

義手の着用が片側前腕切断短距離選手のスプリント走におけるパフォーマンスとキネマティクスに与える効果

日本体育大学	平野 智也
(共同研究者) 日本体育大学大学院	柏木 悠
国立スポーツ科学センター	袴田 智子
日本体育大学大学院	水野 洋子
日本体育大学	水野 増彦

Effects of Prosthetic Arm on Sprint Performance and Kinematics in Unilateral Below-Elbow Amputees

by

Tomoya Hirano, Mazuhiko Mizuno
Nippon Sport Science University
Yu Kashiwagi, Yoko Mizuno
Graduate School of Health Sport Science,
Nippon Sport Science University
Noriko Hakamada
Japan Institute of Sports Sciences

ABSTRACT

The relative advantages and disadvantages of using a prosthetic arm for the T47 class Paralympic sprinter (PS) form an important question for athletes and coaches. This study clarifies the influence of wearing a prosthetic arm on PS sprint performance and other kinematic variables during sprinting and includes a comparison with restricting the right arm swing on an able-bodied sprinter (ABS). In this study, two PSs performed 40-m sprints with and without a prosthetic arm, while eight ABSs

performed 40-m sprints both with a normal arm swing and also with the right arm restricted. From these tests, it appears that PS running speed did not significantly change as a result of wearing a prosthetic arm, although there was a difference in thoracic and pelvic rotation. For the ABSs, restricting the right arm swing resulted in significantly slower running speeds than running with a normal arm swing, while the spatio-temporal variables (e.g., step frequency and stride length) and kinematic variables (e.g., thorax, pelvis and lower limb kinematics) also changed. In conclusion, this study suggests that wearing a prosthetic arm may be effective for balancing trunk rotation for PS during sprinting.

要 旨

これまでの先行研究において、T47 クラスのパラリンピックスプリンター（PS）が義手を用いることのメリットやデメリットは明らかとなっておらず、義手を用いるべきか否かはアスリートやコーチにとっての疑問である。そこで本研究の目的は、PS における義手の着用の有無と健常スプリンター（ABS）における片腕振りの制限がスプリント走におけるパフォーマンスと運動学変数に及ぼす影響をそれぞれ明らかにすることとした。2 名の PS は義手の着用条件と非着用条件、8 名の ABS は通常の腕振り条件と右腕固定条件で、屋内の 40m 走路での全力疾走を行った。その結果、PS における義手の着用と非着用条件間では走速度がほぼ変わらず、胸郭および骨盤の回旋動作に違いがみられた。また、ABS においては、右腕の腕振りを制限すると、通常の腕振り条件と比較して、走速度が有意に低下し、時空間変数、胸郭と骨盤および下肢関節動作が変化した。このことから、スプリント走における腕振り動作の重要性が示唆され、義手の着用は走動作における体幹部の回旋運動のバランスを取ることに効果がある可能性が示唆された。

緒 言

ヒトのスプリント走における腕振り動作は、下肢の動作とともに重要な役割を担っている。先行研究において、スプリント走における上肢の腕振り動作は走速度と関係していることが報告されており¹⁾、ラグビーボール²⁾やフィールドホッケースティックを持った時³⁾、あるいはテーピングにより肩甲骨を固定した時¹⁾に疾走速度が低下することが報告されている。このことから、スプリント走における腕振りの制限は、スプリント走のパフォーマンスや走動作に影響を与えられられる。

Hinrichs⁴⁾とHinrichs et. al.⁵⁾は、ジョギング中における腕振り動作を分析し、前方と後方への腕振り動作によって、運動量を相殺させることが腕振りの役割であると報告している。したがって、走動作中の腕振りの制限は、運動量の相殺の妨げになると考えられる。また、更なる走動作中の腕振りの役割を明らかにするためには、パラリンピック陸上競技 T47 クラスの片側および両側上肢欠損のアスリートの走動作を解析することが重要であると考えられる。

T47 クラスのスプリンターは、公式レースで疾走用義手を用いることが可能である。しかしながら、リオデジャネイロパラリンピックの男女 T47

クラス 100m 決勝において、義手を用いていたのは、9名の片側前腕切断者のうち3名であった^{6,7)}。これは、スプリント動作における義手の役割が明らかとなっていないことも関係していると考えられる。したがって、義手を用いることのメリット、デメリットを明らかにすることは、アスリートやコーチに有益な情報となるであろう。

