

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成30年6月15日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2017

課題番号：26702027

研究課題名(和文) スポーツ用義足における生体力学的特性の解明とデータベースの構築

研究課題名(英文) Biomechanics of sprinters with lower extremity amputations wearing running-specific prosthesis

研究代表者

保原 浩明(Hobara, Hiroaki)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：40510673

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的はスポーツ用義足の形状、剛性、アライメント(装着方法)の違いがランニング中の生体力学的特性に及ぼす影響を明らかにすることである。また、得られた知見に加えて、義足ユーザの体力特性や形態学的特徴を組み込んだデータベースを構築することであった。三次元動作解析による義足スプリンター18名の運動解析を行った結果、義足ランナーは左右脚間で非対称な力発揮戦略を行っていることが明らかとなった。加えて、実レース環境中の時空間変数は切断レベル、性別、人種、競技レベルといった要因の影響を受けることが明らかとなった一方、切断側や身長といった要因による明確な影響は認められなかった。

研究成果の概要(英文)：The goal of this project is to provide biomechanical evidence of running-specific prosthesis for individuals with lower extremity amputation (ILEAs). Three-dimensional motion analysis with inverse dynamics was used to quantify kinetics and kinematics during maximal sprinting in ILEAs. Further, we developed a database for spatiotemporal data of ILEAs using publicly-available Internet broadcasts. The average speed, step length, and step frequency for each ILEA sprinter in 100- and 200-m sprints were calculated using the number of steps in conjunction with the official race time and distance (n=1277). We found that propulsive impulses of ground reaction forces generated by the prosthetic limb, rather than the intact limb, may be the key parameter for achieving greater sprint velocity in ILEAs. For the second approach, we also found that spatiotemporal parameters in ILEAs vary according to amputation levels, sex, ethnicity and competition level, but not to body height or amputation side.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：バイオメカニクス 動作解析 義足 パラリンピック データベース

1. 研究開始当初の背景

スポーツ用義足における生体力学的特性の
解明とデータベースの構築

2. 研究の目的

スポーツ用義足の形状、剛性、アライメント(装着方法)の違いがランニング中の生体力学的特性に及ぼす影響を明らかにする。また、得られた知見に加えて、義足ユーザの体力特性や形態学的特徴を組み込んだデータベースを構築する。データベースは広く一般に向けて公開し、ユーザの体力特性に応じたスポーツ用義足の最適な選定・装着法や、効果的なトレーニング法を指導現場や医科学支援スタッフに提案することを試みる。

3. 研究の方法

三次元動作解析による義足スプリンター18名の運動解析を行った。義足を含む全身80か所に反射マーカを貼付し、地面反力(鉛直・前後・水平成分)および関節角度・関節モーメントの評価を行った。実験課題として、薬40m走路にける全力疾走動作を設定した。なお、実験に当たっては義肢装具士をはじめとした医療資格を有するスタッフを常時配置することで、安全の確保に務めた。

また、義足スプリンターのレース分析データベースの作成に従事した。ウェブ上にある義足スプリンターの公式動画(100m走および200m走)内において、各選手の公式タイムと総歩数を計測することでランニングの時空間変数(平均速度・平均ステップ頻度および平均ステップ長)を算出し、個人データ(レース開催年・レース名・予選/決勝・障害クラス・氏名・国籍・使用している義足・公式タイムなど)を紐づけてデータベースに組み込んだ。全データ数は健常者含めて1277名を超えるものとなった。本データベースを利用し、実レース環境中における時空間変数に影響を与える要因について、全期間を通じて網羅的な検証を行った。

