

短距離走における腕ふり動作の反動効果が疾走速度に及ぼす影響

木越清信*

Effect of Counter Movement Arm Action on Sprinting Velocity in Elementary School Children

KIGOSHI Kiyonobu*

I. 緒言

短距離疾走における腕振り動作に関する研究を概観すると、疾走における腕振りの役割は、身体のねじれの防止、キック力の増強や前に転ぶことの防止²⁾、さらには不要な角運動量を打ち消すこと⁵⁾とされている。また、全力疾走中の上肢における機械的エネルギーの流れの検討を行った研究では、回復期後半にある下肢とともに、その反対側にある上肢を素早く体幹の方向に引き込んでくることが重要であることが示唆されている⁸⁾。このように、短距離走における腕振り動作に関する研究は散見されるものの、競技者を対象としたものであったり、トレッドミル上での最大下の疾走を対象としていたり、小学生の全力疾走時における疾走速度と腕振り動作との関係について検討した研究は見当たらない。

そこで、本研究では、小学校5年および6年生を対象として、疾走速度と腕振り動作との関係、および下肢の動作と腕振り動作との関係を検討し、目指すべき腕振り動作を明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 実験参加者

実験参加者は、2013年9月に行われた陸上教室に参加した小学校5年および6年生の児童17名(年齢: 11.12 ± 0.84 歳、身長: 1.43 ± 0.08 m、身体質量: 33.94 ± 6.43 kg)であった。内訳は5年生男子が4名、女子が6名、6年生男子が4名、女子が3名であった。なお、陸上教室への参加に際して、保護者から同意書の提出を受けた。

2. 実験試技および疾走動作の撮影

実験参加者には、全天候型陸上競技場において主観的努力度100%による50m走を1試技行わせた。

疾走動作の撮影は、スタートから30m地点の左側方20mにハイスピードカメラ(CASIO社製、EX-F1:以下カメラ)を設置し、撮影コマ数は300Hzおよび露出時間は1/1000secに設定して、撮影を行った。なお、実長換算するために25mから35m地点までに1m間隔で較正マークを置いた。

3. 分析方法および分析項目

本研究では、光電管(timing systems browser社製、TC timing system)をスタート地点と50m地点に設置して50m走タイムを計測した。VTR映像をもとに、25mから35m地点における1サイクル(2歩)の疾走動作について、身体23点と較正マーク4点をビデオ動作解析システムFrame-DIAS(ディ・ケイ・エイチ社製)を用いてデジタル化した。これらの較正マークをもとにMATLABを用いて実長換算した。実長換算した座標値は、分析点の座標成分ごとに最適遮断周波数をWells and Winter¹⁰⁾の方法を基に決定し、Butterworth Low-pass Digital Filterを用いて平滑化した。なお、決定された最適遮断周波数は2.5Hzから7.5Hzであった。ピッチは疾走中の1サイクル(2歩)に要した時間を2等分したものの逆数とし、ストライドは身体重心の水平移動距離を二等分した距離とした。なお、分析区間の疾走速度はピッチとストライドの積として算出した。

上肢における動作を分析するために、上腕セグメント角度、角速度、角加速度、および肘関節角度、角速度、角加速度を算出した。なお、上腕セグメントは肩関節中心と肘関節中心とを結んだ線分と定義

* 筑波大学体育系
Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

し、角度は上腕セグメントと水平線とがなす角度として算出した。肘関節角度は上腕と前腕のなす角度として算出した。なお、前腕セグメントは手首と肘関節中心とを結んだ線分と定義した。上腕セグメントおよび肘関節の角速度は角度変位を時間微分することで、角加速度は角速度変位を時間微分することで算出した。

下肢における動作を分析するために、大腿部角度および脚全体のスウィング速度を算出した。なお、大腿部は大転子と膝関節中心とを結んだ線分、脚全体は大転子と母指球とを結んだ線分と定義した。また、それぞれの角度変位を時間微分することで角速度を算出した。

4. 動作の局面分けおよびデータの規格化

本研究では、羽田ほか¹⁾に準じて、疾走を回復期後半（左脚接地から右脚接地）、支持期（右脚接地から離地）、回復期前半（右脚離地から左足接地）の3つの局面に分けた。なお、上肢の被動作分析腕は、左腕とした。そして、回復期前半、回復期後半の時間をそれぞれ50%ずつ、支持期の時間を100%に規格化した。

