

Relationship between Sprint Performance and Post-Activation Potentiation Induced by Sled Towing

Naoki USHIROOKA*, Kodai FUKUZAWA*, Yuya WATANABE*

(Received March 26, 2021)

It is known that moderate to high intensities conditioning activities can acutely enhance subsequent physical performance given adequate recovery. This phenomenon is called post-activation potentiation (PAP). We hypothesized that the application of PAP would contribute to better sprint performance. PAP occurs mainly in agonist muscles in conditioning activities. Thus, to enhance sprint performance, activation of the agonist muscles of the sprint movement is needed. Sled towing, which puts a load on the sprint movement, is considered a good choice for causing sprint-specific PAP. We compared the effects of heavy sled towing (70% body weight), light sled towing (30% body weight), and squats (70% 1-repetition-maximum) on sprint performance. There were no significant differences in sprint speed improvement among 3 conditioning activities in this study. The effect size was larger in squats than in sled towing. On the other hand, Step frequency was significantly improved by heavy sled towing. Sprint performance has large intra- and inter-individual variations. Therefore, it may have been difficult to detect the true effect of PAP induced by the conditioning activities.

Key words : enhancing athletic performance, resisted sprint training, warming-up strategy

キーワード : パフォーマンス向上, レジステッドスプリントトレーニング, ウォーミングアップ

スレッド走を用いた活動後増強とスプリントパフォーマンスの関係

後岡 直樹, 福沢 廣大, 渡邊 裕也

1. はじめに

筋力や筋パワーなどの体力要素は優れたパフォーマンス発揮の基盤となる。そのため、多くのスポーツ競技においてパフォーマンス向上につながる基礎体力を獲得するための各種トレーニングが行われている。なお、各種トレーニングを継続的に実施することで対応する体力要素が増強することは広く知られている。スプリント競技のパフォーマンス向上においては、最大疾走スピードの強化が重要となる¹⁾。前方への推進力獲得のためには、足底が接地している間に地面に対して大きな力を加えることが求めら

れる¹⁾。この力を生み出すのは、主に大腿四頭筋など膝関節伸展筋群および大殿筋などの股関節伸展筋群である²⁾。

一方、中-高強度の運動課題を実施することで筋および神経が刺激され、即時的に運動パフォーマンスが向上することが知られており³⁾、これを活動後増強 (Post-activation potentiation : PAP) と呼ぶ。PAPは一定期間トレーニングを繰り返すことで実現される体力の向上とは異なる短期的な適応であり、その効果は一時的なものである。時間的な制限はあるものの、即時的に筋力や筋パワーが増強されるため、

*Faculty of Health & Sports Science, Doshisha University, Kyoto
Telephone and FAX: +81-774-65-6720, E-mail: yuwatana@mail.doshisha.ac.jp

PAPによって優れた運動パフォーマンスの発揮を引き出すことができるかもしれない。つまり、PAPの活用は適切なウォーミングアップ法の確立につながる可能性がある。なお、PAPの主要なメカニズムとして、ミオシン調節軽鎖のリン酸化、高次運動単位動員の増加、羽状角の減少等が挙げられる。これらの現象が複合的に関与することでPAPが発生すると考えられている⁴⁾。

PAPは主に運動課題の主働筋で起こるため、運動パフォーマンス向上を引き起こすには、標的となる動作と同一の主働筋を持つ運動課題が必要な条件となる。前述のとおり、スプリント動作には膝関節伸筋群や股関節伸筋群が動員される。そのため、スプリントパフォーマンスの向上にはこういった筋群が主働筋となる運動課題が適切と考えられる。該当する運動課題として、スクワットなどのレジスタンスエクササイズがあげられる。股関節伸筋力がスプリントパフォーマンスと有意な相関関係を持つこと²⁾を考慮すると、股関節伸筋群を主働筋とするスクワットは即時的にスプリントパフォーマンスの向上をもたらすことが可能と考えられ、それを示す先行研究が複数存在する⁵⁻⁷⁾。しかしながら、スクワット動作はスプリント動作と完全に同一ではないため、スプリントに用いられる複数の筋に対してPAPを誘発するような刺激を十分に与えられていない可能性がある。一方、スプリント動作そのものに負荷を追加する手法としてレジステッドスプリントトレーニング（負荷を課したスプリントトレーニング）が知られている。これには坂道走やそりを牽引しながら走るスレッド走が含まれる。これらを運動課題として採用することで、スプリントに用いられる筋を刺激し、より高いスプリントパフォーマンスの発揮が可能になるかもしれない。中でも、負荷設定を比較的自由にコントロールできるスレッド走は有望な種目と考えられる。

