

陸上短距離選手のバウンディング動作 — 助走速度の変化に伴う地面反力と踏切脚動作の検討 —

大宮 真一 (愛知教育大学 保健体育講座 大学院)
合屋十四秋 (愛知教育大学 保健体育講座)

Effects of Approach Distance on the Forces and Take-off Action Pattern on Bounding Jump in Male Sprinters.

Shin-ichi OMIYA (Graduate Student of Education)
Toshiaki GOYA (Department of Health and Physical education)

1. 緒言

陸上競技の短距離走では、短時間で爆発的にパワー発揮する能力が求められる。この能力を高めるには、反動的・爆発的筋力を発達させるプライオメトリックトレーニングが不可欠である(図子, 2000)。プライオメトリックジャンプ手段の一つにバウンディング(交互片脚連続跳躍)が用いられている(伊藤, 2002; 木越ら, 2001; 永松ら, 1999; 中丸, 2003)。バウンディングは、スプリント能力向上に関するトレーニングであることが指摘されている(伊藤, 2002; 木越ら, 2001; Mero and Komi, 1994)。これは、走運動や跳躍能力の発現がキックによって生み出されるもので、身体を前方へ移動するという運動局面において共通性があるからである(横川, 1987)。

バウンディングのような水平跳躍運動のパフォーマンスは、踏切時の踏切脚の動作技術が重要であり(青山, 2001)、水平速度を維持しながらも鉛直速度に転換することで跳躍角度が決定される。また踏切動作は、助走速度が増大することにより、踏切脚の力発揮および動作も変化することが考えられる(永松ら, 1999)。水平跳躍運動において、助走速度の変化に伴う踏切脚の力発揮および動作の特徴を明らかにすることで踏切技術の一知見を得ることができ、トレーニング実践への示唆を導き出すことが可能となろう。

バウンディングの踏切に関する先行研究は少ない(石塚, 1980; 伊藤, 2002; 木越ら, 2001; Mero and Komi, 1994)。また、短距離選手の跳躍動作に関して着目したものはMero and Komi (1994)のみである。以上のことから、短距離選手に必要とされるバウンディングの地面反力および踏切動作についてさらに検討することは、トレーニング現場での指導に役立つ知見を得ることができると思う。

さらに、スプリント走の接地準備局面の脚全体の振り戻し速度と跳躍動作における積極的着地(以下Active Landing)(稲岡ら, 1992)と共通している。両動作は、踏切前半におけるブレーキを少なくできるというものである。このことから、踏切動作に影響を及ぼすと考えられる接地準備局面の脚全体の振り戻し速度についても検討を加えることによって、新たな知見を得ることができると考える。

以上のことから、本研究はフォースプレート、デジタルビデオカメラを同期させて、動作解析システムを用いることにより以下の2点について検討することを目的とした。

- 1) 陸上短距離選手におけるパウンディング踏切動作の特徴を画像分析およびフォースプレートを用いて、明らかにする。
- 2) 助走速度が変化することによって、パウンディングの接地準備局面の振り戻し速度、踏切局面における股関節動作・膝関節動作・脚全体の後方スイング動作・地面反力および跳躍角度がどのように変化するかについて検討する。

2. 研究方法

2-1. 被験者

被験者は、陸上短距離選手男子15名（年齢21.1±2.0歳、身長175.3±5.3cm、体重66.0±5.1kg）であった。

2-2. 実験試技

本実験試技には、パウンディングをより単純化したBox Long Jump（図1）を用いた。Box Long Jumpとは、高さ0.3mの台上を助走した後に前方へ飛び降り、フォースプレート上に設定した踏切位置で踏切を行い、できるだけ遠くへ跳ぶことである（永松ら1999）。本実験において、Boxとの踏切位置（Approach Distance以下Ap.Dis）は、1.5m、2.0m、2.5mの3種類であった。Ap.Disを増大させることによって、踏切に入る速度を速くし、対応すべき運動エネルギーの大きさを設定した。

2-3. 測定方法

Box Long Jumpを被験者の右側方10m地点からデジタルビデオカメラ（Victor社製GR-DV2000）を用いて、60f.p.s・シャッタースピード1/1000で撮影した。また、実座標に換算するため較正点を撮影した。