5. 統計処理

本研究では、疾走速度およびその他の変数間の相関関係をピアソンの積率相関係数を算出して検討した。なお、いずれの検定についても、有意性は危険率5%未満で判定した。

Ⅲ. 結果

50m 走タイムは 8.85 ± 0.70 秒、分析区間におけるピッチは $3.79 \pm 0.28\text{Hz}$ 、ストライド長は $1.59 \pm 0.15\text{m}$ であった。また、ピッチとストライドの積によって算出した疾走速度は $6.02 \pm 0.59\text{m/秒}$ であった。

図1は、分析区間における上腕セグメントの角度変化、角速度変化および角加速度変化を示したものである。上腕セグメントは、20%から30%付近（回復期後半）において最大屈曲位を迎え、150%から160%付近（支持脚離地時から離地直後）において最大伸展位を迎えていた。また、上腕セグメントの角速度は、120%から130%付近（支持期中盤）において角速度の正のピーク値（屈曲を示す角速度）を示し、回復期前半から同後半にかけて角速度の負のピーク値（伸展を示す角速度）を示した。さらに、上腕セグメントは、回復期後半の中盤において正のピーク値を示し、支持期から回復期前半において負のピーク値を示した。

図2は、分析区間における肘関節の角度変化、角速度変化および角加速度変化を示した者である。肘関節は、30%付近（回復期後半、左脚離地付近）において最少角度（最大屈曲角度）を示し、70%から90%付近にて最大角度（最大伸展角度）を示した。また、肘関節角速度は、50%付近（回復期後半）において正のピーク値（伸展角速度）を示し、120%から130%付近（支持期後半）において負のピーク値（屈曲角速度）を示した。さらに、肘関節角加速度は、回復期後半、支持期前半、支持期後半、回復期前半において正のピーク値と負のピーク値を繰り返し示していた。

また、本研究では、上腕セグメントおよび肘関節の角度、角速度、角加速度と疾走速度との関係を10%規格化時間ごとに検討し、その結果を図1および2に合わせて示した。なお、有意な正の相関関係が認められた時間にはアスタリスクを示し、負の相関関係が認められた時間にはダガーを示した。疾走速度と10%時間および200%時間における上腕セグメント角度との間に有意な負の相関関係が認められ、疾走速度と120%時間と130%時間における上腕セグメント角速度および100%時間と110%時間における上腕セグメント角加速度との間に有意な正の相関関係が認められた。また、疾走速度と40%時間と50%時間における肘関節角速度との間に、30%時間と40%時間における肘関節角加速度との間に有意な正の相関関係が認められた。

支持期における脚全体の後方スウィング速度のピーク値は $526.88 \pm 68.21\text{deg/秒}$ であり、回復脚大腿部の前方スウィング速度のピーク値は $-791.93 \pm 145.47\text{deg/秒}$ であった。また、回復脚の腿上げ角度は $29.22 \pm 5.92\text{deg}$ であった。疾走速度と支持期における脚全体の後方スウィング速度のピーク値との間に有意な正の相関関係が認められ、支持期における回復脚大腿部の前方スウィング速度のピーク値との間には有意な負の相関関係が認められた。さらに、疾走速度と回復脚腿上げ角度との間に有意な負の相関関係が認められた。次に、疾走速度との間に有意な相関関係が認められた腕振りに関する動作項目および動作時間（例えば、120%から130%時間における上腕セグメントの角速度）と下肢の動作項目との相関関係を検討した。しかし、いずれの間にも有意な相関関係は認められなかった。