Wilsonら⁸⁾は、PAPに伴う筋パワー増強に作用する因子の効果量をまとめている。対象者のトレーニング状況をみると、3年以上のレジスタンストレーニング経験がある大学生アスリート、プロアスリート、パワーリフター、ウェイトリフターで効果が大

きくなっている。運動課題の負荷は、最大挙上重量（One repetition maximum : 1RM）の60-84%の中程度でこれを超える場合よりも有効であることが示されている。また、運動課題の量については、1セットよりも複数セットが、運動課題とパフォーマンス発揮の間のインターバルは、3-10分が有効となっている。上記の情報を総合すると、筋パワー増強には、「中程度の負荷」で「複数セット」が有効で、その効果は10分程度と解釈することができる。

スクワットおよびスレッド走を運動課題としたPAPとスプリントパフォーマンスの関係を検討した研究^{5-7, 9-13)}は行われているが、PAPを効果的に発現させるための上記2条件を満たしているものは限られている。また、これらの運動課題が直後のスプリントパフォーマンス、特にピッチやストライドに与える影響が十分に検討されているとはいえない。そこで、本研究ではこの2条件を満たすスクワットおよびスレッド走を用いた運動課題の即時的作用を評価、比較することでスプリントパフォーマンス向上により効果的な運動課題を探索することを目的とした。条件を満たした運動課題によって、スプリント動作の主働筋においてPAPが発生し、キック力が増大することでストライドが増加する、スレッド走においてスプリントパフォーマンスがより効果的に向上する、という仮説を立てた。

2. 方法

2.1 実験概要

対象者は、運動課題前の30mスプリント走（Pre）、運動課題、運動課題後の30mスプリント走（Post）で構成される一連の実験プロトコルを実施した。運動課題は2種類の負荷のスレッド走およびスクワットの3つとした（詳細は後述）。PreとPostのスプリントパフォーマンスの変化を3つの運動課題で比較し、パフォーマンス向上に貢献する運動課題を探索した。30mスプリント走ならびにスレッド走はともに合成ゴムのトラックで行った。対象者は2日以上の間隔をあけて3つの運動課題すべてを実施した。なお、運動課題の順序は無作為に割り付けた。

2. 2 対象者

本研究では、男子大学生陸上競技選手 18 名 (19-23 歳) を対象者として募集した。対象者には、事前測定および後述する 3 種類の運動課題の実施の合計 4 回測定に参加することを求めた。

本研究は、同志社大学「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会の承認を経て実施された (承認番号: 20010)。募集に際して、研究概要、目的、研究手順、リスク等を説明し、研究開始前にすべての対象者から自署署名付きの同意書を得た。

2. 3 事前測定

事前測定では体格およびスクワット 1RM の測定を行った。体格の指標として身長および体重を測定した。直立姿勢における足底から頭頂までの長さをメジャーで計測し、身長とした。体重は体組成計 (HBF-701, オムロン社製) を用いて評価した。また、体重を身長²で除して Body mass index (BMI) を算出した。

スクワットの 1RM 測定はバーベルを首の後方で担ぎ、完全にしゃがみ込むポジションまで腰を落とすフルレンジで行った。なお、スタンスは肩幅程度とした。すべてのセットにおいてバーベルを担ぐ位置、休息时间、腰ベルトの着用、後頸部のクッションの装着を任意とした。