また、Box Long Jumpの各試技における踏切中の地面反力（水平・鉛直）を、フォースプレート（Kisler社製#196442）を用いて、1000Hzで測定した。フォースプレート上での踏切により発生する電荷信号を、チャージアンプ（Kisler社製Type9807）によって増幅し、MacLab（ADI社製）によってA/D変換した。デジタルビデオカメラとフォースプレートは同期した。

あらかじめ被験者に抽出すべき点に目印をつけておき、撮影した画像から身体上の分析ポイント（23点）を動作解析システムFrame-DIAS（DKH社製）により、デジタイズした。分析ポイントとは、左右のつま先・母指球・踵・外果・膝関節中心・大転子・手指先・手首・肘・肩峰、頭頂、耳珠点、胸骨上縁である。デジタイズしたCRT上のXY座標は、1.0mのスケール棒を元に実座標換算した。

2-4. 分析項目

2-4-1. 身体重心速度（図2）

接地時および離地時の水平（ V_h ）、鉛直（ V_v ）および合成速度（ V ）

2-4-2. 接地時間（図3）

地面反力データをもとにして、接地前半と接地後半の時間を求めた。これは、水平方向の地面反力における値の負から正に変化する地点を接地中点とし、接地前半の時間は、踏切接地時点から接地中点までに要した時間、接地後半の時間は、接地中点から踏切離地時点までに要した時間とした。

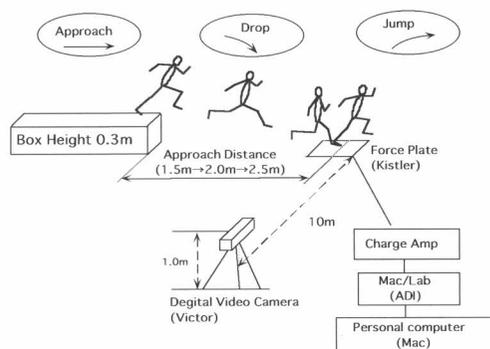


図1 Box Long Jumpの流れ

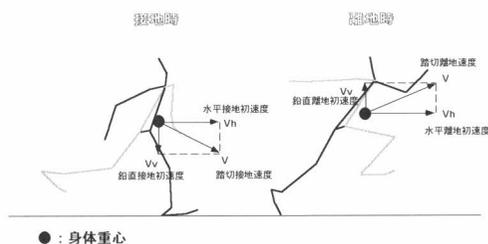


図2 接地時および離地時の身体重心速度

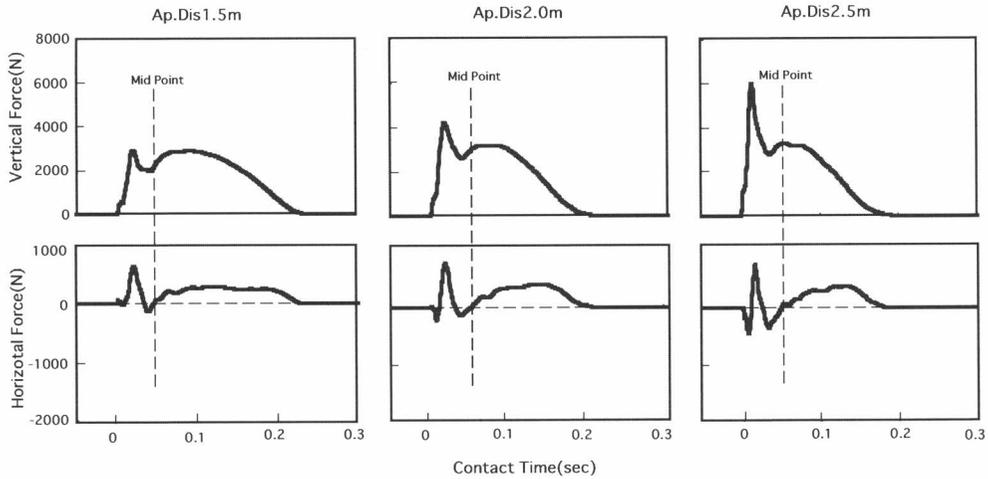


図3 Ap.Disの増加に伴う地面反力の変化 (被験者GK)

2-4-3. 平均力 (図3)

地面反力データをもとにして、水平方向および鉛直方向の接地前半と接地後半の平均力を求めた。また、被験者の体重で除し、相対値で表した。

2-4-4. 力積 (図3)

水平方向および鉛直方向の水平方向および鉛直方向の接地前半と接地後半の力積を求めた。水平方向および鉛直方向の平均力を要した接地時間で除して求めた。また、被験者の体重で除し、相対値で表した。