そこで本研究の目的は、義手の着用の有無と片腕の腕振りの制限がスプリント走におけるパフォーマンスと運動学変数に及ぼす影響を明らかにすることである。本研究では、義手の着用が片側前腕欠損者の大幅な走速度の増加に影響しないが⁸⁾、胸郭および骨盤セグメントの鉛直軸まわりの回旋動作に影響を与えると仮説を立てた。

1. 研究方法

1. 1 被験者

被験者は、T47 クラス女子 100m 日本記録保持者（パラリンピックスプリンター A：PS. A）と日本歴代 2 位の記録保持者（パラリンピックスプリンター B：PS. B）の 2 名と同年代の健常スプリンター 8 名（ABS）とした（表 1）。実験実施にあたり、被験者に対し、実験の目的、方法および危険性について説明し、実験参加の同意を得た。なお、本研究計画は、日本体育大学倫理審査委員会の承認を得て行った。

1. 2 運動課題と実験手順

運動課題は、屋内での直線 40m のオールウェザートラックにおける全力疾走とした。パラリンピッ

クスプリンターは、義手の着用条件と非着用条件での全力疾走をそれぞれ 2 回ずつ行った。健常スプリンターは、通常の腕振り条件と右腕固定条件での全力疾走をそれぞれ 2 回ずつ行った。被験者は、実験前に十分なウォーミングアップを行い、実験中は疲労の影響が出ないよう十分な休息を設けた。

1. 3 データ収集

各被験者には、全身 37 箇所反射マーカーを貼付し、全身を光学式モーションキャプチャシステム（VICON MX, Oxford Metrics Ltd, UK）を用いて、各試技における反射マーカーの 3 次元座標位置を 250Hz のサンプリング周波数にて記録した。また、走路にはフォースプレートを 4 枚設置し、足部接地中の地面反力を 1000Hz で取得した。

1. 4 データ処理

取得したマーカーの位置座標データと地面反力データには、位相ずれのない 4 次のバタワース型ローパスフィルターを用いて平滑化を行った。遮断周波数は、位置座標データが 10Hz、地面反力データが 75Hz であった。時空間変数の算出には、地面反力鉛直成分を用いて、右足の接地および離地を同定した。ステップ頻度は 2 歩を右足接地から次の右足接地までの時間（ストライド時間）で除すことで算出し、ストライド長は右足接地から次の右足接地までの間の仙骨マーカーの進行方向の移動距離から算出した。走速度は、ステップ頻度とステップ長（ストライド長の半分）を乗じることにより算出した。各条件において、以下

表 1 被験者特性

Subject	Age (years)	Hight (cm)	Mass (kg)	Classification	Amputation side	Amputation site	100m personal record(s)
PS. A	22.8	157.7	44.2	T47	Right	below-elbow	12.86
PS. B	19.6	157.2	60.9	T47	Right	below-elbow	13.11
ABS (n=8)	19.0 ± 0.4	158.8 ± 3.3	53.0 ± 3.6	-	-	-	12.78 ± 0.49

Paralympic sprinter : PS

Able-bodied sprinter : ABS

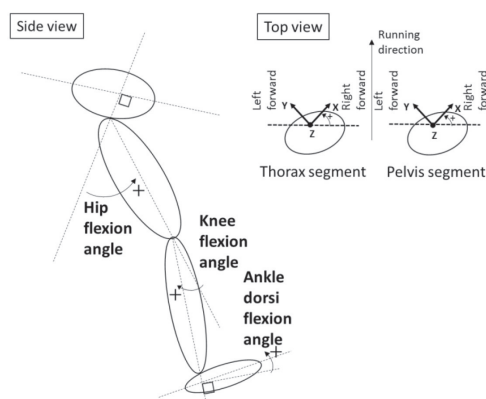


図1 矢状面における下肢関節角度と横断面における胸郭および骨盤角度の定義

のデータ分析は、2 試技中の走速度が速かった試技を採用し行った。位置座標データは、VICON Plug-In Gait モデルを用いて、右足接地から次の右足接地までの1 サイクル中の矢状面における股関節角度、膝関節角度および足関節角度を算出した（図1）。また、横断面における胸郭および骨盤回旋角度を算出した。上記の関節角度とセグメント角度は、時間微分処理を行い、関節およびセグメント角速度を算出した。