測定は 3 セットのウォーミングアップから開始した。1 セット目は 20kg を 10 レップ、2 セット目は対象者が自己申告した 1RM の約 50% 負荷で 5 レップ、3 セット目は約 70% 負荷で 5 レップのスクワットを実施した。ウォーミングアップ終了後、1 レップずつの試行を実施した。試行ごとに 10kg 負荷を漸増させ、挙上に失敗するまで繰り返した。挙上に失敗した場合、その重量から 5kg 減少させた重量を挙上できるか否かで 1RM を決定した。

2. 4 運動課題

本研究では、PAP を発生させるための運動課題として、スレッド走ならびにスクワットを実施した。スレッド走は専用のそり (パワースレッド, ニシ・スポーツ社製) を牽引しながら走ることでスプリン

ト動作に負荷を与える方法である。本研究では、体重 (Body mass : BM) の 30% (30%BM) および 70% (70%BM) の負荷を用いた。両負荷ともに 15m の走行を 3 セット実施し、セット間の休息は 90 秒とした。いずれのセットも競技用シューズ (スパイク) を着用して全力で行うよう指示した。

スクワットは 1RM 測定と同様の方法とした。負荷は事前測定で決定した 1RM の 70% とし、3 レップを 3 セット実施した。なお、セット間の休息は 90 秒とした。安全面に留意しつつ、可能な限りすばやく挙上するよう指示し、下降の速さは任意とした。

2. 5 スプリントパフォーマンスの評価

本研究では、スプリントパフォーマンスの指標として、平均速度、平均ピッチ、平均ストライドを評価した。運動課題の前後に 30m スプリント走を実施し、そのタイムをワイヤレス光電管 (WITTY, Microgate 社製) にて計測した。タイムの計測地点は 10m, 15m, 30m 地点とした。また、デジタルビデオカメラ (FDR-AX45, SONY 社製) を用いてスプリントのパンニング撮影 (120fps) を実施した。ワイヤレス光電管によって得られたタイムならびにデジタルビデオカメラによって得られた動画情報から各区間までの平均速度、平均ピッチ、平均ストライドを算出した。平均速度は区間距離を通過タイムで除することにより算出した。平均ピッチはスタート直後の接地を 1 歩目とし、計測地点を通過した直後の接地までの歩数と通過タイムから算出した。平均ストライドは平均ピッチを平均速度で除することにより算出した。

2. 6 実験手順

各運動課題実施日、対象者はまず 20 分程度のウォーミングアップを行った。ウォーミングアップは任意のペースで 800m のジョギング、下肢を大きく前後に振る動的ストレッチングを左右 10 回 2 セットずつ、腿上げを 20 回 2 セット、ランジウォークを 10 歩 2 セット、50%、70%、90% の努力度で 30m スプリント走を各 1 セット実施した。ウォーミングアップ終了後 3 分の休息を取り、Pre スプリント走を

行った。その後、Pre スプリント走による PAP の効果および疲労の影響を回避するため 15 分の休息を挟んで運動課題を実施した。運動課題実施後、7 分の休息をおいて Post スプリント走を行った。スプリント走はウォーミングアップも含め競技用のシューズ（スパイク）を着用して行った。また、全ての休息の過ごし方は任意とした。実験のフローを Fig. 1 に示した。

2. 7 統計処理

統計処理には、SPSS (IBM SPSS Statics ver. 26.0, 日本 IBM 社製) を利用した。取得データは平均±標準偏差で表示した。得られたデータの運動課題間の差の検定は、繰り返しのある三元配置分散分析 (運動課題×時間×距離) を用いて行った。有意な主効果、交互作用が認められた場合、Bonferroni 法による事後検定を行った。すべての検定において $P < 0.05$ を有意とした。また、Pre および Post のデータにおける平均ならびに標準偏差を用いて、各運動課題の実質的な効果を評価するために効果量 (Effect size) を計算した。

3. 結果

3. 1 対象者特性

募集した 18 名の対象者のうち、すべての運動課題を完遂した 16 名 (20.6 ± 1.0 歳, 173.3 ± 4.2 cm, 65.9

± 3.7 kg) を本研究の解析対象者とした。対象者のスクワット 1RM は 102.1 ± 17.9 kg であった。実験遂行困難な傷害が発生したため、2 名を除外した。なお、傷害は本研究と無関係であった。また、本研究への参加に伴う有害事象は研究期間を通して観察されなかった。