2-4-5. 踏切動作 (図4)

①股関節

股関節角度 (接地時 $\theta 1$, 離地時 $\theta 4$)

股関節伸展角速度 ($\omega 2$)

②膝関節

膝関節角度 (接地時 $\theta 2$, 最大屈曲時 $\theta 3$, 離地時 $\theta 5$)

膝関節角度屈曲範囲 ($\theta 2 - \theta 3$)

膝関節伸展角速度 ($\omega 3$)

③脚全体のスイング速度

振り戻し速度 ($\omega 1$)

脚全体の後方スイング速度 ($\omega 4$)

④跳躍角度 ($\theta 6$)

2-5. 統計処理

統計処理は、StatView4.11を用いて行った。Ap.Dis 1.5m, 2.0m, 2.5m群間の差を検討するために、一元配置分散分析を行った。その結果、F値が有意であると認められた項目については、さらに多重比較 (Fisher'sPLSD法)を行った。統計処理の有意性は、危険率5%未満で判定した。

3. 結果

Ap.Disの増大に伴う各分析項目のパラメーターを表1に示した。

Ap.Disの増大に伴って、有意に増大および増大傾向にあったのは、水平接地初速度および離地初速度、鉛直接地初速度、踏切接地速度および離地速度、接地時間前半、水平方向および鉛直方向の平均力および力積、股関節角度離地時、膝関節接地時角度および屈曲範囲、脚全体の振り戻し速度および後方スイング速度、ストライドであった。

また、Ap.Disの増大に伴って、有意に減少および減少傾向にあったのは、接地時間後半および全

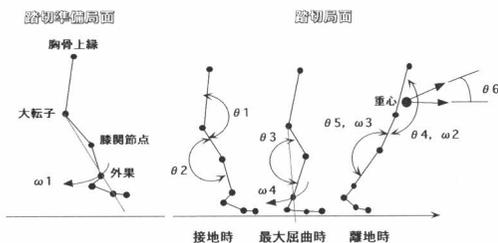


図4 角度定義

表1 Ap.Disの増加に伴う各分析項目の変化

Parameter	局面	Ap.Dis						F値	Difference		
		1.5m		2.0m		2.5m					
		Ave.	SD	Ave.	SD	Ave.	SD				
重心速度 (m/s)	水平	接地時	2.64	0.22	3.36	0.24	3.87	0.29	90.132	p<0.0001	1.5<2.0<2.5
		離地時	3.42	0.30	4.05	0.26	4.42	0.37	40.379	p<0.0001	1.5<2.0<2.5
	鉛直	接地時	-1.32	0.24	-1.58	0.28	-1.61	0.24	6.107	p<0.001	1.5>2.0,2.5
		離地時	1.27	0.23	1.20	0.25	1.28	0.27	0.444	ns	
	合成	接地時	2.94	0.22	3.72	0.22	4.20	0.33	82.932	p<0.0001	1.5<2.0<2.5
		離地時	3.65	0.30	4.23	0.26	4.62	0.32	37.785	p<0.0001	1.5<2.0<2.5
接地時間(sec)		前半	0.060	0.016	0.067	0.015	0.083	0.019	7.346	p<0.001	1.5,2.0<2.5
		後半	0.170	0.025	0.146	0.024	0.126	0.013	16.176	p<0.0001	1.5>2.0<2.5
		全体	0.23	0.021	0.213	0.021	0.209	0.015	5.186	p<0.01	1.5>2.0,2.5
平均力 (N/kg)	水平	前半	1.15	1.40	-0.22	1.25	-2.42	1.13	30.233	p<0.0001	1.5>2.0<2.5
		後半	3.15	0.72	2.98	0.61	2.94	0.40	0.560	ns	
	鉛直	前半	26.6	5.9	35.3	6.6	39.6	3.5	21.835	p<0.0001	1.5<2.0<2.5
		後半	25.0	2.6	24.1	2.4	22.8	3.1	2.595	ns	
力積 (Ns/kg)	水平	前半	0.057	0.086	-0.029	0.079	-0.216	0.134	27.697	p<0.0001	1.5>2.0<2.5
		後半	0.531	0.119	0.439	0.133	0.370	0.068	8.007	p<0.001	1.5>2.0,2.5
	鉛直	前半	1.75	0.77	2.40	0.74	3.25	0.71	15.402	p<0.0001	1.5>2.0<2.5
		後半	4.25	0.72	3.52	0.68	2.88	0.52	17.066	p<0.0001	1.5>2.0<2.5
股関節	接地時(deg)		129.5	13.5	131.6	13.1	135.0	10.5	0.727	ns	
			177.8	5.4	184.9	6.2	185.8	5.8	8.525	p<0.001	1.5<2.0,2.5
	伸屈角速度(deg/s)		426.7	65.4	451.0	42.6	469.7	46.7	2.533	ns	
			151.2	8.1	155.4	8.1	161.0	10.0	4.619	p<0.05	1.5<2.5
膝関節	最大屈曲時(deg)		128.2	8.7	132.0	4.7	128.3	7.2	1.399	ns	
	離地時(deg)		172.8	7.0	170.4	6.1	169.0	6.6	1.299	ns	
	屈曲範囲(deg)		23.0	10.2	23.4	8.7	32.7	12.9	3.902	p<0.05	1.5,2.0<2.5
	伸屈角速度(deg/s)		461.6	81.2	418.4	51.5	408.7	71.9	2.481	ns	
脚全体	振り戻し 後方スイング	伸屈角速度(deg/s)	228.1	54.4	287.2	56.0	285.0	57.4	5.381	p<0.01	1.5<2.0,2.5
			262.3	44.0	291.3	39.9	322.4	31.0	9.045	p<0.001	1.5<2.0<2.5
	跳躍角度(degree)		17.2	4.8	15.1	3.7	15.8	4.6	0.898	ns	

