987) Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med Sci Sports Exerc* 19:339-346
- ・ Bobbert MF, Mackay M, Schinkelshoek D, Huijing PA, van Ingen Schenau GJ (1986) Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 54:566-573
- ・ Bosch F, Klomp R (2005) *Running – Biomechanics and Exercise Physiology Applied in Practice*. (Boer-Stallman DW, Trans.). Philadelphia: Elsevier (Original work published 2001); pp. 119-88.
- ・ Bosco C, Luhtanen P, Komi PV (1983) A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 50:273-282
- ・ Bosco C, Tarkka I, Komi PV (1982) Effect of elastic energy and myoelectrical potentiation of triceps surae during stretch-shortening cycle exercise. *Int J Sports Med* 3:137-140
- ・ Bret C, Rahmani A, Dufour AB, Messonnier L, Lacour JR (2002) Leg strength and stiffness as ability factors in 100 m sprint running. *J Sports Med Phys Fitness* 42:274-281

- Chapman AE, Caldwell GE (1983) Kinetic limitations of maximal sprinting speed. *J Biomech* 16:79-83
- Delecluse C (1997) Influence of strength training on sprint running performance. Current findings and implications for training. *Sports Med* 24:147-156
- Fukashiro S, Komi PV (1987) Joint moment and mechanical power flow of the lower limb during vertical jump. *Int J Sports Med* 8 Suppl 1:15-21
- Fukashiro S, Kurokawa S, Hay DC, Nagano A (2005) Comparison of muscle-tendon interaction of human M. Gastrocnemius between ankle- and drop-jumping. *Int J Sport Health Sci* 3:253-63
- Hennessy L, Kilty J (2001) Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *J Strength Cond Res* 15:326-331
- Hill AV (1938) The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc Roy Soc B* 126:136-195
- Hutchinson JR (2004) Biomechanical modeling and sensitivity analysis of bipedal running ability. I. Extant taxa. *J Morphol* 262:421-440
- van Ingen Schenau GJ, de Koning JJ, de Groot G (1994) Optimisation of sprinting performance in running, cycling and speed skating. *Sports Med* 17:259-275
- 伊藤 章, 市川博啓, 斉藤昌久, 佐川和則, 伊藤道郎, 小林寛道 (1998) 100m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. *体育学研究* 43:260-273
- Jacobs R, Bobbert MF, van Ingen Schenau GJ (1996) Mechanical output from individual muscles during explosive leg extensions: the role of biarticular muscles. *J Biomech* 29:513-523
- Kale M, Asci A, Bayrak C, Acikada C (2009) Relationships among jumping performances and sprint parameters during maximum speed phase in sprinters. *J Strength Cond Res* 23:2272-2279
- Ker RF, Bennett MB, Bibby SR, Kester RC, Alexander RM (1987) The spring in the arch of the human foot. *Nature* 325:147-149
- Komi PV, Bosco C (1978) Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports* 10:261-265
- Komi PV, Golhofer A (1997) Stretch reflexes can have an important role in force enhancement during SSC exercise. *J Appl Biomech* 13:451-460
- Kunz H, Kaufmann DA (1981) Biomechanical analysis of sprinting: decathletes versus champions. *Br J Sports Med* 15:177-181
- Mackala K (2007) Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres. *N Stud Athletics* 22:7-16
- Mann R (2011) *The Mechanics of Sprinting and Hurdling*. CreateSpace, 2011
- Mero A, Komi PV (1987) Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from sub-maximal to supra-maximal. *Med Sci Sports Exerc* 19:266-274

- Misjuk M, Viru M (2007) The relationships between jumping tests and speed abilities among Estonian sprinters. *Acta Academiae Olympicae Estoniae* 15:9-16
- Morin JB, Belli A (2003) Mechanical factors of 100m sprint performance in trained athletes *Sci Sports* 18:161-163
- 永原 隆 (2008) 100m レースの加速過程における疾走動作の変容. 筑波大学体育研究科修士論文.
- Roberts TJ, Scales JA (2002) Mechanical power output during running accelerations in wild turkeys. *J Exp Biol* 205:1485-1494
- Smirniotou A, Katsikas C, Paradisis G, Argeitaki P, Zacharogiannis E, Tziortzis S (2008) Strength-power parameters as predictors of sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness* 48:447-454
- Weyand PG, Sternlight DB, Bellizzi MJ, Wright S (2000) Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J Appl Physiol* 89:1991-1999
- Yamazaki Y, Suzuki M, Mano T (1989) Performance of noncountermovement jump with both knee and hip joints fully extended. *J Appl Physiol* 66:1976-1983
- Young W (1995) Laboratory strength assessment of athletes. *N Stud Athletics* 10:89-96
- Young W, McLean B, Ardagna J (1995) Relationship between strength qualities and sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness* 35:13-19