3. 2 平均速度の変化

各運動課題における距離ごとのスプリント速度の変化を Fig. 2 に示した。三元配置分散分析の結果、二次の交互作用 (運動課題×時間×距離) は有意ではなかった ($P = 0.154$)。次に、一次の交互作用を確認したところ、時間×距離の 2 要因における交互作用は有意 ($P < 0.001$) であったが、運動課題×時間 ($P = 0.136$) ならびに運動課題×距離 ($P = 0.725$) における交互作用は有意ではなかった。

時間と距離における一次の交互作用が有意 ($P < 0.001$) であったため、事後検定を行ったところ、10m 地点の平均速度は Pre に比べ Post で有意に高値を示した ($P = 0.008$)。また、15m 地点の平均速度は Pre に比べ Post で高い傾向が認められた ($P = 0.092$)。一方、30m 地点では有意な差が確認されなかった ($P = 0.982$)。

運動課題に関連した主効果および交互作用は有意ではなかった [主効果: $P = 0.151$ 一次の交互作用 (運動課題×時間): $P = 0.136$; 一次の交互作用 (運動課

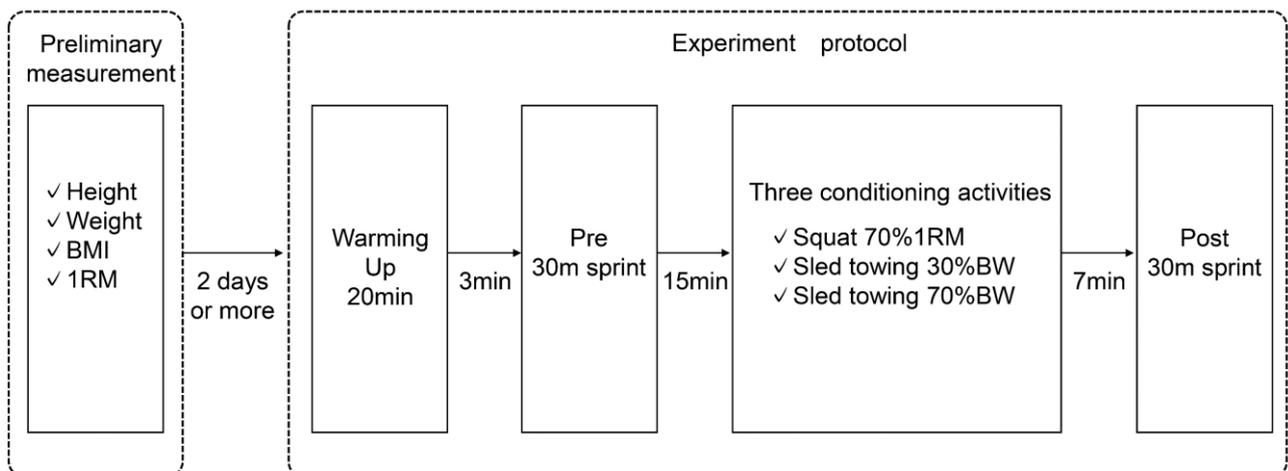


Fig. 1. A flow chart of the current study.

1RM: One-repetition maximum, BM: Body weight, BMI: Body mass index.

題×距離) : $P=0.725$; 二次の交互作用 (運動課題×時間×距離) : $P=0.154$]. したがって, いずれの運動課題においても平均速度の変化は認められず, 運動課題の違いは平均速度の変化に影響しないことが示された.

各運動課題における距離ごとの速度変化の効果量をみると, すべての距離でスクワットがスレッド走より大きく, 10m で最大であった (スクワット : 10m 0.70, 15m 0.51, 30m 0.23 ; スレッド走 30%BM : 10m 0.13, 15m -0.02, 30m -0.08 ; スレッド走 70%BM : 10m 0.14, 15m 0.15, 30m -0.13).

