

男子 100m走におけるピッチとステップ長： 義足スプリンターは人類最速になりうるか？

Step frequency and step length in Men's 100-m sprint: Fastest sprinter without leg?

○ 保原浩明, 小林吉之, 持丸正明

(独立行政法人産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センター)

Hiroaki HOBARA, Yoshiyuki KOBAYASHI, Masaaki Mochimaru,
Digital Human Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Abstract: Recent technical developments of running-specific prostheses (RSPs) have allowed individuals with lower extremity amputation (ILEA) to compete at levels never before achieved. However, there are still more than one second gap between ILEA sprinters and able-bodied sprinters in world class 100-m sprint. To identify the differences in 100-m sprint performance between two groups, we analyzed twenty-nine able-bodied elite sprinters and nineteen amputee sprinter (T43 and T44) with RSPs from publicly available television broadcasts (Olympic Games and World Championships from 2008 to 2012). From the video images, we calculated average velocity, step frequency and step length. Average velocity and step frequency in able-bodied sprinters were significantly higher than those of amputee sprinters. However, there was no significant difference in step length between two groups. These results suggest that the difference in sprint performance between the two groups would be attributed to differences in step length rather than step frequency.

Key Words: Running-specific prostheses, Paralympic, Step frequency, Step length

1. はじめに

2012年のロンドンオリンピック男子400m走に、歴史上初めて両脚下肢切断者である「障害者」の選手が出場し、準決勝まで進出したことは記憶に新しい。このように、スポーツ用義足を駆使した義足ランナーの中には一般アスリートと遜色ないレベルにまで達している者が多く存在し、今もなお驚くべきペースで記録を更新し続けている。

1990年代後半から、義足ランナーの多くがカーボンファイバー製の板バネ構造をもつ最先端の義足「エネルギー蓄積型疾走用足部 (Running-specific prostheses; RSPs)」を装着している⁽¹⁾。しかしながら、こうしたスポーツ用義足の普及は皮肉なことに「義足の装着によって不当なアドバンテージを得ているのではないか？」という疑いの目を生じさせた。この疑問を解決するべく、2000年代後半から世界中の研究者が義足ランナーの生体力学的特性を調べているが、いまだ明確な結論は得られていない⁽²⁻¹³⁾。

こうした議論の一方、世界レベルの健常者スプリンター (Able-bodied sprinters; ABS) と義足スプリンター (T43-T44 クラス；両脚および片脚下肢切断者) における男子100m走の世界記録には未だ1秒以上の開きがある (ABS 9.58秒, T43-T44 10.85秒)。従来、義足スプリンターは、RSPがヒト下腿部よりも慣性モーメントが小さいことから^(13, 14)、ピッチ (Step frequency; f_{step}) がABSよりも短くなることとがあげられる^(9, 11)。よって両グループにあるスプリント能力の差は一步の歩幅 (Step length; L_{step}) にあることが予想される。本研究の目的は世界レベルの選手を対象に、ABSとT43-T44グループ間に存在するスプリント能力の規定因子について検討することであった。

2. 実験方法

本研究のデータは、国際オリンピック委員会、国際陸上競技連盟および国際パラリンピック委員会が公開している2008年から2012年までの主要な国際大会の公式動画 (男子100m走決勝) から取得した。ABSのデータは2008年の

北京オリンピック、2009年のベルリン世界陸上競技選手権、2011年の大邱世界陸上競技選手権および2012年のロンドンオリンピックから取得した。T43-T44群に関するデータは2008年の北京パラリンピック、2011年のIPC陸上競技世界選手権大会および2012年のロンドンパラリンピックから取得した。最終的にABS群はのべ28名、T43-T44群はのべ19名を分析に用いることが可能であった。

平均速度 (V_{100m} ; m/s) は距離 (100m) を公式記録 (タイム) で除すことによって算出した。平均ピッチ (f_{step} ; Hz) はレース中のステップ数をカウントし、公式タイムで除すことによって求めた。また、平均ステップ長 (L_{step} ; m) は、平均速度を平均ピッチで除すことによって算出した。

全てのデータはABSとT43-T44群間で比較した。そのため、統計処理として independent-*t* test を用いた。このとき、危険率5%水準を統計学的に有意とした。

