

令和 6 年 5 月 22 日現在

機関番号：32683

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11372

研究課題名(和文) 負荷可変牽引装置を用いたスプリント走の力-速度関係の定量的評価に関する研究

研究課題名(英文) Evaluation of force-velocity relationship in sprint running using a motorized loading device

研究代表者

杉崎 範英 (Sugisaki, Norihide)

明治学院大学・教養教育センター・准教授

研究者番号：10508287

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、負荷牽引装置を用いて、グラウンドでのスプリント走の力-速度関係を定量的に評価すること、牽引負荷に伴う走動作の変化を明らかにすること、およびスプリント走の力-速度関係と走パフォーマンスとの関係を明らかにすることを目的とした。その結果、1. 同一速度で比較した場合、負荷牽引走の動作は無負荷走と差がないこと、2. スプリント走の力-速度関係は必ずしも直線にならない可能性があることを示した。さらに3. 負荷牽引装置を用いて時空間変数や地面反力変数を推定可能であることも明らかにした。コロナ禍影響により、力-速度特性とパフォーマンスの個人差との関係については十分な検討ができなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

同一速度で比較した場合、牽引負荷は走動作に影響しないとする本研究の成果は、動作の変容を防ぐために比較的低負荷でトレーニングを行うべきとする従来の方法を改める必要があることを示すという点で、重要な意義を有する。また、負荷牽引装置を用いて簡便に走動作における時空間変数や地面反力を推定する方法を示した結果は、これまでに不可能であった、現場において選手個々のスプリント動作の定量的に評価を可能にするという点で意義がある。さらに、本研究では従来、直線になるとされてきた走動作の力-速度関係がやや曲線になる可能性を示した。更なる検討が必要であるが、力-速度関係の適切な評価法の必要性を示す点で重要な結果といえる。

研究成果の概要(英文)：The purposes of this research were to quantitatively evaluate the force-velocity relationship in sprint running using a motorized loading device, to investigate the effects of horizontal load on sprint mechanics, and to investigate the relevance of force-velocity profiles to the sprinting performance. The results showed that the force-velocity relationship in sprint running may not necessarily be linear and that when compared at the same speed, the spatiotemporal and ground reaction force variables are less affected by the horizontal resistance loads. Furthermore, it was also revealed that spatiotemporal and ground reaction force variables can be estimated by using a motorized loading device. Due to the coronavirus pandemic, we were unable to fully examine the relationship between force-velocity characteristics and individual differences in performance.

研究分野：トレーニング科学

キーワード：スプリント走 負荷牽引走 時空間変数 地面反力 バイオメカニクス

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

骨格筋には、収縮速度の増加に伴い発揮張力が低下するという特性(力-速度関係)があり、各筋が発揮する力や速度、パワーは、この力-速度関係に依存する。そのため、骨格筋の収縮力の組み合わせによって引き起こされる身体動作にも力-速度関係が存在し、当該動作において発揮される身体出力はこれに依存することとなる。スポーツ選手の能力を評価したり、トレーニングにおいて適切な負荷を設定したりする際には、各選手の当該動作における力-速度特性を把握することや、競技パフォーマンスに優れた選手の当該動作における力-速度特性、すなわち、競技パフォーマンスにとって望ましい力-速度関係を把握することが必要であると考えられる。スプリント走の力-速度関係については、これまでに、主に自走式トレッドミルを用いた測定によって、直線(反比例の関係)に近くなることが報告されている(Jaskolskaら1999など)。しかしながら、トレッドミル装置を用いた場合、走者ではなく地面が動くこと、グラウンド走とはサーフェスが異なり地面からの反発力などが異なること、あるいは競技用のシューズを着用した試技が行えないことなど、実際の競技動作(グラウンド[走路]でのスプリント走)とは、物理的、感覚的な差異があるという問題がある。これに加え、従来の研究の知見では、スプリント走の力-速度特性と走パフォーマンス(競技記録やレースパターンなど)との関係は十分に明らかにされていない。以上のことから、グラウンドでのスプリント走における力-速度関係を定量評価することや、これと走パフォーマンスとの関係を明らかにすることは重要な研究課題といえる。

