

〔原著論文〕

ポスト・ウォーミングアップ戦略として用いる6秒および30秒の静的ストレッチが陸上競技短距離選手のスプリントパフォーマンスに与える即時的な影響

中 脇 一 真*
三 村 剛 輝**
武 藤 亮 佑**
柳 岡 拓 磨**

The acute effects of 6- and 30-s static stretching as a post-warm-up strategy on sprint performance in track and field sprinters

Kazuma NAKAWAKI

(School of Education, Hiroshima University)

Koki MIMURA

(Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University)

Ryosuke MUTO

(Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University)

Takuma YANAOKA

(Graduate School of Humanities and Social Sciences, Hiroshima University)

Abstract

The purpose of the present study was to investigate the effects of different durations of static stretching as a post-warm-up strategy on the acceleration performance during 100 m sprint. Ten male track and field sprinter (age: 20.7 ± 1.0 years, height: 173.8 ± 4.7 cm, body mass: 67.4 ± 4.7 kg) completed three trials (no stretching [NS trial], static stretching for 6 seconds [6-s trial] or 30 seconds [30-s trial]) in counterbalanced order. On each day, participants first completed a generalized dynamic warm-up routine and were then assigned to any of three trials. Static stretching was performed on the quadriceps and hamstrings of both legs 10 minutes after the warm-up. Within 2 minutes after the end of static stretching, participants started 100 m sprint. The passing time and the section speed were calculated up to the 50 m. Data were analyzed using a magnitude-based inference approach because small changes in performance can be meaningful in athletes. There were not significantly difference between trials for any passing time. The 6-s trial showed the high 20-50 m sprinting speeds compared to the NS ($d = 0.80$, 89% likelihood) and 30-s trials ($d = 0.74$, 86% likelihood). Therefore, the 6-s static stretching used in the present study may temporarily increase the sprinting speed during the secondary acceleration phase of the 100 m sprint.

* 広島大学 教育学部

** 広島大学大学院 人間社会科学研究科

緒言

静的ストレッチングは簡単に実施できることや競技パフォーマンスへ好影響を及ぼすというアスリートの思考に基づき、スポーツ現場で広く用いられている (Blazevich et al., 2018)。一方、スポーツ科学分野において、静的ストレッチングの急性効果は過去数十年にわたり、最も議論されてきたトピックの1つである (Chaabene et al., 2019)。1990年代までに広まった静的ストレッチングの急性効果は、柔軟性を向上させ、関節可動域が大きい動作ほどその動作に対する抵抗が減少し、静的ストレッチング後の運動パフォーマンスが向上するというものである (Chaabene et al., 2019)。しかし、2010年代前半にかけて、静的ストレッチングがその後の筋力やパワー、それらが関連する運動パフォーマンスを低下させることが複数の総説で報告された (Behm et al., 2015; Behm and Chauachi, 2011; Kay and Blazevich, 2012)。その生理学的メカニズムとしては、筋活性が低下すること、筋腱ユニットのスティフネス低下に伴う伸張-短縮サイクル (Stretch-Shortening Cycle: SSC) 運動を遂行する能力の低下、筋の長さ-張力関係に変化が生じることなどが挙げられる (Chaabene et al., 2019)。近年の新たなエビデンスによると、静的ストレッチングの運動パフォーマンス阻害効果は静的ストレッチングが筋群あたり60秒未満である場合やウォーミングアップの一部として実施された場合には消失し、柔軟性の向上や心理学的効果は残存することから、アスリートは一定の状況下では静的ストレッチングを用いるべきと示唆されている (Chaabene et al., 2019)。したがって、アスリートにとって有益な静的ストレッチングを明らかにするためには、実施するタイミング、継続時間などを検討する必要がある。

多くのスポーツでは、ウォーミングアップ終了から競技開始までのトランジションタイムが存在する (Silva et al., 2018)。アスリートがこの時間で安静を保った場合、ウォーミングアップによるエルゴジェニック効果が消失する可能性がある