1. 5 統計処理

健常スプリンターにおける通常の腕振り条件と右腕固定条件における時空間変数および運動学データは、ウィルコクソンの符号順位検定を用いて比較した。有意水準は、 $P < 0.05$ とした。統計処理には、SPSS (IBM SPSS Statistics Version24, SPSS Inc., US) を用いた。

2. 研究結果

表2 は時空間変数の結果を示したものである。片側前腕切断者における義手の着用条件は、非着用条件と比較して、PS. A は走速度が 0.1m/s 増加し、PS. B は変化がみられなかった。また、義手の着用条件において、ステップ頻度は PS. A が増加、PS. B が低下、ストライド長は PS. A が低下、PS. B が増加と2 名で異なる変化を示した。健常スプリンターにおける右腕固定条件は、通常腕振り条件と比較して、走速度、ステップ頻度およびストライド長が有意に低下した。

図2 は2 条件下における1 ストライド中の下肢3 関節の角度および角速度の比較を示す。パラリンピックスプリンターにおいて、2 条件の下肢3 関節角度と角速度は、同様なパターンを示した。健常スプリンターにおいて、右腕固定条件は、通

表2 パラリンピックスプリンター(PS)と健常スプリンター(ABS)における2条件下でのスプリント中の時空間変数の比較

				With (PS) NAS (ABS)		Without (PS) RAF (ABS)		P
				Mean	SD	Mean	SD	
PS. A	Running velocity	m/s		7.82		7.71		
PS. B				7.80		7.80		
ABS (n=8)				8.00	0.15	7.69	0.21	0.012
PS. A	Step frequency	steps/s		4.55		4.24		
PS. B				4.13		4.24		
ABS (n=8)				4.34	0.13	4.25	0.13	0.018
PS. A	Strlde length	m/s		3.44		3.64		
PS. B				3.78		3.68		
ABS (n=8)				3.69	0.13	3.62	0.12	0.025

Paralympic sprinter: PS

Able-bodied sprinter: ABS

With prosthetic: With; Without prosthetic: Without

Normal arm swing: NAS; Right arm fixed: RAF

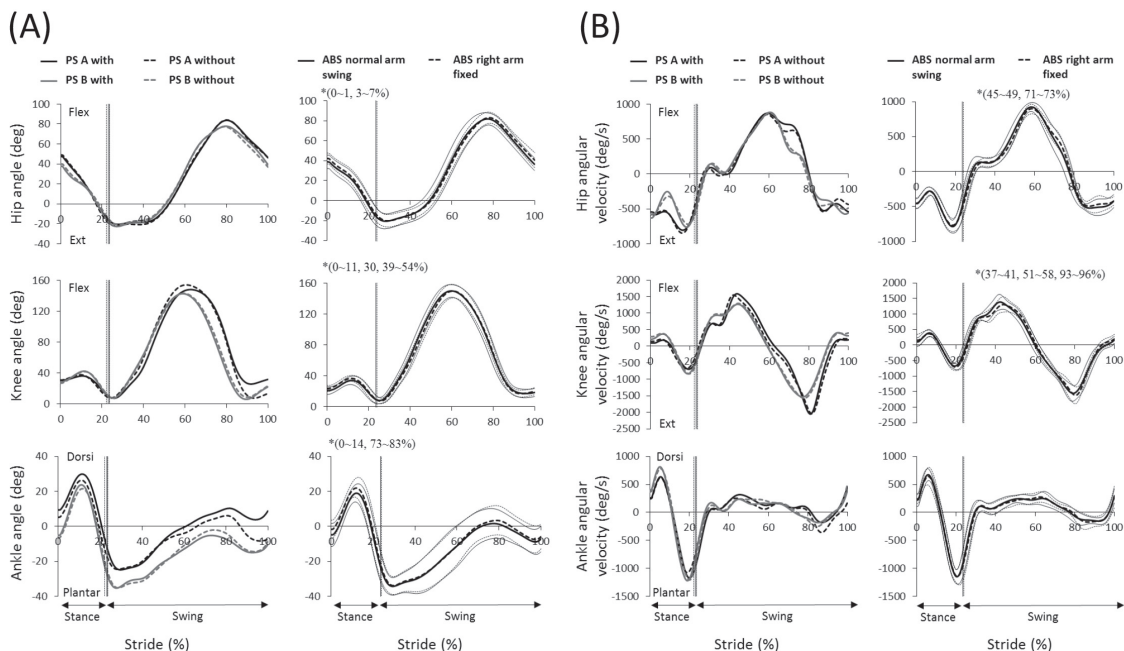


図2 パラリンピックスプリンター (PS) と健常スプリンター (ABS) における2条件下でのスプリント中の下肢3関節の角度 (A) および角速度 (B) の比較
横軸の0および100%は右足接地を示し、縦線は右足離地を示す。*は、ABSにおける2条件の間の有意差を示している。