接地時間、水平方向および鉛直方向の力積後半であった。

変化しなかったのは、水平方向および鉛直方向の平均力後半、股関節角度接地時および伸屈角速度、膝関節角度最大屈曲時・離地時および伸屈角速度、跳躍角度であった。

4. 考察

4-1. 踏切動作の特徴

Ap.Disの増加に伴い、踏切に入る速度である踏切接地速度が有意に増大することが認められた。また、ストライドも有意に増大することが認められた。したがって、各群の地面反力および踏切動作の比較、検討が可能であると考えられるため、永松ら（1999）と同様にAp.Disの設定は適切であったことが考えられる。

踏切前半において水平方向および鉛直方向の平均力および力積は有意に増大した。また、接地時間、膝関節角度接地時および膝関節屈曲範囲も増大傾向にあった。深代（1994）は重心速度の増大により、踏切前半の衝撃が増大すると報告している。また、阿江ら（1979）は、ドロップジャンプにおいて膝関節を伸展させながら踏切に移ると、踏切に先立って踏切脚の伸筋群（大腿四頭筋など）に予備緊張が生じると報告している。また、予備

緊張は下降速度が増大するほど強くなると指摘している。このことは、踏切前半で膝関節伸筋群がエキセントリック筋収縮を起こし、膝関節を屈曲させながら運動エネルギーを緩衝すると示唆している。さらに、稲岡ら（1992）は、デプスジャンプの踏切において膝関節の屈曲が大きくなると接地時間が長くなると報告している。したがって、本研究は鉛直接地初速度が増大傾向にあったことを踏まえると、これらの先行研究を支持する結果であった。

また、踏切後半において接地時間、鉛直方向の力積は有意に減少し、水平方向の力積は減少傾向にあった。さらに、脚全体の後方スイング速度は有意に増大した。接地時間の有意な短縮は、踏切接地速度の増大に伴う脚全体の後方スイング速度の有意な増大によるものと考えられる。

力積について、小林（1990）は、身体の運動量を示し、地面を前方に押している時は身体の前進方向に対して持っている運動量のうち失われた量（ブレーキ）を表し、後方に押している時はキックにより、新たに身体が前進方向へ得た運動量（推進力）を表すと述べている。また、本研究のAp.Disの増加に伴う地面反力力発揮パターンが、スプリント走の加速局面から中間疾走局面へ変容する力発揮パターンと類似している。スプリント

走においても、加速から中間疾走に移るにつれて、ブレーキ成分が増大し、推進力成分が減少する(阿江ら, 1991; 福田ら, 2004; 前田, 1999). 中間疾走以降ブレーキ成分と推進力成分の力積が同値になったところで加速局面が終了すると報告している. 本研究においては、各Ap.Disにおいて推進力成分がブレーキ成分よりも大きいこと、さらに踏切離地速度が踏切接地速度よりも増大し、踏切で加速したことは踏切前半において伸展筋群が衝撃に抗することができたことが推察され、Ap.Disをより増大させてトレーニングすることができるであろう.