(Silva et al., 2018)。そのため、トランジションタイムに実施するポスト・ウォーミングアップ戦略は競技パフォーマンスを維持するために重要であり (Silva et al., 2018)、ポスト・ウォーミングアップ戦略としてのヒートジャケットの着用や活動後増強を目的としたカウンタームーブメントジャンプはその後の高強度運動パフォーマンスを高めることが報告されている (West et al., 2016)。静的ストレッチングもその利便性からポスト・ウォーミングアップ戦略として活用することが可能である。しかし、短時間の静的ストレッチングに関する先行研究では、ウォーミングアップ後に行う下肢への30秒間の静的ストレッチングは、静的ストレッチングをしない場合と比較し、20 m スプリントパフォーマンスを低下させること (Nelson et al., 2005)、800 m ジョギング後に静的・動的ストレッチングの双方を行うと、動的ストレッチングを行った場合と比較し、50 m スプリントパフォーマンスが大幅に低下したこと (Fletcher and Anness, 2007)、ウォーミングアップ後に行う下肢への30秒間の静的ストレッチングは、静的ストレッチングをしなかった場合と比較し、20-40 m 区間における疾走速度を低下させたこと (Kistler et al., 2010) などが報告されている。これらの研究から、ウォーミングアップ後に行う30秒程度の静的ストレッチングは、スプリントパフォーマンス、特に加速局面での疾走能力を低下させることが示唆される。

これらの先行研究で示されたウォーミングアップ後の静的ストレッチングによるスプリントパフォーマンス阻害効果のメカニズムとして、静的ストレッチングによって下腿の筋および腱のスティフネスが低下し、筋腱ユニットの弾性エネルギー貯蔵能が低下したことが挙げられる (Winchester et al., 2008)。一方で、静的ストレッチングを数秒程度にした場合、筋腱ユニットのスティフネスを変化させる可能性は低い (Torres et al., 2008)。また、短時間の静的ストレッチングは筋緊張状態を抑制し、スプリントパフォーマンスを高める可能性がある (Marek et al., 2005)。

具体的には、競技前の「あがり」「緊張」は筋の共収縮を促し非効率的な運動パターンへつながるが (Yoshie et al., 2009), 数秒程度の静的ストレッチングによってこれらの緊張状態、筋の共縮が改善する可能性がある。このように、ポスト・ウォーミングアップ戦略として用いる数秒程度の静的ストレッチングはスプリントパフォーマンスを一時的に改善する可能性があるが、この仮説を検証した研究は著者らの知る限り報告されていない。実際のスポーツ現場において、30秒以上の静的ストレッチングを用いることは少なく、10秒前後の静的ストレッチングの割合が最も高いことから (Duehring et al., 2009), ポスト・ウォーミングアップ戦略として用いる数秒程度の静的ストレッチングがスプリントパフォーマンスに与える影響を調査することは、アスリートにとって重要な情報となると考えられる。

そこで本研究では、ポスト・ウォーミングアップ戦略として用いる6秒および30秒の静的ストレッチングが100 m 走における加速局面の疾走能力に与える影響を明らかにすることを目的とした。本研究ではウォーミングアップ後に行う6秒間、30秒間の静的ストレッチング、およびストレッチングなしの3条件を比較し、6秒間の静的ストレッチングは疾走速度を一時的に上昇させ、30秒間の静的ストレッチングは疾走速度を一時的に低下させると仮説を立てた。

方法

1. 被験者

本研究は、大学体育会陸上競技部に所属する男子短距離選手10名 (年齢: 20.7 ± 1.0 歳, 身長: 173.8 ± 4.7 cm, 体重: 67.4 ± 4.7 kg, 平均 \pm 標準偏差 [SD]) を対象とした。被験者の100 m 走のパーソナルベスト, シーズンベストはそれぞれ 11.08 ± 0.30 秒, 11.22 ± 0.51 秒であった。すべての被験者は実験期間中に外科的, 内科的, および精神的疾患を有していなかった。被験者には、試験開始前に研究参加に関する説明を十分に実施し、書面にて研究参加に対する同意を得た。また、

本研究は広島大学大学院人間社会科学研究科倫理審査委員会の承認を得て行った (承認番号: HR-ES-000698)。

2. 実験デザイン

本研究では3条件の無作為化交差試験法を用い、ウォーミングアップ後に行う静的ストレッチングの効果を検証した。3条件は、ストレッチングなし (No-Stretch: NS 試行), 6秒の静的ストレッチング試行 (6秒試行), 30秒の静的ストレッチング試行 (30秒試行) とした。各試行は少なくとも5日以上の間隔をあげ実施した。スプリントパフォーマンスに対する日内変動の影響を避けるため、各試行は被験者内において同時刻に実施した。すべての試行とも全天候型陸上競技場を使用し、ほぼ無風の条件下で実施できるよう配慮した。被験者は、スパイクシューズを着用し100 m スプリントを実施した。