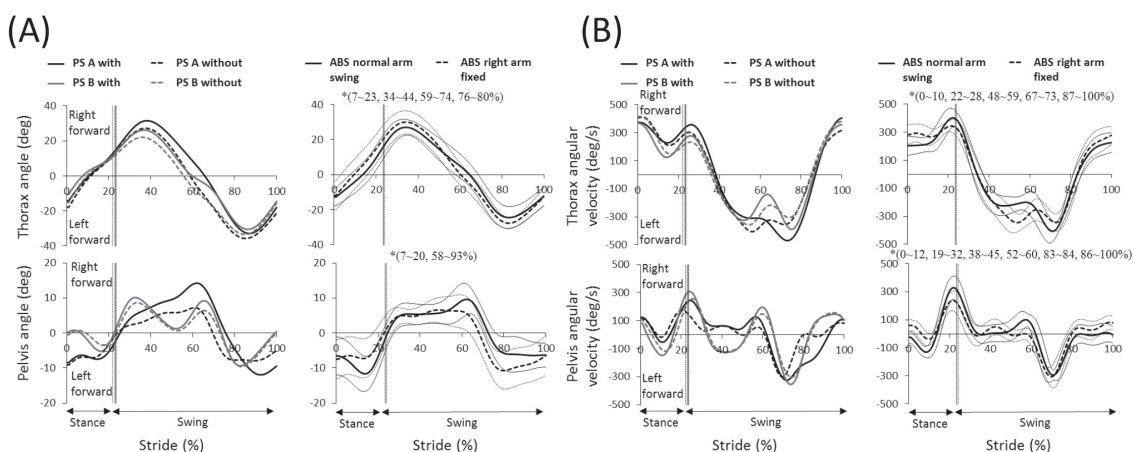


図3 パラリンピックスプリンター (PS) と健常スプリンター (ABS) における2条件下でのスプリント中の胸郭および骨盤回旋角度 (A) および角速度 (B) の比較
横軸の0および100%は右足接地を示し、縦線は右足離地を示す。*は、ABSにおける2条件の間の有意差を示している。

常の腕振り条件と比較して、右足接地後の股関節および膝関節の屈曲と足関節の背屈が増加した。また、右腕固定条件では、遊脚期の股関節および膝関節の屈曲伸展角速度が減少した。

図3は2条件下における1ストライド中の胸郭および骨盤角度および角速度の比較を示す。パラリンピックスプリンターにおいて、義手の着用条件では、遊脚期後半の胸郭の右回旋の減少を除

き、左右の回旋角度および角速度が増加傾向を示した。健常スプリンターにおいて、右腕固定条件では、胸郭の左右回旋が大きくなり、骨盤セグメントにおいては、支持期の右回旋が小さくなり、遊脚期の右回旋は大きくなった。また、胸郭および骨盤セグメントの回旋角速度は、左右の回旋ともに右腕固定条件において減少した。

3. 考 察

本研究の目的は、義手の着用の有無と片腕の腕振りの制限がスプリント走におけるパフォーマンスと運動学変数に及ぼす影響を明らかにすることである。

本研究で対象としたパラリンピックスプリンター2名において、義手の着用条件は、非着用条件と比較して、PS. Aは走速度が0.1m/s増加し、PS. Bでは両条件で同速度であった(表2)。このことは、義手の使用がスプリントパフォーマンスを大幅に向上させるとは限らないことを示している。阿江ら⁸⁾によると、日本人女子アスリートの前腕および手のセグメント質量の身体質量に対する比は、それぞれ1.5%と0.6%であることが示されている。このことから、前腕と手は、胴体、大腿および下腿セグメントの質量と比べ、比較的小さな質量であることから、義手がスプリントパフォーマンスに及ぼす影響が少なかったと考えられる。一方、健常スプリンターにおいて、右腕固定条件では、通常の腕振り条件と比較して、走速度、ステップ頻度およびストライド長が有意に低下した(表2)。これは、ラクビーボール²⁾やフィールドホッケースティックを持った時³⁾、あるいはテーピングにより肩甲骨を固定した時¹⁾に疾走速度が低下するという先行研究を支持するものであった。