一方、申請者らは、複合関節動作であるスクワット運動においては、課される負荷(重量)に依存して、各関節や各筋の出力あるいは貢献が変化する可能性を明らかにしている(Sugisakiら、2014)。通常、力-速度関係の測定は、多段階に負荷を変化させた際の動作速度を測定するという方法により行われる。スプリント走も複合関節動作であることを考えると、スプリント走の力-速度関係においては、負荷の違いによって各関節や各筋の出力や貢献度が異なる可能性がある。さらに、この負荷の違いに伴う関節や筋の出力や貢献度の変化における個人差が、スプリント走の力-速度関係の個人差の要因となっている可能性もある。したがって、本研究の知見を、トレーニング法の開発につなげるという観点からは、スプリント走において負荷を課した場合に、身体の動作がどのように変わるのかを把握しておくことも重要な研究課題といえる。

2. 研究の目的

本研究では、負荷牽引走値を用いてグラウンドでのスプリント走における力-速度関係を定量的に評価することを目的とした。この装置を用いることにより、従来の自走式トレッドミルを用いた研究における問題点であったグラウンドでのスプリント走との物理的、感覚的な差異を克服し、実際の競技と同じ条件における力-速度関係を明らかにすることができることと期待された。また、同装置を用いて、牽引負荷を変化させた際のスプリント走動作の特徴を明らかにすることで、牽引負荷がスプリント走動作に及ぼす影響について検討を行うこととした。

さらに、負荷牽引装置によって得られる速度データおよび牽引力データを用いて疾走中の時空間変数および地面反力変数を推定する方法を提案し、フォースプレートのデータとの比較によってその妥当性を検討することとした。なお、コロナ禍の影響により、当初の目的であった力-速度関係と走パフォーマンスとの関係については十分な検討に至らなかった。

3. 研究の方法

本研究では、コロナ禍の影響等を受け研究の進捗状況により、当初の予定を若干変更し、以下の方法で研究を行った。負荷牽引装置(1080Sprint, 1080 Motion, Stockholm, Sweden)および50mフォースプレートシステム(Tec Gihan, Uji, Japan)を用いて、負荷牽引走時の時空間変数および力変数の各指標を測定する実験を行った。実験は、2020年から2024年にかけて複数回に分けて行われ、延べ33名のスプリンターを対象とした。実験においては、無負荷走に加え、3~5負荷(4~12kg)での負荷牽引走を実施した。疾走中の全ステップの地面反力および圧力中心を測定し、そのデータを元に、時空間変数(接地時間、滞空時間、ピッチ、ストライド)および地面反力変数(前後および鉛直方向の地面反力および力積、および力発揮方向)を算出した。以上のデータを、速度に対してプロットすることによって、各変数について、速度変化の影響および牽引負荷の影響を検討した(研究1)。

また、力-速度プロットについては、直線回帰とヒル式および2次多項式による曲線回帰の適合度を調べることにより、スプリント走の力-速度関係の形を検討し、牽引負荷や推定方法(single-trial methodおよびmultiple-trial method)によって得られる力-速度関係が異なることの原因を調べた(研究2)。

さらに、負荷牽引装置によって得られる速度データおよび牽引力データと、力学の基本法則を用いて時空間変数および前後方向の地面反力の推定を行った。具体的には、速度-時間曲線の波形から各ステップを特定し、それを元にピッチ、ストライドの推定を行った。また牽引力、走者の体重、瞬時加速度、推定空気抵抗から地面反力を推定し、ordinary least product regression

を用いて これらの推定値とフォースプレートで取得した値の一致度を検討した (研究3)。

4. 研究成果

(1) 牽引負荷が走メカニクスに及ぼす影響
 本研究の結果、同一速度で比較した場合、負荷牽引走における時空間変数や地面反力変数は、無負荷走でのそれらとほとんど差がないことが示された (Fig 1 および 2)。従来の報告では、同一距離や同一ステップにおける比較を行い、牽引負荷に応じて動作が大きく変化することが報告されており、これらの報告を元に、牽引走トレーニングにおいては、比較的低負荷 (スレッド走では体重の 20% 程度) を用いることが推奨されてきた。しかしながら、本研究の結果、動作が大きく変わるのは速度が低速域になったためであり、負荷牽引走は当該速度での動作を再現していることになることが示された。本研究の結果に基づけば、低速域でのパフォーマンスの改善を目的とする場合は、従来よりも大きな負荷でトレーニングを実施することが有効であると考えられる。本研究結果は、牽引負荷トレーニングの効果的な実施法についての新たな提案をもたらす点で大きな意義を有する。