3. 本実験のプロトコル

最初に、被験者は競技会前に実施する通常のウォーミングアップを45分程度行った。ウォーミングアップはRAMPプロトコルに基づいており (Racinais et al., 2017), 静的ストレッチングの実施は禁止した。また、ウォーミングアップは各条件で同様であった。ウォーミングアップ終了から10分間安静を保った後、3条件の静的ストレッチングのいずれかを実施した。静的ストレッチング終了後2分以内にクラウチングスタートから100 m スプリントを行った。

4. ストレッチング介入

ストレッチングの対象筋は、大腿四頭筋・ハムストリングスの2部位とした。スプリントの加速能力に関連し、筋共縮する可能性のある部位として、この2部位を選択した。大腿四頭筋のストレッチングは伏臥位にて膝関節屈曲を行い、踵が臀部に接地後、股関節伸展を行った (図1A)。ハムストリングスのストレッチングは、仰臥位にて行い、膝が屈曲しないように股関節を屈曲させた (図

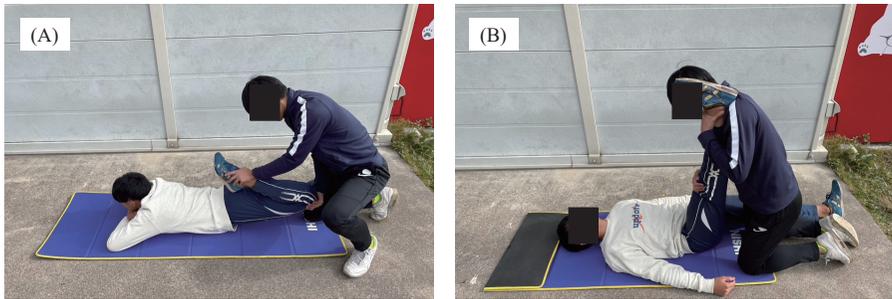


図1. 大腿四頭筋 (A)・ハムストリングス (B) へのストレッチング

1 B). ストレッチングの強度および伸張時間は、先行研究を参考に設定した (谷澤ほか, 2014). 強度は被験者が痛みを感じない最大伸張位とし、至適強度に達したと感じた時点から伸張時間を計測した. 利き足の大腿四頭筋, 利き足のハムストリングス, 非利き足の大腿四頭筋, 非利き足のハムストリングスの順にそれぞれ1回ずつ静的ストレッチングを行い、大腿四頭筋からハムストリングスの静的ストレッチングに移る際のインターバルは10秒とした. 利き足から非利き足に移る際のインターバルは設けなかった. ストレッチング介入は、同一験者によるパートナーストレッチングであった.

5. スプリントパフォーマンス測定

走路の側方から1台のハイスピードカメラ (EXILIM EX-ZR1700, CASIO 社製, 日本) を用いて、スタートから50 mまでの区間をパニング撮影した. 先行研究 (酒井ほか, 2013) を参考に、20, 50 mの通過タイムを計測するために、走路とカメラの間にポールを立てた. ハイスピードカメラの撮影速度は240 Hzとした. スタートは、ピストルの煙がカメラに映った瞬間とした. 20, 50 mの通過タイム, 区間スピードを動画編集ソフト (Wondershare Filmora 11, Wondershare Technology 社製, 中国) を用いて算出した. 通過タイムは、被験者の胴体がポールを通過した瞬間のコマ数から算出した. 区間疾走速度は、区間距離を区間タイムで除することにより算出した.

(酒井ほか, 2013)

6. 統計解析

統計解析は、統計解析ソフトウェア (SPSS 社製, SPSS version 29.0) を用いて行われた. 有意水準はすべて5%未満とし、全ての値は平均 ± SD で示した. データの正規性を Shapiro-Wilk 検定を用いて確認した. スプリントの20, 50 mの通過タイム, 区間スピードは、繰り返しのある一要因 (試行) の分散分析を用いて分析した. 主効果が認められた場合、Bonferroni 法を用いて、その後の検定を行った.