また、本研究の股関節角度接地時および離地時において、全力疾走中(伊藤ら, 1992; 伊藤ら, 1998; 伊藤, 2000; 小山ら2002)の股関節角度接地時(100~140deg)および離地時(160~190deg)は、とほぼ同値であった. さらに、小山ら(2002)は、100走における加速局面である5mから25mまでに、離地の瞬間の股関節角度は増大したことを認めている. また、その区間以降の中間疾走では変化しなかったと報告している. これらの報告を踏まえ、木越ら(2001)、伊藤(2002)がバウンディングがスプリント走における股関節伸展筋群の特異的なパワーおよび筋パワートレーニング手段であるという示唆を支持するとともに、加速局面におけるトレーニングとなることが示唆される.

3-3. トレーニング実践への示唆

図5は被験者OSとSEのAp.Dis2.5mにおける踏切動作および地面反力である. また、表2は被験者OSとSEのAp.Dis2.5mにおける各分析項目におけるパラメーターである. 両被験者は、踏切接地速度がほぼ同値であることから同程度の助走をしていると考えられる. しかし、水平跳躍運動には重要である鉛直離地初速度と跳躍角度に差がみられた. したがって、SEは踏切において鉛直離地初速度および跳躍角度を獲得できる動作が、パフォーマンス向上にとって重要な動作となりうる. 鉛直速度を獲得する動作として、伊東(1990)は、連続片脚跳躍において熟練者と未熟練者を比較し、キック期において熟練者は足・膝・股関節の急速な伸展をすることで地面へ踏切脚をねじりこ

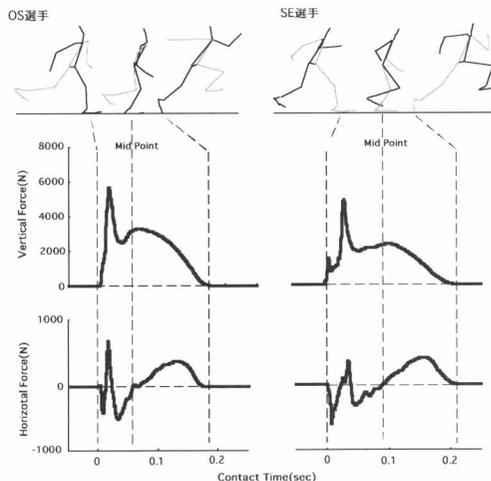


図5 被験者OSとSEのAp.Dis2.5mにおける踏切動作および地面反力

表2 被験者OSとSEのAp.Dis2.5mにおける各分析項目におけるパラメーター

		重心位置(m)				脚離時間(sec)			
		脚離方向		合値		脚離方向		合値	
脚離速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度
OS	3.763	4.452	1.932	1.616	3.892	4.736	0.557	0.116	0.175
SE	3.812	4.581	1.927	2.924	4.099	4.676	0.591	0.120	0.211
		平均値(%)				力積(Nsec)			
		脚離方向		脚離方向		脚離方向		脚離方向	
脚離速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度
OS	2.08	2.23	46.5	20.7	-0.117	0.383	2.65	2.62	
SE	2.10	2.55	33.1	20.9	-0.181	0.438	3.01	2.51	
		脚離期				脚離期			
		脚離期		脚離期		脚離期		脚離期	
脚離速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度
OS	139.296	117.490	416.036	159.724	137.458	167.746	24.276	374.396	
SE	130.495	189.919	450.054	155.286	139.297	162.201	19.989	311.690	
		脚離期				脚離期			
		脚離期		脚離期		脚離期		脚離期	
脚離速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度	脚離初速度
OS	955.012	340.473	16.376						
SE	221.264	361.256	10.867						

むようにキックを行い、それに呼応した上体の上方へのねじりあげによって大きな鉛直速度を獲得していたのに対し、未熟練者は上体が倒れ込むようにしてキックを行い鉛直速度の減退が認められたと報告している. 以上のことからストライド増大への動作として、1) 踏切時の意識として、股関節伸展速度を高めること、すなわち“腰をすばやく前へ移動”することが重要である. また、2) 鉛直離地初速度を高めるためには、踏切中に踏切脚側の上半身を引き上げるとともに上体を上方へねじりあげること、それに伴って踏切脚と反対側の振り込み脚のスイングを高めることが重要である.