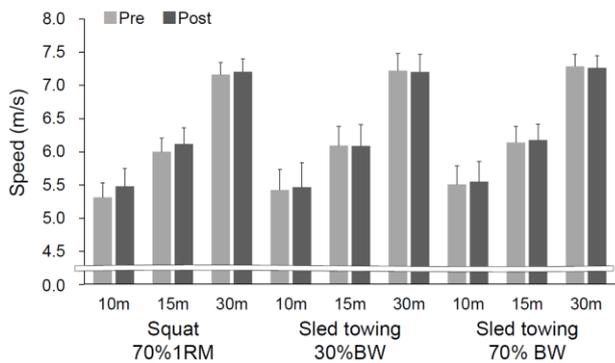


Fig. 2. Mean speed before and after each conditioning activity.

1RM: One-repetition maximum, BM: Body weight, Pre: Pre conditioning activities, Post: Post conditioning activities.

3. 3 平均ピッチの変化

各運動課題における距離ごとの平均ピッチの変化を Fig. 3 に示した. 三元配置分散分析の結果, 有意な二次の交互作用 (運動課題×時間×距離) が認められた ($P=0.048$). そこで, 運動課題別に時間×距離の単純交互作用の検定を行ったところ, スレッド走 70%BM において有意であった ($P=0.015$). 事後検定の結果, 10m 地点の平均ピッチは Pre に比べ Post で有意に高値を示した ($P=0.031$). 一方, 15m 地点 ($P=0.950$) および 30m 地点 ($P=0.213$) では有意な差が確認されなかった.

各運動課題における距離ごとのピッチ変化の効果量をみると, スクワットの 15m およびスレッド走

70%BM の 10m でやや大きな効果量が観察された (スクワット : 10m 0.23, 15m 0.46, 30m -0.03 ; スレッド走 30%BM : 10m 0.28, 15m -0.18, 30m 0.07 ; スレッド走 70%BM : 10m 0.51, 15m 0.01, 30m -0.16).

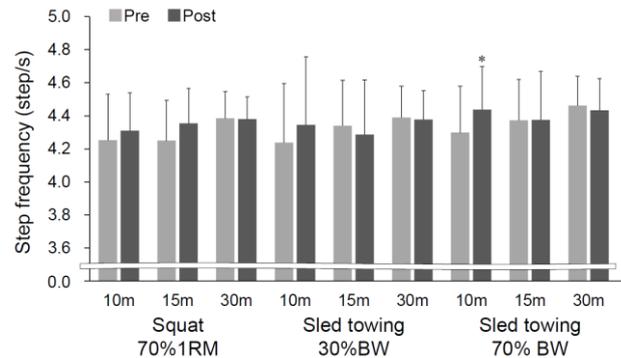


Fig. 3. Mean pitch before and after each conditioning activity.

1RM: One-repetition maximum, BM: Body weight, Pre: Pre conditioning activities, Post: Post conditioning activities.

* $P < 0.05$

3. 4 平均ストライドの変化

各運動課題における距離ごとの平均ストライドの変化を Fig. 4 に示した. 三元配置分散分析の結果, 有意な二次の交互作用 (運動課題×時間×距離) が認められた ($P=0.014$). そこで, 運動課題別, 時間別, 距離別に時間×距離の単純交互作用の検定を行ったが, いずれも有意ではなかった. また, 一次の交互作用においても有意な項目はなかった.

主効果の検定では, 距離における主効果が認められた ($P < 0.001$). 事後検定を行ったところ, 30m 地点の平均ストライドは 10m 地点および 15m 地点よりも有意に高値を, 15m 地点の平均ストライドは 10m 地点よりも有意に高値を示した ($P < 0.001$). 一方, 運動課題ならびに時間においては有意な主効果は検出されなかった.

各運動課題における距離ごとのピッチ変化の効果量をみると, スレッド走 70%BM の 10m でやや大きな効果量が観察された (スクワット : 10m 0.32, 15m -0.11, 30m 0.17 ; スレッド走 30%BM : 10m -0.28, 15m

0.22, 30m -0.01 ; スレッド走 70%BM : 10m -0.45, 15m 0.11, 30m 0.08).