区間スピードにおける条件間の差の大きさを示すために、効果量 (Cohen's d) を求め、90% 信頼区間を算出した. 試行間の差の大きさに基づくアプローチ (Magnitude based inference approach : MBI) により、静的ストレッチングが区間スピードに対してどの程度有益であるかを評価した (Hopkins et al., 2009). 静的ストレッチングの有益性については、効果量0.2を最小有効変化 (Smallest worthwhile change) とし、静的ストレッチングがネガティブ、些細、ポジティブの Percentage likelihood を求め、most unlikely : < 0.5%, very unlikely : 0.5 - < 5%, unlikely : 5 - < 25%, possibly : 25 - < 75%, likely : 75 - < 95%, very likely : 95 - < 99.5%, most likely : > 99.5% と定義した. 信頼区間がネガティブ、ポジティブの双方の Smallest worthwhile change に重なる場合、効果は不明と定義した.

結果

1. 通過タイム・区間スピード

各試行における20, 50 mの通過タイムおよび0-20 m, 20-50 mの区間スピードを表1に示した。通過タイムにおいて試行の主効果が認められなかった ($p > 0.05$)。0-20 mの区間スピードには、試行の主効果が認められなかった ($p > 0.05$)。20-50 m区間 ($p = 0.047$) では試行の主効果が認められたが、その後の検定の結果、試行間の有意な差は認められなかった。

2. MBI による条件間の比較

図2にMBIの結果を示した。20-50 m区間において、6秒試行はNS試行と比較し「likely positive」($d = 0.80$, 89% likelihood), 30秒試行と比較し「likely positive」($d = 0.74$, 86% likelihood)であった。

考察

本研究では、ポスト・ウォーミングアップ戦略として用いる6秒および30秒の静的ストレッチングが100 m走における加速局面の疾走能力に

表1. 各試行における通過タイム (sec) および区間スピード (m/sec)

	NS	6秒	30秒	p値
通過タイム				
20 m	3.29 ± 0.10	3.30 ± 0.12	3.30 ± 0.11	0.881
50 m	6.56 ± 0.18	6.47 ± 0.24	6.59 ± 0.26	0.132
区間スピード				
0-20 m	6.09 ± 0.19	6.07 ± 0.23	6.06 ± 0.20	0.893
20-50 m	9.19 ± 0.30	9.48 ± 0.42	9.16 ± 0.45	0.047

平均値 ± 標準偏差, n = 10.

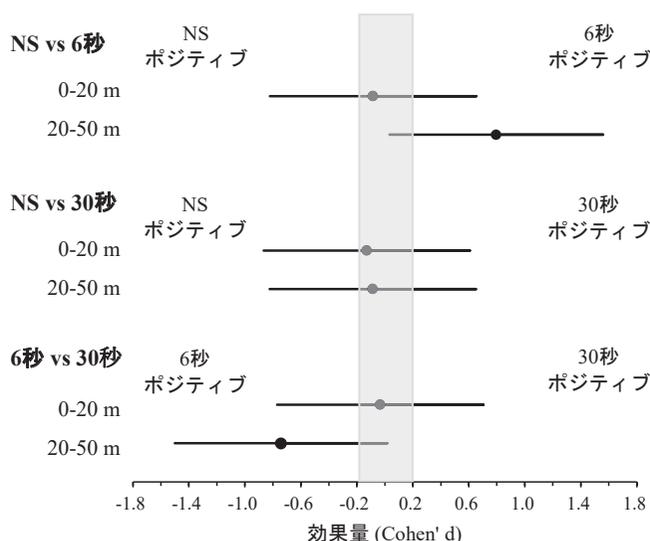


図2. 区間スピードに関するMBIによる試行間の比較
グレーの四角は最小有効変化 (Smallest worthwhile change) を示す。

及ぼす影響を検討するため、体育会陸上競技部で短距離を専門とする男性陸上競技選手10名を対象とし、ウォーミングアップ終了から10分後にNS試行、6秒試行、30秒試行の3条件で静的ストレッチングを行い、その後のスプリントパフォーマンスを比較した。クラウチングスタートから約20m地点は、疾走中の姿勢が直立姿勢で安定し始め(Nagahara et al., 2014)、疾走速度に対する股関節や膝関節の仕事の寄与が正から負に切り替わる地点であることから(Nagahara et al., 2017)、我々は0-20、20-50mの2区間に分類し疾走能力を評価した。本研究の結果、静的ストレッチングは0-20m区間の疾走能力にはその条件に関わらず影響を与えないが、20-50m区間において、6秒試行ではNS試行、30秒試行と比較し疾走速度が高値を示すことが明らかとなった。静的ストレッチングが運動パフォーマンスに与える影響は、静的ストレッチングを実施するタイミングや継続時間に強く影響を受けるため(Chaabene et al., 2019)、ポスト・ウォーミングアップ戦略として用いる数秒程度の静的ストレッチングとスプリントパフォーマンスの関係について、更なる検討が必要であった。本研究から、6秒間の静的ストレッチングは100m走における加速局面の疾走能力を一時的に高める可能性が示された。