Ⅳ. 考察

本研究の目的は、小学校5年および6年生を対象として、疾走速度と腕振り動作との関係、および下肢の動作と腕振り動作との関係を検討し、目指すべ

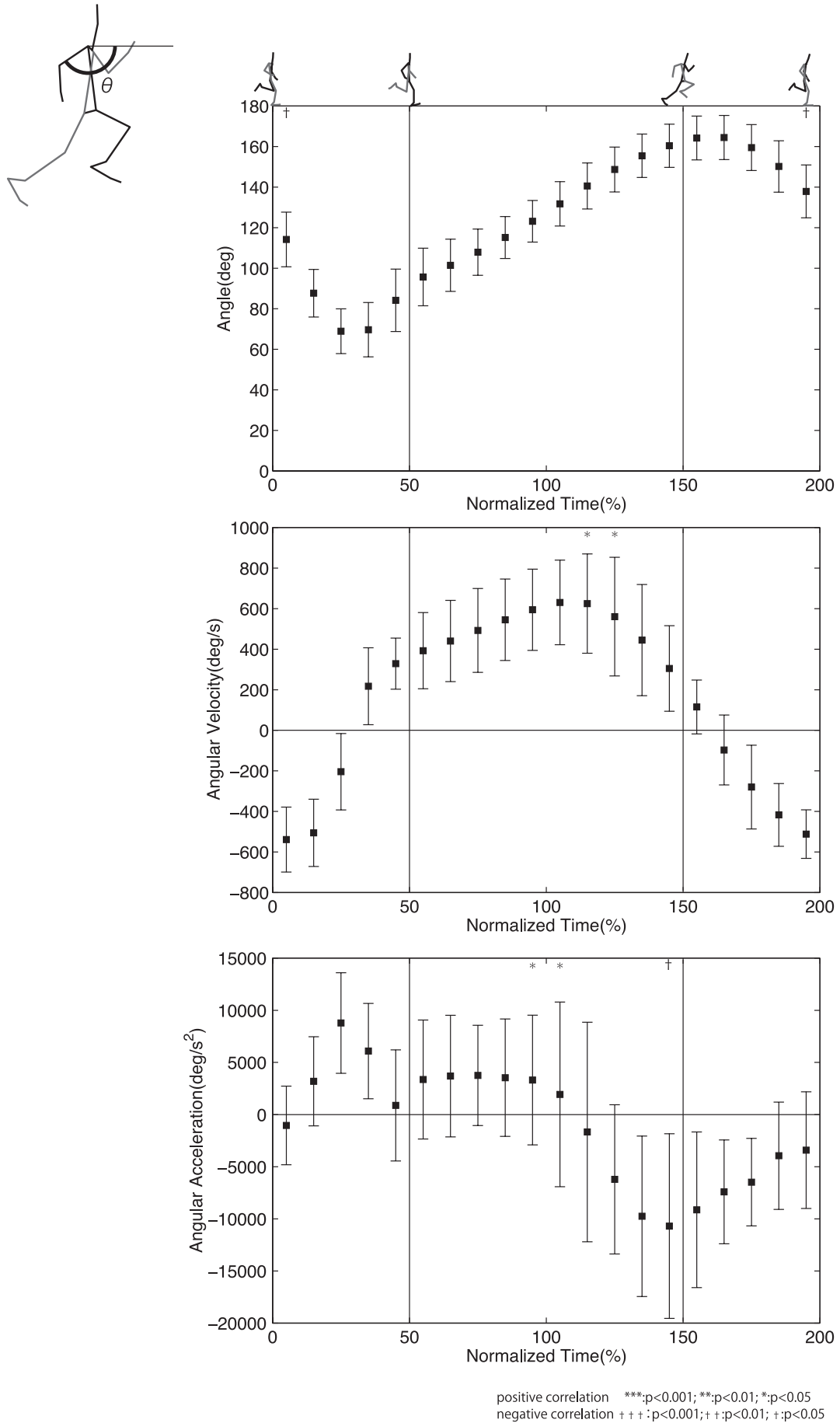
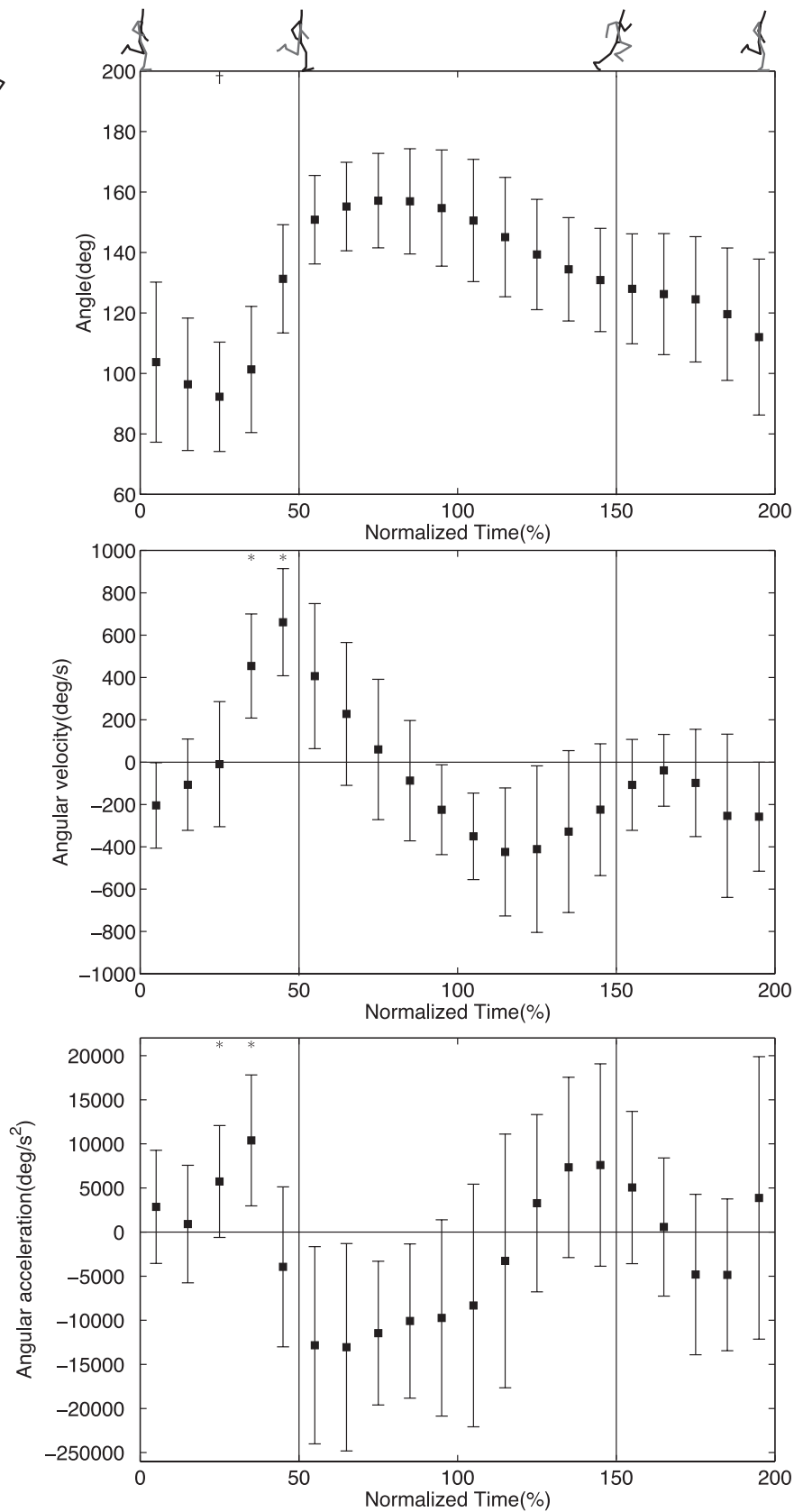