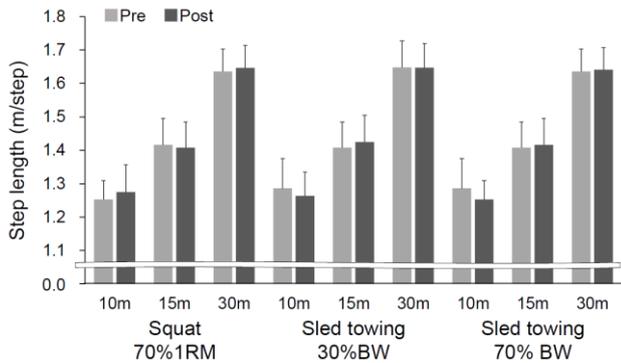


Fig. 4. Mean stride before and after each conditioning activity.

1RM: One-repetition maximum, BM: Body weight, Pre: Pre conditioning activities, Post: Post conditioning activities.

4. 考察

本研究は、「中程度の負荷」、「複数セット」の条件を満たすスクワットおよびスレッド走を用いた運動課題が男子大学生陸上競技選手のスプリントパフォーマンスに及ぼす即時的作用を評価し、比較することを目的としたが、課題による明らかな効果や差異は検出されなかった。つまり、上記の2条件を満たした運動課題によりスプリント主働筋においてPAPが発生し、キック力の増大をもたらすことでストライドが増加する、スプリント動作に直接的に負荷を与えるスレッド走においてより大きなパフォーマンス増強効果が得られるという仮説は支持されなかった。

平均速度は、いずれの運動課題も有意な増加が認められなかったが、効果量をみるとスクワットにおいてのみ10mおよび15m地点で中程度の改善(≥0.50)が、30m地点で小さな改善(≥0.20)が確認された。なお、効果量は10m>15m>30mであった。個人内変動や個人間変動が影響したためか、分散分析で有意差を検出することはできなかったが、スクワット課題は特に短い距離のスプリント速度にポジティブに作用したと考えられる。他方、スレッド走に

よるスプリント速度の明らかな改善は観察されなかった。Wongら¹⁰⁾およびWilliamsら¹³⁾の報告では、0-5m区間でのスプリントタイム改善が示されており、短い距離のスプリント走においてPAPの効果が顕著に出現する可能性が考えられる。スプリント走では、スタートから走速度の増加に従って接地時間が短くなる¹⁴⁾とされており、初期局面(非常に短い距離)における接地時間は比較的長く、地面に力を加えられる時間が長い。そのため、スプリント走の初期局面では、筋力の重要度がより高い可能性があり¹⁵⁾、PAPによる一時的な筋力や力の立ち上がり率(Rate of force development)の向上¹⁶⁾の影響を受けやすいと推察できる。こういった要因が短い距離で速度の改善に寄与したものと考えられる。

スレッド走を運動課題とした先行研究はいくつか存在する。健康な男性を対象者としたWongら¹⁰⁾の研究では、30%BMの負荷で行う30mスレッド走1セットの実施6分後と8分後において、30mのスプリントタイムの有意な向上は認められなかったことが示されている。また、レジスタンストレーニング経験のある22名のラグビー選手を対象としたWinwoodら¹²⁾の研究では、75%BMの15mスレッド走を1セット実施後8分において、10m、15mのスプリントタイムの有意な改善はみられなかったことが報告されている。これらの研究ではWilsonら⁸⁾が示したPAPの発生に効果的とされる複数セットの運動課題実施が行われておらず、スレッド走のPAP効果を十分に引き出す条件ではなかったのかもしれない。また、Williamsら¹³⁾は15名の高校生サッカー選手を対象に66-70%BMの15mスレッド走を3セット実施の2分後、4分後、6分後の3回の15mスプリント走のうち最も速い記録を分析対象とした場合、15mのスプリントタイムが有意に改善したと報告している。しかし、この研究報告では、どの休息時間で最も大きな改善があったのかが記載されていないため、課題実施後のインターバルについての議論ができない。本研究は、Wilsonら⁸⁾のメタ分析の結果を参考にPAPを効果的に引き起こす休息時間、負荷、セット数の運動課題を設定したが、全体で見ると10m地点においてPreとPostで平均速度の有意な向