下肢キネマティクスにおいて、パラリンピックスプリンター2名の2条件における下肢3関節角度と角速度は、同様なパターンを示した(図2)。

これは、義手の使用の有無で走速度がほぼ変わらなかったため、時空間変数と同様に条件間で差がみられなかったと考えられる。一方、健常スプリンターにおいて、右腕固定条件は、通常の腕振り条件と比較して、遊脚期の股関節および膝関節の屈曲伸展角速度が減少した(図2)。したがって、右腕固定条件でのステップ頻度の低下は、股関節および膝関節の屈曲伸展角速度の減少により下肢の引き付け動作が遅くなり、結果として走速度の低下を招いたと考えられる。

胸郭および骨盤回旋動作において、パラスプリンターの義手の着用条件では、胸郭および骨盤の左右の回旋角度および角速度が増加傾向を示した(図3)。また、健常スプリンターの右腕固定条件は、通常の腕振り条件と比較して、胸郭セグメントの左右の回旋が大きくなった(図3)。Hinrichs⁴⁾とHinrichs et. al.⁵⁾は、前方と後方への腕振り動作によって、運動量が相殺させることを報告している。したがって、健常スプリンターの右腕の固定条件では、両腕の腕振りによる運動量の相殺が行えず、胸郭セグメントの回旋が増加したと考えられた。一方で、パラスプリンターの義手の着用による胸郭および骨盤セグメントの左右の回旋角度および角速度が増加傾向の要因は、義手の質量によって腕振り動作が変化したことに付随すると考えられ、今後の研究では、義手の慣性特性を考慮した腕振り動作の解析を行う必要がある。

4. 総 括

本研究では、義手の着用の有無と片腕の腕振りの制限がスプリント走におけるパフォーマンスと運動学変数に及ぼす影響を確認した。本研究で対象とした2名のスプリント走を解析し、義手の着用と非着用条件間で比較した結果、走速度はほぼ変わらず、胸郭および骨盤セグメントの回旋動作に違いがみられた。また、健常スプリンターにおいては、右腕の腕振りを制限すると、通常の腕振

り条件と比較して、走速度が有意に低下し、時空間変数および胸郭、骨盤および下肢キネマティクスが変化した。このことから、スプリント走における腕振り動作の重要性が示唆され、今後の研究では義手の特性を考慮した走動作分析を行う必要があるだろう。

謝 辞

本研究に対して助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また、本研究報告書をまとめるにあたりご助言を賜りました日本体育大学スポーツバイオメカニクス研究室船渡和男教授に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Otsuka, M., Ito, T., Honjo, T., Isaka, T., Scapula behavior associates with fast sprinting in first accelerated running, *SpringerPlus*, **5**: 1-9 (2016)
- 2) Grant, S. J., Oommen, G., McColl, G., Taylor, J., Watkins, L., Friel, N., Watt, I., McLean, D., The effect of ball carrying method on sprint speed in rugby union football players, *J. Sports Sci.*, **21**: 1009-1015 (2003)
- 3) Wdowski, M. M., Gittoes, M. J., Kinematic adaptations in sprint acceleration performances without and with the constraint of holding a field hockey stick, *Sports Biomech.*, **12**: 143-153 (2013)
- 4) Hinrichs, R. N., Upper extremity function in running. II: Angular momentum considerations, *Int. j. sport. biomech.*, **3**: 242-263 (1987)
- 5) Hinrichs, R. N., Cavanagh, P. R., Williams, K. R., Upper extremity function in running. I: center of mass and propulsion considerations. *Int. j. sport. biomech.*, **3**: 222-241 (1987)
- 6) Athletics | Men's 100m - T47 Final | Rio 2016 Paralympic Games. <https://www.youtube.com/watch?v=oqcupFRHFIs>. September 7 (2016)
- 7) Athletics | Women's 100m - T47 Final | Rio 2016 Paralympic Games. <https://www.youtube.com/watch?v=c0p3-pRI-Lg>. September 11 (2016)
- 8) 阿江通良, 湯海鵬, 横井孝志., 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定. バイオメカニズム, **11**: 23-33 (1992)