本研究の結果、6秒試行は、20-50m区間(2次加速局面)でNS試行、30秒試行と比較し疾走速度を一時的に増加させたことが明らかになった(図2)。6秒試行で2次加速局面における疾走速度が高値を示した要因として、緊張の汎化により筋の共収縮を最小限に抑えた可能性が考えられる。疾走速度を高めるためには高いステップ頻度を得る必要があり、スイング後期における同一脚の大腿直筋とハムストリングの共収縮を最小限に抑えて、股関節屈曲から股関節伸展への切り替えをスムーズに行うことが求められる(Kakehata et al., 2021)。緊張の汎化とその結果として生じる筋の共収縮抑制による競技パフォーマンスの向上は、50m走において最大以下の主観的努力度で走った時に高い速度を出す選手が存在すること

(Kakehata et al., 2019)、全力より数%の余裕を持たせることで競技パフォーマンスを高める可能性があることなど(村木と稲岡, 1996)、コーチング場面ではよくみられる。運動スキルの習得過程においても、共収縮が大きい不必要な筋活動パターンから、共収縮が減少した効率的な運動パターンへと移行していく特性があり(Thoroughman and Shadmehr, 1999)、適度な筋弛緩は高強度運動パフォーマンスを高める可能性がある(Van Hooren and Bosch, 2016)。さらに本番前の「あがり」「緊張」は、筋の共収縮を促し、本来の競技パフォーマンスを発揮できなくなる現象として知られている(Yoshie et al., 2009)。したがって、筋出力を低下させないあるいは筋腱ユニットのステイフネスを変化させない時間(Torres et al., 2008)で実施された可能性が高い6秒間の静的ストレッチングは、これらの緊張状態、筋の共収縮を改善させ、20-50m区間の疾走速度を一時的に高めた可能性がある。(村木・稲岡, 1996)

また、6秒試行で2次加速局面における疾走速度が高値を示した他の要因として、SSC運動を遂行する能力が一時的に高まったことが考えられる。スプリント中、足および股関節伸展筋群のエキセントリック収縮時に蓄えられた弾性エネルギーは、その後のコンセントリック収縮に再利用され、機械的効率や発揮パワーを高めるため(岩竹ほか, 2002)、SSC運動を遂行する能力と疾走能力との間に相関関係を示すことが報告されている(Hennessy and Kilty, 2001)。静的ストレッチングに関する先行研究では、静的ストレッチングの急性効果として腱のヒステリシスを低下させることを報告している(Kubo et al., 2002)。ストレッチング後のヒステリシス低下は、SSC運動中のエネルギー損失(主に熱エネルギーとして)が少なく、再利用される弾性エネルギーが大きいことを示唆している(Kubo et al., 2002)。スタートから20m地点以降は、疾走速度の増加に対するSSC運動の寄与が著しく高まることが知られており(Nagahara et al., 2017)、本研究においても

6秒試行でSSC運動を遂行する能力が一時的に高まり、疾走速度の一時的な上昇に繋がったと考えられる。

一方で、6秒試行は0-20 m区間(1次加速局面)における疾走速度に影響を与えなかった。これは、1次加速局面、特に0-10 m区間における疾走速度に対するSSC運動の寄与がそれ以降の区間と比べ低いことが考えられる(岩竹ほか, 2002)。岩竹ほか(2002)は、リバウンドジャンプを用いてSSC運動機能を評価し、60 mスプリントパフォーマンスとの関連を調査した。その結果、全区間のパフォーマンスとSSC運動機能との間に相関関係が認められたものの、相関係数は0-10 m区間で最も低く、20-50 m区間で高値を示した。前述のように、6秒試行によってSSC運動を遂行する能力が一時的に高まっていたのであれば、1次加速局面ではSSC運動が疾走速度へ与える影響が小さく、その結果、疾走速度が高まらなかった可能性が考えられる。しかし、1次加速局面の疾走能力には足および股関節伸展筋群も関与しており(岩竹ほか, 2002)、本研究では静的ストレッチングがそれらの筋力に与える影響は検討できていない。より詳細なメカニズムに関しては、今後の研究が望まれる。