図1 上腕セグメントの角度、角速度および角速度の変化と疾走速度との相関関係



positive correlation ***:p<0.001; **:p<0.01; *:p<0.05
 negative correlation +++:p<0.001; ++:p<0.01; +:p<0.05

図2 肘関節の角度、角速度および角加速度の変化と疾走速度との相関関係

き腕振り動作を明らかにすることであった。

疾走速度と上腕セグメントの動きとの相関関係を検討した結果、疾走速度の高い者は、上腕セグメントが高い速度によって振り下ろされている同側脚の接地時点において上腕セグメントがより屈曲位に移行している傾向が認められた。一方で、この時点における上腕セグメントの角速度と疾走速度との間には有意な相関関係は認められていない。したがって、この時点において高い速度で上腕セグメントを振り下ろすことと比較して、この時点において上腕セグメントの位置が疾走速度に影響を及ぼしている可能性が考えられる。また、より具体的には、同側脚接地の時点で平均的には上腕セグメントは解剖学的正位よりも伸展位にあるが、疾走速度の高い者はこの時点で上腕セグメントがより解剖学的正位に近い位置にあることを示している。平均的な動作が疾走速度の高い者の動作と比較して、「振りおろしが遅れている」と解釈すると、疾走速度の高い者は接地に向けて準備が整っていると解釈することも可能であろう。さらに、疾走速度の高い者は、支持期中盤（90%から100%）においてより高い角加速度で上腕セグメントを伸展位に移行させていて、つづく局面（110%から120%）においてより高い角速度で上腕セグメントを伸展位に移行させていることが示された。

つぎに、疾走速度と肘関節の動きとの関係を検討した結果、有意な相関関係が認められた区間は、回復期後半のみであり、支持期および回復期前半においては疾走速度と肘関節の動きとの間に有意な相関関係は認められなかった。具体的には、疾走速度の高い者は、右脚離地付近における肘関節角度の最小値（屈曲のピーク値）が出現する時点においてより屈曲させている傾向にあり、そこからより加速度的に肘関節を伸展させている傾向が認められた。