3. 結果と考察

ABSはT43-T4群よりも V_{100m} が約15%高く、有意に高い値を示した (Figure 1-A)。この差は100m走において約1.4秒の差となり、両群間の世界記録と同様の差であった。

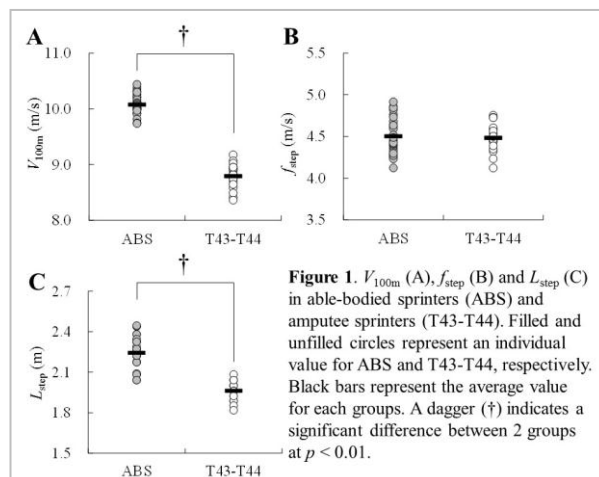


Figure 2 に f_{step} と L_{step} の関係を示した. 解析対象としたレースにおいて, ABS の f_{step} は 4.12 Hz から 4.92 Hz の間で, T43-T44 群の f_{step} は 4.12 Hz から 4.75 Hz の間でばらつきがみられ, 両群の f_{step} に有意差は認められなかった (Figure 1-B). これらの結果は, RSP を装着した義足スプリンターの swing time が健常者よりも短くなるという先行研究の結果と異なるものであった^(9, 11). これに対し, Grabowski et al.⁽¹⁴⁾ はテレビ画像のレースを分析した結果, 両者の swing time は同等であるとの見解を示している. 以上のことから, 本研究における結果は Grabowski et al.⁽¹⁵⁾ らの見解を支持するものであり, 従来から提唱されている RSP 装着による f_{step} の優位性を否定するものだといえる.

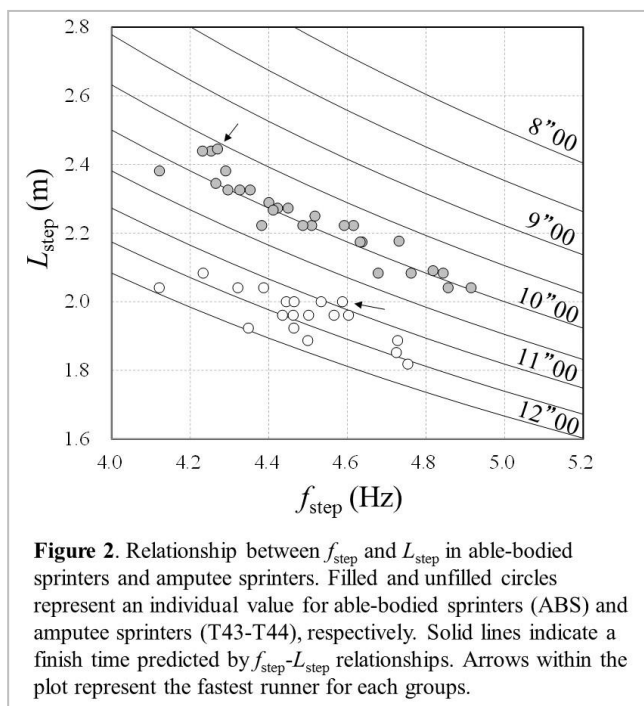


Figure 2. Relationship between f_{step} and L_{step} in able-bodied sprinters and amputee sprinters. Filled and unfilled circles represent an individual value for able-bodied sprinters (ABS) and amputee sprinters (T43-T44), respectively. Solid lines indicate a finish time predicted by $f_{\text{step}}-L_{\text{step}}$ relationships. Arrows within the plot represent the fastest runner for each groups.