本研究では、NS試行と比較し、30秒試行における0-50 m区間における疾走速度の低下が認められなかった。Kistler et al. (2010)はNS試行と30秒試行の2条件で静的ストレッチング後の100 mスプリントパフォーマンスを比較し、30秒試行において20-40 m区間における疾走速度が低下したと報告しており、本研究の結果と一致していない。この理由は静的ストレッチングの実施部位による違いが考えられ、具体的にはKistler et al. (2010)は下腿の静的ストレッチングを実施しているが、本研究では実施していない。Bret et al. (2002)は脚全体のスティフネスの高いスプリンターは100 m走における30-60 m区間で疾走速度が上昇すると報告しており、スティフネスの高さもスプリントパフォーマンスに関わる重要な要因の一つである。Winchester et al.

(2008)は30秒間の下腿への静的ストレッチング後に40 mスプリントパフォーマンスが低下する要因として、ストレッチングによって下腿の筋および腱のスティフネスが低下し、筋腱ユニットの弾性エネルギー貯蔵能が低下したと推察している。従って、本研究では下腿の静的ストレッチングを実施しなかったことにより、足関節付近のスティフネスが低下せず、30秒試行における疾走速度の低下が認められなかったと考えられる。

本研究で用いた6秒試行の強みは、ストレッチングに要する総時間が短いにもかかわらず(24秒)、2次加速局面の走速度を一時的に高めたことである。筋力、パワーやスプリントパフォーマンスを一時的に高める方法として動的ストレッチングが広く知られているが、先行研究で用いられている動的ストレッチングは本研究よりも長い時間を要する(Opplert and Babault, 2018)。例えば、動的ストレッチングと静的ストレッチングが脚伸展パワーに与える影響を検討した先行研究では、ストレッチングをしない場合と比較し、動的ストレッチングを行うことでその後の脚伸展パワーが高値を示したが、動的ストレッチングに要した総時間は300秒であった(Yamaguchi and Ishii, 2005)。動的ストレッチングとスプリントパフォーマンスの関係を調査した総説においても、パフォーマンスの一時的な改善を達成した多くの動的ストレッチングは300秒程度であった(Opplert and Babault, 2018)。陸上競技短距離選手を含む多くのアスリートは競技開始10分以上前にウォーミングアップを終了する必要があり、ウォーミングアップ終了から競技開始までの短時間でパフォーマンスを一時的に高めることができる介入を求められる。本研究の6秒試行は、先行研究と比較し(Opplert and Babault, 2018; Yamaguchi and Ishii, 2005)、より短い時間でスプリントパフォーマンスの一時的な改善を達成することができるため、現場での応用性が高いと考えられる。

本研究では6秒間の静的ストレッチングが100 m走の2次加速局面におけるパフォーマンスを高める可能性を示唆したが、複数の限界点を有し

ている。第一にパフォーマンス向上に関する説明変数を測定できなかったことである。これまで述べてきた通り、本研究におけるパフォーマンスの変化にはSSC運動を遂行する能力や筋の共縮などが関係していると考えられる。しかし、本研究ではそれらを測定できていないため、詳細なメカニズムの検討が望まれる。また、スポーツ傷害予防の観点で重要な関節可動域を測定できていない。一般的な静的ストレッチングの目的の一つである関節可動域の増加に短時間のストレッチングが寄与できるのか明らかにするため、今後の研究が必要である。2つ目の限界点として、静的ストレッチングが50-100 m 区間に与える影響を検討できていない。30秒間の静的ストレッチングに関する先行研究によると (Kistler et al., 2010; Ross et al., 2001), 100 m 走の前半区間における疲労によって静的ストレッチングの有無にかかわらず伸張性反射が抑制されるため、静的ストレッチングは100 m 走の後半区間におけるスプリントパフォーマンスに影響を与えないことが報告されている。本研究で得られた6秒試行による20-50 m 区間の疾走速度の一時的な上昇にも伸張性反射が関連したと考えられるため、50-100 m 区間ではこの上昇が消失すると推察される。3つ目の限界点として、実験環境が挙げられる。研究結果の外的妥当性を高める目的で屋外実験を行ったため、気温、風速などの環境条件によってスプリントパフォーマンスに影響を受けた可能性がある。さらに、本実験を冬期(11-12月)に実施したため、本結果が被験者のパーソナル・シーズンベストよりも低いパフォーマンスであったことに注意が必要である。加えて、アスリートはストレッチングの種類に関わらず、競技パフォーマンスに好影響があると考えている可能性が高く (Blazevich et al., 2018), プラセボ効果を否定できない。最後に、本研究では被験者数が少なく、中程度以上の効果量が認められたにもかかわらず、統計的な有意差が認められなかった。今後は検定力分析に基づいた被験者数による追試験が望まれる。