4. 研究成果

まず、下腿切断者と比較して相対的に研究が対象として敬遠されてきた、大腿切断者を被験者とした生体計測実験を行った。全力疾走中の地面反力(鉛直・前後・水平成分)を左右脚で比較した結果、大腿義足ランナーは健側の鉛直成分とブレーキ成分が優位に義足側よりも大きいことが明らかとなった。一方、義足側の推進成分は健側よりも有意に大きいことも明らかとなった。以上のことは、炭素繊維強化プラスチックで制作されたスポーツ用義足を装着する大腿義足スプリンターは、義足側のブレーキ成分を小さくし、その後の推進成分を大きくするという、左右脚間で非対称な力発揮戦略を行っていることが明らかとなった。同様に下肢全体を質量ばね系でモデリングした際の剛性値(Leg stiffness)も左右脚間で比較した。その結

果、地面反力と同様に、義足側の Leg stiffness は健側よりも有意に小さいことが明らかとなった。これらの結果は、走動作において、スポーツ用義足は鉛直方向への荷重がしずらく、これが健常者以上の走速度を獲得できない要因であることが示唆された。

次に、動画共有サイトにアップロードされている義足スプリンターの動画から算出した時空間変数(平均速度、平均ステップ頻度、平均ステップ長)と関連する因子を網羅的に解析した。

先ず、実レース環境における時空間変数の標準データセットを構築するため、各クラスにおいてA標準記録を突破した、のべ255名の義足スプリンターを男女および切断レベルで比較をした。その結果、実レースで記録される時空間変数は性別と切断レベルの両方の影響を受けることが明らかとなった。特に、大腿切断者は平均ステップ頻度・平均ステップ長ともに下腿切断者よりも低地を示していた。これは同一性別においても、切断レベルを考慮した指導法が必要であることを示唆している。

次に、下腿義足を装着する義足ランナー14名の身長と時空間変数との関連を調べた。その結果、義足スプリンターの身長はいずれの時空間変数とも関連していないことが明らかとなった。これは健常者において観察された、「高身長な選手ほどピッチが低く、ストライドが長い」という現象とは大きく異なるものである。本研究の結果は、片側下腿義足を装着するスプリンターが、その義足長を調整するうえで、健常者と同様の知見から義足のアライメント(構造的高さ)を調整することは必ずしも得策とは言えないことを示唆しており、義肢装具士にとって極めて重要な知見といえる。

また、下腿義足ランナーのなかでも競技レベル(A標準突破、B標準突破、それ以外のレベル)の異なる3集団における時空間変数を比較した。その結果、3群間に平均ピッチの差は見られなかったが、平均ストライドに有意な差がいられた。これは、下腿義足スプリンターにおける競技レベルの差は、主にストライドによるものであることを示唆している。全力疾走動作におけるストライドは主に直前の地面反力(力積)が支配的であることを考慮すると、短時間での最大筋力を向上するトレーニング法が、健常者と同様、義足スプリンターにも必要であることが示唆された。

また、全切断クラスの共通事項として、日本人選手は北米・欧州選手と比べ100m走・200m走共に平均ステップ長が短い傾向にあることが明らかとなった。切断クラス・国籍を問わず、使用されている義足は主に2種類(Cheetah Xtreme, Sprinter 1E90)に大別されること、そして、外国人の一流選手4名の経年変化を追った結果、好記録が生み出される直前に義足を変更していることが明らかとなった。加えて、各選手の人種もまた、実

レース中の時空間変数に影響を与えていた。以上のことは、切断レベルや身体属性のみならず、適切なタイミングで義足を調整・変更することが、競技力向上にとって重要であることを示唆している。

また、最終年度には、下腿義足を装着する一流義足ランナー7名のタイムとピッチ・ストライドとの関連を調べた。その結果、一流義足ランナーの中でもピッチが主にタイム更新に貢献する者と、ストライドが貢献する者、さらにはそのいずれもが貢献する3パターンの選手がいることが明らかとなった。この結果は、パラ陸上に参加する義足スプリンターのトレーニング処方进行を考案するうえできわめて重要な知見と言える。また、両側大腿切断者と片側大腿切断者の間で、200m走を行った際の平均速度、平均ピッチ、平均ストライドを比較した。その結果、両側大腿切断者は相対的にピッチが低い一方、ストライドが長いことが明らかとなった。こうした時空間因子の違いは、膝継手の有無をはじめとした義足の構成要素の違いによるところが大きく、言い換えれば、この点の最適化がより速く走る上で重要であることを示唆している。