一方, ABS の L_{step} は 2.04 m から 2.44 m の間で, T43-T44 群の L_{step} は 1.82 m から 2.08 m の間でばらつきがみられ, 両群には有意差が認められた (Figure 1-C). これらの結果は, 現段階における健常者スプリンターと RSP を装着した義足スプリンターにおけるパフォーマンスの差は主に L_{step} に起因していることを示唆している. Hunter et al.⁽¹⁶⁾ によると, L_{step} の規定因子は主に滞空期における重心の移動距離 (flight distance) であり, これは更に離地時の鉛直速度によって変化しうる. こうした変数は鉛直地面反力の力積によって決定するが, 先行研究によると, RSP を装着した義足スプリンターの鉛直地面反力の力積は ABS よりも小さくなることが報告されている^(13, 17). 以上のことから, T43-T44 クラスに関し, 現在市場で出回っているカーボン繊維製の RSP を使用している限り, L_{step} の大幅な改善は見込めないため, ABS との差が縮まるとは考えにくい.

4. 結論

義足スプリンターは人類最速になりうるか? 本研究の結果から, 100m 走に関してのみ, 現状の RSP を使用し, 大幅なルール変更 (特に義足長に関する変更) がない限り, その可能性は低いといえる.

参考文献

- (1) Aruin AS, Sports after amputation, In Biomechanics in Sports-performance enhancement and injury prevention (Edited by Zatsiorski VM), pp. 637-650, 2000.
- (2) Hobara H, Baum BS, Kwon HJ, Shim, JK, Running mechanics in amputee runners using running-specific prostheses, Jap J Biomech Sports Exerc, in press.
- (3) Adamczyk PG, For forward running, study fore-aft forces, J Appl Physiol, vol. 108, pp. 1017, 2010.
- (4) Buckley JG, Juniper MP, Artificial limbs can enable artificially fast running, J Appl Physiol, vol. 108, pp. 1016, 2010.
- (5) Cavagna GA, At high running speeds, power developed each step during the push appears to be sustained by elastic energy, J Appl Physiol, vol. 108, pp. 1016, 2010.
- (6) Kram R, Grabowski AM, McGowan CP, Brown MB, Herr HM, Counterpoint: Artificial legs do not make artificially fast running speeds possible, J Appl Physiol, vol. 108, pp. 1012-1014, 2010.
- (7) Kram R, Grabowski AM, McGowan CP, Brown MB, McDermott WJ, Beale MT, Herr HM, Last Word on Point:Counterpoint: Artificial limbs do/do not make artificially fast running speeds possible, J Appl Physiol vol. 108, pp. 1020, 2010.
- (8) Morin JB, A narrow focus on swing time and vertical ground reaction force, J Appl Physiol, vol. 108, pp. 1017-1018, 2010.
- (9) Weyand PG, Bundle MW, Point: Artificial limbs do make artificially fast running speeds possible, J Appl Physiol, vol. 108, pp. 1011-1012, 2010.
- (10) Weyand PG, Bundle MW, Last Word on Point:Counterpoint: Artificial limbs do make artificially fast running speeds possible, J Appl Physiol, vol. 108, pp. 1019, 2010.
- (11) Weyand PG, Bundle MW, McGowan CP, Grabowski A, Brown MB, Kram R, Herr H, The fastest runner on artificial legs: Different limbs, similar function? J Appl Physiol, vol. 107, pp. 903-911, 2009.
- (12) Zelik KE, "Net advantage" is more rooted in sport than science, J Appl Physiol, vol. 108, pp. 1016-1017, 2010.
- (13) Brüggemann GP, Arampatzis A, Emrich F, Potthast W, Biomechanics of double transtibial amputee sprinting using dedicated sprinting prostheses, Sports Technol, vol. 1, pp. 220-227, 2008.
- (14) Baum BS, Schultz MP, Tian A, Shefter B, Wolf EJ, Kwon HJ, Shim JK, Amputee locomotion: Determining the inertial properties of running-specific prostheses, Arch Phys Med Rehab, in press.
- (15) Grabowski AM, McGowan CP, McDermott WJ, Beale MT, Kram R, Herr HM, Running-specific prostheses limit ground-force during sprinting, Biol Lett, vol. 6, pp. 201-204, 2010.
- (16) Hunter JP, Marshall RN, McNair PJ, Interaction of step length and step rate during sprint running, Med Sci Sports Exerc, vol. 36, pp. 261-71, 2004.
- (17) Baum BS, Kinetics in individuals with unilateral transtibial amputations using running-specific prostheses, Doctoral Dissertation, Department of Kinesiology, University of Maryland, 2012.