本研究では、ポスト・ウォーミングアップ戦略

として用いる短時間の静的ストレッチングがスプリントパフォーマンスに及ぼす影響を検討した。本研究の結果、ウォーミングアップ終了10分後に実施した6秒間の大腿四頭筋・ハムストリングスに対する静的ストレッチングは、ストレッチングをしない場合および同条件で30秒間の静的ストレッチングをした場合と比較し、20-50 m 区間で疾走速度を一時的に上昇させることが明らかとなった。

現場への応用

本研究では、ポスト・ウォーミングアップ戦略として用いる6秒間の静的ストレッチングがスプリントパフォーマンスにポジティブな影響を与えることを明らかにした。陸上競技短距離選手は、少なくとも競技開始10分以上前に召集のためウォーミングアップを終了する必要があり、ウォーミングアップ終了から競技開始までの行動が制限される。6秒間の静的ストレッチングをウォーミングアップ終了から競技開始までの間に行うことで競技パフォーマンスを高めることができる可能性がある。

文献

- Behm, D. G., Blazevich, A. J., Kay, A. D., and McHugh, M. (2015) Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: A systematic review. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 41: 1-11.
- Behm, D. G., and Chaouachi, A. (2011) A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 111: 2633-2651.
- Blazevich, A. J., Gill, N. D., Kvorning, T., Kay, A. D., Goh, A. G., Hilton, B., Drinkwater, E. J., and Behm, D. G. (2018) No effect of muscle stretching within a full, dynamic warm-up on athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 50: 1258-1266.

- Bret, C., Rahmani, A., Dufour, A. B., Messonnier, L., and Lacour, J. R. (2002) Leg strength and stiffness as ability factors in 100 m sprint running. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 42: 274-281.
- Chaabene, H., Behm, D. G., Negra, Y., and Granacher, U. (2019) Acute effects of static stretching on muscle strength and power: An attempt to clarify previous caveats. *Front. Physiol.*, 10: 1468.
- Duehring, M. D., Feldmann, C. R., and Ebben, W. P. (2009) Strength and conditioning practices of united states high school strength and conditioning coaches. *J. Strength Cond. Res.*, 23: 2188-2203.
- Fletcher, I. M., and Anness, R. (2007) The acute effects of combined static and dynamic stretch protocols on fifty-meter sprint performance in track-and-field athletes. *J. Strength Cond. Res.*, 21: 784-787.
- Hennessy, L., and Kilty, J. (2001) Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *J. Strength Cond. Res.*, 15: 326-331.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., and Hanin, J. (2009) Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 41: 3-12.
- 岩竹 淳・鈴木 朋美・中村 夏実・小田 宏行・永澤 健・岩壁 達男 (2002) 陸上競技選手のリバウンドジャンプにおける発揮パワーとスプリントパフォーマンスとの関係. *体育学研究*, 47: 253-261.
- Kakehata, G., Goto, Y., Iso, S., and Kanosue, K. (2021) Timing of rectus femoris and biceps femoris muscle activities in both legs at maximal running speed. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 53: 643-652.
- Kakehata, G., Kobayashi, K., Matsuo, A., Kanosue, K., and Iso, S. (2019) Relationship between subjective effort and kinematics/kinetics in the 50 m sprint. *J. Hum. Sport Exerc.*, 15: 52-66.
- Kay, A. D., and Blazevich, A. J. (2012) Effect of acute static stretch on maximal muscle performance: A systematic review. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 44: 154-164.
- Kistler, B. M., Walsh, M. S., Horn, T. S., and Cox, R. H. (2010) The acute effects of static stretching on the sprint performance of collegiate men in the 60- and 100-m dash after a dynamic warm-up. *J. Strength Cond. Res.*, 24: 2280-2284.
- Kubo, K., Kanehisa, H., and Fukunaga, T. (2002) Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J. Appl. Physiol.*, 92: 595-601.
- Marek, S. M., Cramer, J. T., Fincher, A. L., Massey, L. L., Dangelmaier, S. M., Purkayastha, S., Fitz, K. A., and Culbertson, J. Y. (2005) Acute effects of static and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle strength and power output. *J. Athl. Train.*, 40: 94-103.
- 村木 征人・稲岡純史 (1996) 跳躍運動における主観的強度(努力度合)と客観的出力との対応関係. *コーチング学研究*, 9: 73-79.
- Nagahara, R., Matsubayashi, T., Matsuo, A., and Zushi, K. (2014) Kinematics of transition during human accelerated sprinting. *Biol. Open*, 3: 689-699.
- Nagahara, R., Matsubayashi, T., Matsuo, A., and Zushi, K. (2017) Alteration of swing leg work and power during human accelerated Sprinting. *Biol. Open*, 6: 633-641.
- Nelson, A. G., Driscoll, N. M., Landin, D. K., Young, M. A., and Schexnayder, I. C. (2005) Acute effects of passive muscle stretching on sprint performance. *J. Sports Sci.*, 23: 449-454.
- Opplert, J., and Babault, N. (2018) Acute effects of dynamic stretching on muscle flexibility