上が認められたもののそれぞれの運動課題では有意な向上は検出されず、運動課題間においても有意差が認められなかった。したがって、本研究におけるスレッド走のプロトコルがスプリントパフォーマンスの即時的な向上をもたらす運動課題として有効ではなかったということになる。Wong ら¹⁰⁾は、スレッド走を運動課題とした際のPAPによるスプリントパフォーマンスの変化と運動課題後の休息时间について調査し、PAPを引き起こすための最適な休息时间が個人で異なることを示している。本研究で用いられた7分の休息時間はWilson ら⁹⁾のメタ分析結果に基づいて決定したが、スレッド走を運動課題とした場合、PAPを引き起こすのに効果的ではなかった可能性がある。また、スプリントパフォーマンスは個人間、個人内の変動が大きいことに加え、PAPの効果は劇的なものではないため、その真の効果を知ることは難しい。現場でPAPを応用するためには、PAPを引き起こす効果的な運動課題、休息时间、強度、運動量等をこれまでの研究や経験を参考に個人が模索していく必要がある。

平均ストライドは仮説に反して、いずれの運動課題においても有意な増加が認められなかった。先行研究では、スレッド走を用いたトレーニングを8週間実施することで、キック時の地面に対する垂直方向の力積が有意に減少し、ピッチが有意に増加したとされている¹⁷⁾。ストライドは滞空距離（両足底部が地面に接していない局面で前進する距離）と正の相関関係を持つ¹⁸⁾。また、滞空距離は滞空時間の延長に伴い増加する。滞空時間の増加はキック時の地面に対する垂直方向の力積を増加させることで実現する。一方、滞空時間はピッチと負の相関関係を持つ。こういった情報を総合すると、スレッド走は、地面への垂直方向の力積を小さくすることで滞空時間を減少させ、ピッチの増加をもたらすと解釈できる。本研究では、平均ストライドの有意な増加は観察されなかったが、70%BM スレッド走による10m地点での平均ピッチの有意な増加が確認された。この結果は、比較的負荷の大きいスレッド走は、非常に短いスプリントにおいて、即時的にもキック時の地面に対する垂直方向の力積を減少させ、ピッチの

増加をもたらすことを示唆している。また、スレッド走中は通常のスプリント走と比較して地面に対して発揮する力の方向がより水平に近づくことが報告されている¹⁹⁾。スレッド走と通常のスプリント走のこういった違いがPostのスプリントパフォーマンスに影響し、平均ピッチの増加につながったのかもしれない。

5. 結論

本研究では、運動課題の種類によるパフォーマンス増強効果の明確な違いは確認されなかった。スプリントパフォーマンスは個人間、個人内の変動が大きいこと、ならびにPAPの効果は劇的なものではないことから、各運動課題がもたらす真のPAPの効果を検出することができなかった可能性もある。本研究の結果、「中程度の負荷」、「複数セット」の運動課題実施はより短い距離でスプリント速度の向上をもたらすことが示された。効果量の観点から、運動課題としてはスクワットがスレッド走よりも有効と考えられる。また、スレッド走70%BMの実施が非常に短い距離のスプリントにおけるピッチを即時的に向上させる可能性が示唆された。

本研究は、2020年度同志社大学ハリス理化学研究所助成金によって実施された。本研究に協力いただいたすべての方々に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 日本スプリント学会 編集, スプリント学ハンドブック 全てのスポーツパフォーマンスの基盤, (西村書店, 東京都, 2018), pp. 47-80.
- 2) 渡邊信晃, 榎本靖士, 大山卞圭悟, 宮下憲, 尾懸貢, 勝田茂, “スプリント走時の疾走動作および関節トルクと等速性最大筋力との関係”, 体育学研究, **48**[4], 405-419 (2003).
- 3) L. P. Kilduff, H. R. Bevan, M. I. Kingsley, N. J. Owen, M. A. Bennett, P. J. Bunce, A. M. Hore, J. R. Maw, D. J. Cunningham, “Postactivation Potentiation in Professional Rugby Players: Optimal Recovery”, *J Strength Cond Res*, **21**[4], 1134-1138 (2007).
- 4) N. A. Tillin, D. Bishop, “Factors Modulating Post-Activation Potentiation and its Effect on Performance