5. 結論

本研究では、陸上短距離選手におけるバウンデ

イングの踏切動作の特徴をフォースプレートおよび画像解析を用いて検討し、助走速度が、地面反力および踏切動作に及ぼす影響について検討した結果、以下の点が明らかになった。

- 1) 踏切接地速度の増大に伴って、有意に増大および増大傾向にあったのは、接地時間前半、水平方向および鉛直方向の平均力および力積、股関節角度離地時、膝関節接地時角度および屈曲範囲、脚全体の振り戻し速度および後方スイング速度、ストライドであった。逆に、有意に減少および減少傾向にあったのは、接地時間後半および全接地時間、水平方向および鉛直方向の力積後半であった。変化しなかったのは、水平方向および鉛直方向の平均力後半、股関節角度接地時および伸展角速度、膝関節角度最大屈曲時・離地時および伸展角速度、跳躍角度であった。
- 2) 股関節動作は、スプリント走の加速局面と類似していた。

以上のことから、本研究のようなバウンディングはスプリント走における加速局面のトレーニングとなりうる事が示唆され、踏切において鉛直速度を獲得することが重要である。

6. 文献

阿江通良・洪川侃二・金原勇・山口幸雄 (1979) 跳躍の踏切における神経・筋の働き方に関する研究-予備緊張を中心に-。身体運動科学Ⅲ 運動の制御: 332-345.

阿江通良・宮下憲・大木昭一郎 (1991) スプリント走の地面反力。陸上競技研究7:2-10.

青山清英 (2001) 走幅跳の踏切における身体各部の筋機能に関するバイオメカニクス的研究。研究紀要62: 135-143.

深代千之 (1994) 床反力 (2) -床反力データの活用-。J.J.SPORTS SCI.13 (2):227-232.

福田厚治・伊藤章 (2004) 最高疾走速度と接地期の重心速度の水平速度の減速・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.

稲岡純史・村木征人・阿江通良 (1992) デブスジャンプトレーニング-主働筋の予備緊張をともなう積極的着地 (Active Landing) の有効性。トレーニング科学4 (1): 75-83.

石塚浩 (1980) 練習手段としてのバウンディング・ストライドに関する分析的研究-特に力学的変化の側面に関して-。筑波大学体育研究科研究収録: 49-53.

伊藤章・斉藤昌久・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。J.J.SPORTS SCI.11 (10): 604-608

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.

伊藤道郎 (2000) スタートダッシュ時におけるキック脚動作の男女比較。天理大学学報194: 35-44.

伊藤道郎 (2002) スプリントトレーニングにおけるバウンディング運動の効果。天理大学学報203: 7-13

伊東太郎 (1990) 連続跳躍運動の筋電図的研究-ホッピング (連続片脚跳) 跳躍中の一側の脚の動きについて-。ジャンプ研究 メディカルプレス:140-146.

木越清信・尾縣貢・田内健二・高松薫 (2001) 特異的な筋力および筋パワートレーニング手段としての立ち五段跳びおよび立ち十段跳びの有効性。陸上競技研究47 (4): 13-18.

小林寛道編・宮下充正監修 (1990) 走る科学。大修館書店: 東京。66-67.

小山裕三・阿部信博・加藤弘一・川井明・森長正樹・岡野雄司 (2002) 大学男子スプリンターのスプリント走の加速過程における下肢の動作変化。桜門体育学研究37:14-19.

前田正登 (1999) 短距離走における足の接地に関する研究。スポーツ方法学研究12 (1): 193-201.

Mero A., Komi P.A. (1994) EMG, Force and Power Analysis of Sprint-Specific Strength Exercises. J.Appl.Biomech.10: 1-13

- 永松幸一・図子浩二（1999）踏切中の地面反力と身体
の逆振り子運動からみたバウンディングの特性．第14回日本バイオメカニクス学会大会論文集 バイオメカニクス研究概論：356-360.
- 中丸信吾・金子今朝秋・越川一紀・濱名慶匡・青木和浩（2003）水平移動を伴うデプスジャンプのトレーニングがバウンディング能力に与える影響．陸上競技研究54（3）：18-23.
- 横川和幸（1987）短距離疾走能力と各種跳躍能力との関連性について—本学陸上競技部員を対象として—．仙台大学紀要19：9-14.
- 図子浩二（2000）SSC理論を応用したトレーニングの可能性．トレーニング科学12（2）：69-84.