以上、本研究期間全体を通じて、義足スプリンターの走パフォーマンスに影響を与える因子が明らかとなった。本研究プロジェクトはすでに12本の原著論文、15回の国際会議発表を達成しており、世界へ向けて日本の研究プレゼンスを示すことが十分にできたと考えている。本研究で得られたデータベースはすでに部分的に公開・共有しており、多様な障害を抱える義足スプリンターの競技力向上だけでなく、運動機会の創出を実現できるよう、継続してデータを収集していきたいと考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計12件)

Hobara H, Saito S, Hashizume S, Sakata H, Kobayashi Y. Individual step characteristics during sprinting in unilateral transtibial amputees. *Journal of Applied Biomechanics*, 査読有, 印刷中.

Hobara H, Saito S, Hashizume S, Namiki Y, Kobayashi Y. Differences in spatiotemporal parameters during 200-m sprint between bilateral and unilateral transfemoral amputees. *Prosthetics and Orthotics International*, 査読有, 印刷中.
DOI : 10.1177/0309364618767142

Sano Y, Makimoto A, Hashizume S, Murai A, Kobayashi Y, Takemura H, Hobara H. Leg stiffness during sprinting in tranfemoral

amputees using running-specific prosthesis. *Gait and Posture*, 査読有, 56巻, 2017, 65-67.

DOI : 10.1016/j.gaitpost.2017.04.038

Makimoto A, Sano Y, Hashizume S, Murai A, Kobayashi Y, Takemura H, Hobara H. Ground reaction forces during sprinting in unilateral transfemoral amputees, *Journal of Applied Biomechanics*, 査読有, 33巻, 2017, 406-409.

DOI : 10.1123/jab.2017-0008

Willwacher S, Funken J, Heinrich K, Müller R, Hobara H, Grabowski AM, Brüggemann GP, Pothast W. Elite long jumpers with below the knee prostheses approach the board slower, but take-off more effectively than non-amputee athletes, *Scientific Reports*, 査読有, 7巻, 2017, 16.

DOI : 10.1038/s41598-017-16383-5

Hobara H, Pothast W, Müller R, Kobayashi Y, Hashizume S, Heldoorn TA, Mochimaru M. Relationship between body height and spatiotemporal parameters during a 100 m sprint in able-bodied and unilateral transtibial sprinters, *Prosthetics and Orthotics International*, 査読有, 41巻, 2017, 492-497.

DOI : 10.1177/0309364616684164

Hobara H, Hashizume S, Kobayashi Y, Mochimaru M. Spatiotemporal parameters of 100-m sprint in different levels of sprinters with unilateral transtibial amputation, *PLOS ONE*, 査読有, 11巻, 2016, e0163712
DOI : 10.1371/journal.pone.0163712

Hobara H, Hashizume S, Kobayashi Y, Usami Y, Mochimaru M. Ethnicity and spatiotemporal variables of 100-m sprint in bilateral and unilateral transtibial amputees, *SpringerPlus*, 査読有, 5巻, 2016, 343.
DOI : 10.1186/s40064-016-1983-1

Hobara H, Sano Y, Kobayashi Y, Heldoorn TA, Mochimaru M. Step frequency and step length of 200-m sprint in able-bodied and amputee sprinters, *International Journal of Sports Medicine*, 査読有, 37巻, 2016, 165-168.

DOI : 10.1055/s-0035-1564171

Hobara H, Pothast W, Müller R, Kobayashi Y, Heldoorn TA, Mochimaru M. Normative spatiotemporal parameters during 100-m sprints in amputee sprinters using running-specific prostheses, *Journal of Applied Biomechanics*, 査読有, 32巻, 2016,

93-96.

DOI : 10.1123/jab.2014-0297

Hobara H, Kobayashi Y, Heldoorn TA, Mochimaru M. The fastest sprinter in 2068 has an artificial limb? *Prosthetics and Orthotics International*, 査読有, 39 巻, 2015, 519-520.