(2) 負荷牽引装置を用いたスプリント走の力 速度関係の定量的評価について
 無負荷走および負荷牽引走のデータを用いて、低速域から最大速度に至るまでの幅広い範囲の速度-力関係を取得し、直線回帰および曲線回帰 (ヒル式および 2 次多項式) の適合度を検討したところ、曲線回帰の方がより良い適合度を示した。このことは従来直線と考えられていたスプリント走の力 速度関係がやや曲線となる可能性を示唆するものである。ただし、無負荷走で得られる速度範囲 (パワーが極大となる指摘速度よりも高い速度域) ではほぼ直線となることがしめされたことから、曲線回帰のより良い適合は負荷牽引走での低速域の力が高値となることが原因と考えられる。この要因についてはさらなる検討が必要である。

(3) 負荷牽引装置を用いた時空間変数および地面反力の推定の妥当性について
 本研究の結果、スポーツ現場で広く用いられている負荷牽引装置 (1080Sprint,) で得られる速度および牽引力データを利用し、かつ 2 歩移動平均を用いて平滑化することで、ピッチ以外の時空間変数や地面反力を精度よく推定することが可能であることが示された (Fig 3)。ピッチについては誤差が大きく実用には更なる検討が必要と考えられる。時空間変数や地面反力といったスプリント走メカニクスの指標を把握することは、選手の能力の評価やトレ

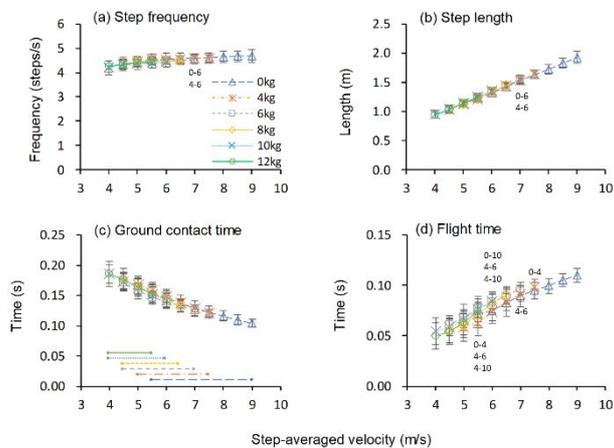


Fig 1. Spatiotemporal variables as a function of step-averaged velocity. Sugisaki et al. 2023 PLOS ONE. doi: 10.1371/journal.pone.0295758.

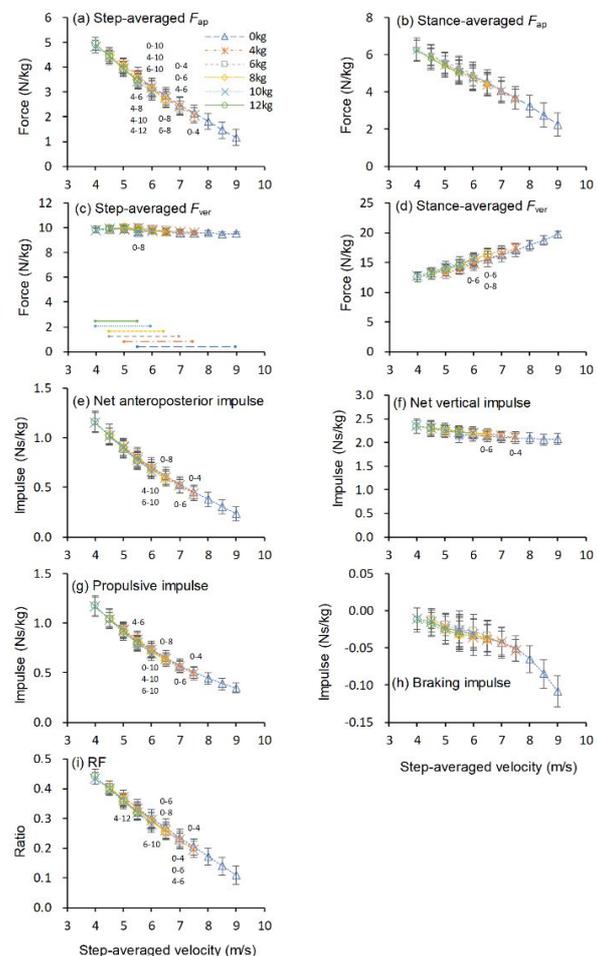


Fig 2. Ground reaction force variables as a function of running velocity. Sugisaki et al. PLOS ONE 2023. doi:10.1371/journal.pone.0295758.