- of Subsequent Explosive Activities”, *Sports Med*, **39**[2], 147-166 (2009).
- 5) J. M. McBride, S. Nimphius, T. M. Erickson, “The Acute Effects of Heavy-Load Squats and Loaded Countermovement Jumps on Sprint Performance”, *J Strength Cond Res*, **19**[4], 893-897 (2005).
 - 6) M. Yetter, G. L. Moir, “The Acute Effects of Heavy Back and Front Squats on Speed during Forty-Meter Sprint Trials”, *J Strength Cond Res*, **22**[1], 159-165 (2008).
 - 7) L. Seitz, G. Trajano, G. Haff, “The Back Squat and the Power Clean: Elicitation of Different Degrees of Potentiation”, *Int J Sports Physiol Perform*, **9**[4], 643-649 (2014).
 - 8) J. M. Wilson, N. M. Duncan, P. J. Marin, L. E. Brown, J. P. Loenneke, S. M. Wilson, E. Jo, R. P. Lowery, C. Ugrinowitsch, “Meta-Analysis of Postactivation Potentiation and Power: Effects of Conditioning Activity, Volume, Gender, Rest Periods, and Training Status”, *J Strength Cond Res*, **27**[3], 854-859 (2013).
 - 9) P. Jarvis, A. Turner, S. Chavda, C. Bishop, “The Acute Effects of Heavy Sled Towing on Subsequent Sprint Acceleration Performance”, *Journal of Trainology*, **6**[1], 18-25 (2017).
 - 10) M. A. Wong, I. J. Dobbs, C. M. Watkins, S. R. Barillas, A. Lin, D. C. Archer, R. G. Lockie, J. W. Coburn, L. E. Brown, “Sled Towing Acutely Decreases Acceleration Sprint Time”, *J Strength Cond Res*, **31**[11], 3046-3051 (2017).
 - 11) N. Whelan, C. O'Regan, A. J. Harrison, “Resisted Sprints Do Not Acutely Enhance Sprinting Performance”, *J Strength Cond Res*, **28**[7], 1858-1866 (2014).
 - 12) P. W. Winwood, L. R. Posthumus, J. B. Cronin, J. W. L. Keogh, “The Acute Potentiating Effects of Heavy Sled Pulls on Sprint Performance”, *J Strength Cond Res*, **30**[5], 1248-1254 (2016).
 - 13) J. J. Williams, R. Heron, B. Spradley, P. Saracino, “Postactivation Potentiation Effect of Heavy Sled Towing on Subsequent Sprints”, *J Strength Cond Res*, doi: 10.1519/JSC.0000000000003863, Online ahead of print (2020).
 - 14) 福田厚治, 伊藤章, “最高疾走速度と接地期の身体重心の水平速度の減速・加速 : 接地による減速を減らすことで最高疾走速度は高められるか”, *体育学研究*, **49**[1], 29-39 (2004).
 - 15) W. Young, D. Benton, G. Duthie, “短距離&最大スピードでのスプリントのためのレジスタンストレーニング”, *NSCA Japan journal*, **8**[7], 10-14 (2001).
 - 16) 太田洋一, 與谷謙吾, “活動後増強が Rate of Force Development Scaling Factor (RFD-SF)に与える影響”, *静岡福祉大学紀要*, **15**, 1-6 (2019).
 - 17) N. Kawamori, R. U. Newton, N. Hori, K. Nosaka, “Effects of Weighted Sled Towing with Heavy versus Light Load on Sprint Acceleration Ability”, *J Strength Cond Res*, **28**[10], 2738-2745 (2014).
 - 18) J. P. Hunter, R. N. Marshall, P. J. McNair, “Interaction of Step Length and Step Rate during Sprint Running”, *Med Sci Sports Exerc*, **36**[2], 261-271 (2004).
 - 19) N. Kawamori, R. Newton, K. Nosaka, “Effects of Weighted Sled Towing on Ground Reaction Force during the Acceleration Phase of Sprint Running”, *J Sports Sci*, **32**[12], 1139-1145 (2014).