上腕セグメントと肘関節に共通する点として、角速度の正のピーク値（伸展速度もしくは伸展位への移行角速度）と疾走速度との間に有意な正の相関関係が認められること、および角速度の正のピーク値の出現に先立つ局面において正の角加速度（伸展の角加速度もしくは伸展位への移行の角加速度）との間に有意な正の相関関係が認められたことである。角速度の立ち上がりを経てピーク値が出現することを考えれば、ピークに至るまでの時間においてその傾きが大きいことは角加速度が大きいことを示すことから、当然の結果ともいえる。一方で、ピーク値を高めるための原因となる加速度が高いことが、疾走速度に影響を及ぼすことを示していると解釈すると、この点は加速度に着目した本研究の意義深い点

といえる。

したがって、疾走速度に影響を及ぼす腕振り動作として、回復期後半の終盤、つまり前方に振り出していた腕の後方へのスウィング開始の局面において大きな角加速度によって積極的に肘関節を伸展させること、つづく支持期中盤において上腕を積極的に後方へスウィングさせることが挙げられる。

腕振り動作が疾走速度に影響を及ぼす理由として、腕振り動作が下肢の動作に影響を及ぼすことによって地面反力が変化し、これによりストライドやピッチが変化して、結果として疾走速度が変化するものと考えられる。そこで、本研究では、疾走速度との間に有意な相関関係が認められた腕振り動作項目と下肢の動作との関係を検討した。なお、本研究において下肢の動作項目として挙げた脚全体の後方スウィング速度³⁾、腿上げ角度⁴⁾、回復脚大腿部の前方スウィング速度¹¹⁾は、これまでの先行研究から疾走速度に影響を及ぼすことが明らかにされた項目であり、本研究においても疾走速度との間に有意な相関関係が認められなかった。両者の間に有意な相関関係が認められない理由としていくつか考えられるが、腕振りの作用が不要な角運動量を打ち消すことにある⁵⁾とすれば、下肢の動作には直接影響は及ぼさず、動きの効率などを介して疾走速度に影響を及ぼしている可能性が考えられる。一方、腕振りそのものが地面反力、ストライドやピッチに影響を及ぼしている可能性も考えられる。つまり、大きな加速度によって腕振りを行うことによってその反作用として地面反力が変化する可能性は十分に考えられる。そして、この場合にも下肢の動作には直接的に影響を及ぼすことはないものと考えられる。いずれにしても本研究では、地面反力を計測していないために、腕振り動作が疾走速度に及ぼす影響について言及することはできず、これは今後の研究課題とする。

文 献

- 1) 羽田雄一・阿江通良・榎本靖士・法元康二・藤井範久（2003）：100m 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。バイオメカニクス研究 7（3）：193-204.
- 2) 伊藤 章（1991）：走りにおける腕の役割。体育の科学。688-692.
- 3) 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走速度との関係。体育学研究 43：260-273.

- 4) 木越清信・加藤彰浩・筒井清次郎 (2012) : 小学生における合理的な疾走動作習得のための補助具の開発. 体育学研究 57 : 215-224.
- 5) 前田正登・三木健嗣 (2010) : スプリント走における腕振りの役割. 陸上競技研究 80 : 13-19.
- 6) 宮地 力 (1985) : 2階微分フィルターによる加速度の算出法. 筑波大学体育科学紀要 8 : 37-46.
- 7) 文部科学省 (2008) : 小学校学習指導要領解説 体育編. 東洋出版社, 東京, .
- 8) 小木曾一之・関岡康雄・安井年文・西垣和彦・森田正利 (1991) : 全力疾走中の上肢における機械的エネルギーの流れ. 陸上競技研究 7 : 12-20.
- 9) 大道 等 (1983) : 写真解析の読み取り誤差と微分演算. Jpn. J. of Sports Science 2-3.
- 10) Wells, R.P. and Winter, D.A. (1980): Assessment of signal noise in kinematics of normal, pathological and sporting gaits, In Human Locomotion I, Proceedings of the first biannual conference of the Canadian Society of Biomechanics: 92-93.
- 11) 矢田恵大・阿江通良・谷川 聡 (2012) : 世界一流および学生短距離選手の回復脚におけるキネティクスの相違. 陸上競技研究, 90 : 9-16.