ーニング方法の検討において重要である。しかしながら、これらの測定にはフォースプレートやハイスピードカメラなど高額な機器が必要であり、また選手にも大きな負担を要してきた。本研究の成果は、これらの装置よりも安価で入手可能な負荷牽引装置を用いることでスプリント走の全域に渡りスプリント走メカニクスの指標を取得することが可能であることを示すものであり、スプリント走のトレーニング現場において有益な結果といえる。

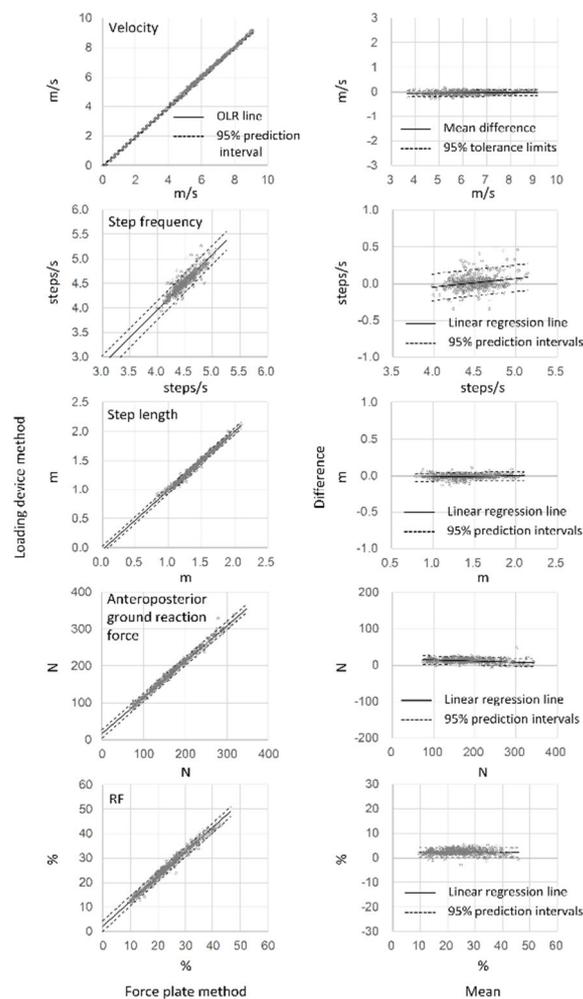


Fig 3. Comparison between the two methods for two-step averaged data. Left panel, ordinary least product (OLP) regression (force-plate vs. loading-device methods). The plots are presented for all loads and participants. Right panel, Bland–Altman plot (mean vs. difference between the two methods).

Sugisaki et al. Scand J Med Sci Sports. doi: 10.1111/sms.14597.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sugisaki Norihide, Tsuchie Hiroyasu, Takai Yohei, Kobayashi Kai, Yoshimoto Takaya, Kanehisa Hiroaki	4. 巻 34
2. 論文標題 Validity of spatiotemporal and ground reaction force estimates during resisted sprinting with a motorized loading device	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports	6. 最初と最後の頁 e14597
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/sms.14597	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sugisaki Norihide, Kobayashi Kai, Yoshimoto Takaya, Mitsukawa Naotoshi, Tsuchie Hiroyasu, Takai Yohei, Kanehisa Hiroaki	4. 巻 18
2. 論文標題 Influence of horizontal resistance loads on spatiotemporal and ground reaction force variables during maximal sprint acceleration	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0295758
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0295758	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究分担者	土江 寛裕 (Tsuchie Hiroyasu) (60458479)	東洋大学・法学部・教授 (32663)	
研究分担者	小林 海 (Kobayashi Kai) (10586762)	東京経済大学・全学共通教育センター・特任講師 (32649)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高井 洋平 (Takai Yohei) (20574205)	鹿屋体育大学・スポーツ生命科学系・教授 (17702)	
研究分担者	吉本 隆哉 (Yoshimoto Takaya) (20756465)	鹿児島国際大学・福祉社会学部・准教授 (34101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関