- and performance: An analysis of the current literature. *Sport. Med.*, 48: 299-325.
- Racinais, S., Cocking, S., and Périard, J. D. (2017) Sports and environmental temperature: from warming-up to heating-up. *Temperature*, 4: 227-257.
- Ross, A., Leveritt, M., and Riek, S. (2001) Neural influences on sprint running training adaptations and acute responses. *Sport. Med.*, 31: 409-425.
- 酒井一樹・吉本隆哉・山本正嘉 (2013) 陸上競技短距離選手における疾走速度, ストライドおよびピッチとメディシンボール投げ能力との関係. *スポーツパフォーマンス研究*, 5: 226-236.
- 谷澤真・飛永敬志・伊藤俊一 (2014) 短時間の静的ストレッチングが柔軟性および筋出力に及ぼす影響. *理学療法—臨床・研究・教育*, 21: 51-55.
- Silva, L. M., Neiva, H. P., Marques, M. C., Izquierdo, M., and Marinho, D. A. (2018) Effects of warm-up, post-warm-up, and re-warm-up strategies on explosive efforts in team sports: A systematic review. *Sport. Med.*, 48: 2285-2299.
- Thoroughman, K. A., and Shadmehr, R. (1999) Electromyographic correlates of learning an internal model of reaching movements. *J. Neurosci.*, 19: 8573-8588.
- Torres, E. M., Kraemer, W. J., Vingren, J. L., Volek, J. S., Hatfield, D. L., Spiering, B. A., Ho, J. Y., Fragala, M. S., Thomas, G. A., Anderson, J. M., Häkkinen, K., and Maresh, C. M. (2008) Effects of stretching on upper-body muscular performance. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 1279-1285.
- Van Hooren, B., and Bosch, F. (2016) Influence of muscle slack on high-intensity sport performance: A Review. *Strength Cond. J.*, 38: 75-87.
- West, D. J., Russell, M., Bracken, R. M., Cook, C. J., Giroud, T., and Kilduff, L. P. (2016) Post-warmup strategies to maintain body temperature and physical performance in professional rugby union players. *J. Sports Sci.*, 34: 110-115.
- Winchester, J. B., Nelson, A. G., Landin, D., Young, M. A., and Schexnayder, I. C. (2008) Static stretching impairs sprint performance in collegiate track and field athletes. *J. Strength Cond. Res.*, 22: 13-19.
- Yamaguchi, T., and Ishii, K. (2005) Effects of static stretching for 30 seconds and dynamic stretching on leg extension power. *J. Strength Cond. Res.*, 19: 677-683.
- Yoshie, M., Kudo, K., Murakoshi, T., and Ohtsuki, T. (2009) Music performance anxiety in skilled pianists: effects of social-evaluative performance situation on subjective, autonomic, and electromyographic reactions. *Exp. Brain Res.*, 199: 117-126.