DOI : 10.1177/0309364614564026

Hobara H, Potthast W, Sano Y, Müller R, Kobayashi Y, Heldoorn TA, Mochimaru M. Does side of amputation influence sprint performance in sprinters using runningspecific prostheses? *Springer Plus*, 査読有, 4 巻, 2015, 670

DOI : 10.1186/s40064-015-1470-0

[学会発表](計 15 件)

Hobara H, Hashizume S, Kobayashi Y. Step frequency and step length of 100-m sprint in Paralympic T42 sprinters, *International Society of Biomechanics XXVI Congress*, (国際学会), 2017.

Namiki Y, Sano Y, Makimoto A, Hashizume S, Murai A, Kobayashi Y, Takemura H, Hobara H. Joint moments of unilateral transfemoral amputees using running-specific prosthesis, *The 35th International Society of Biomechanics in Sport* (国際学会), 2017.

Hobara H. The limits of Paralympian performance: Research findings of biomechanical studies. *VISTA2017* (国際学会・招待講演), 2017

Hobara H. Latest researches on running-specific prostheses: Toward social implementations of biomechanics, *The 35th International Society of Biomechanics in Sport* (国際学会・招待講演), 2017

Hobara H. Running-specific prostheses: Can amputees be the fastest sprinter on the earth?, *Korean Society of Biomechanics conference* (国際学会・招待講演), 2016

Hobara H, Hashizume S, Kobayashi Y, Mochimaru M. Comparisons of spatiotemporal parameters of 100-m sprint among elite-, sub-elite and non-elite amputee sprinters, *The 34th International Society of Biomechanics in Sport* (国際学会), 2016.

Hobara H, Kobayashi T. Longitudinal changes in spatiotemporal parameters of 100-m sprint: a case study, *Asian Prosthetic and Orthotic Scientific Meeting* (国際学会), 2016.

Hobara H, Sano Y, Kobayashi Y, Heldoorn TA, Mochimaru M. Does side of amputation affect 200- and 400-m race time in sprinters using running-specific prostheses? *The 33th International Society of Biomechanics in Sport* (国際学会), 2015.

Hobara H, Sano Y, Kobayashi Y, Heldoorn TA, Mochimaru M. Plantar loading in an amputee runner using running-specific prostheses with a rubber sole, *Footwear Biomechanics Symposium* (国際学会), 2015.

Hobara H, Sano Y, Kobayashi Y, Heldoorn TA, Mochimaru M. Spatiotemporal variables of able-bodied and amputee sprinters in men's 200-m sprint, *International Society of Biomechanics XXV Congress* (国際学会), 2015.

Hobara H, Sano Y, Kobayashi Y, Mochimaru M. Interaction of step frequency and step length of 100-m sprint in amputee sprinters., *the 30th Scientific Meeting of the Japanese Society of Prosthetics and Orthotics*(国際学会), 2014.

Hobara H, Kobayashi Y, Mochimaru M. Sprint mechanics of able-bodied and amputee sprinters in men's 100-m sprint, *The 7th World Congress of Biomechanics* (国際学会), 2014.

Hobara H, Potthast W, Müller R, Kobayashi Y, Heldoorn TA, Mochimaru M. Athletes with artificial leg(s): Gold medalists in future Olympics?, *The 5th Congress of Asian Society of Sport Biomechanics*(国際学会), 2014.

Hobara H. Biomechanical characteristics of amputee sprinters using running-specific prostheses, *The 32nd International Society of Biomechanics in Sport* (国際学会・招待講演), 2014

Hobara H. Biomechanical analysis of running-specific prostheses, *The 4th Congress of the International Foot and Ankle Biomechanics Community* (国際学会・招待講演), 2014

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0件)
取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.dh.aist.go.jp/jp/members/hobara.php>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

保原 浩明 (HOBARA Hiroaki)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・人間情報研究部門・主任研究員

研究者番号：40510673

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()