

原著

下肢5筋群に対する20秒×1セットのスタティックストレッチングが陸上競技中長距離選手の持久走パフォーマンスに及ぼす急性の影響

山口 太一*, 瀧澤 一騎**, 柴田 啓介***

Acute effect of static stretching for one set of 20 seconds on endurance running performance in middle- and long-distance runners

Taichi Yamaguchi*, Kazuki Takizawa**, Keisuke Shibata***

要 約

本研究の目的は下肢筋群のスタティックストレッチング(SS)が陸上競技中長距離選手の持久走パフォーマンスに及ぼす急性の影響を明らかにすることであった。大学陸上競技部中長距離選手7名が2つの前処置後に持久走パフォーマンスを測定した。前処置は1)安静保持のコントロール、2)下肢5筋群に20秒×1セットのSSを実施するSS処置であった。持久走パフォーマンス指標は運動継続時間および総走行距離とし、各被験者は最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\max$)の90%相当強度の速度に設定したトレッドミル上で疲労困憊に至るまで走運動を継続し、記録した。運動継続時間および総走行距離は両処置間で有意差は認められなかった。90% $\dot{V}O_2\max$ 相当強度は陸上競技の3000 mあるいは5000 m 種目の強度に相当する。よって、陸上競技中長距離選手による20秒×1セットのSSの実施は当該競技のパフォーマンスに好影響を及ぼさないものの、少なくとも悪影響も及ぼさないことが示唆される。

キーワード: ストレッチング, ウォームアップ, パフォーマンス, 走経済性, 陸上競技中長距離

* 酪農学園大学農食環境学群食と健康学類食・健康スポーツ科学研究室
〒069-8501 北海道江別市文京台緑町582

Laboratory of Food Ecology and Sports Science, Department of Food Science and Human Wellness, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University, 582 Bunkyo-dai-Midorimachi, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan

** 北海道大学高等教育推進機構高等教育研究部生涯学習計画研究部門
〒060-0817 北海道札幌市北区北17条西13丁目北海道大学スポーツトレーニングセンター

Research Division for Lifelong Learning, Center for Research and Development in Higher Education, Hokkaido University, Kita-17, Nishi-13, Kita-Ku, Sapporo, Hokkaido, 060-0817, Japan

*** 北海道大学大学院教育学院

〒060-0811 北海道札幌市北区北11条西7丁目
Graduate School of Education, Hokkaido University, Kita-11 Nishi-7 Kita-Ku, Sapporo, Hokkaido, 060-0811, Japan

受付日: 2014年10月11日

受諾日: 2015年3月8日

Abstract

The purpose of the present study was to clarify the acute effect of static stretching for one set of 20 seconds on relative high-intensity endurance running performance. The endurance running performances of seven middle or long distance male runners were assessed on a treadmill following two types of pretreatment. The pretreatments were control (CON) and static stretching treatment (SST). In the SST, each subject carried out self-static stretching for one set of 20 seconds on five muscle groups (i.e., hip extensors and flexors, leg extensors and flexors, and plantar flexors) in lower extremities. The endurance running performances were evaluated by time to exhaustion (TTE) and total running distance (TRD) during running at a velocity equivalent to 90% maximum oxygen uptake ($\dot{V}O_2\max$) in each subject. The oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) during running was measured as index of running economy (RE). The TTE and the TRD were not significant differences between SST (TTE: 792.0 ± 281.2 seconds; TRD: 3659.6 ± 1137.1 m) and CON (TTE: 785.3 ± 206.2 seconds; TRD: 3616.9 ± 783.3 m). The changes in $\dot{V}O_2$ during running also did not significantly differ between the pretreatments. The results demonstrated that the SST did not change the endurance performance and the RE of running at a velocity equivalent to 90% $\dot{V}O_2\max$ in middle- and long-distance runners. This running velocity is equivalent to that for a 3000 or 5000-meter race. Our finding suggests that performing the static stretching routine during warm-up before the race does not affect the performance in middle- and long-distance runners.

Key words : stretching, warm-up, performance, running economy, middle- or long-distance running.

I. 緒言

ウォームアップにおいて傷害の予防ならびにパフォーマンス向上を実現するためにストレッチングを実施することはごく一般的なことである。ところが昨今、数多の研究により、ウォームアップにおいて実施されてきたスタティックストレッチングが瞬発的^{3, 9, 10, 16, 20, 23)}および持久的パフォーマンス^{4, 11, 16, 22, 23)}を低下させることが報告され、パフォーマンス向上を目的としたウォームアップにおけるスタティックストレッチングの実施を疑問視する見解も散見される。

しかしながら、スタティックストレッチングによる持久走パフォーマンスの低下を認めた研究^{4, 11, 22)}におけるひとつの筋群に対するスタティックストレッチングの伸張時間は90秒¹¹⁾から120秒²²⁾であった。スポーツ現場でのウォームアップにおけるスタティックストレッチングの伸張時間について調査した研究結果⁵⁾によると、20秒以下の伸張時間が用いられる割合が73%とそれ以上の伸張時間を用いる割合よりも高かったことが報告されている。よって、これまでスタティックストレッチングが持久走パフォーマンスを低下させたことを明らかにした研究におけるスタティックストレッチングのひとつの

筋群に対する伸張時間は冗長であったと言わざるを得ない。したがって、スポーツ現場で一般に利用されているひとつの筋群に対する伸張時間のスタティックストレッチングが持久走パフォーマンスに及ぼす急性の影響について検討する必要がある。

また、これまでよく鍛錬されたランナーを対象にスタティックストレッチングが走運動中の経済性に及ぼす急性の影響を検討した研究^{1, 7, 13, 22)}における走運動の強度は、最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\max$)の65~80%相当であった。加えて、鍛錬ランナーを対象にスタティックストレッチングが持久走パフォーマンスに及ぼす急性の影響について検討した研究^{13, 22)}では、30分間にできるだけ速いペースで走行した際の距離がパフォーマンス指標として用いられていた。しかしながら、当該パフォーマンス測定時の運動強度も約80% $\dot{V}O_2\max$ 強度であった。鍛錬ランナーは、陸上競技中長距離種目のなかで最も運動強度が低いとされるマラソン競技においても85% $\dot{V}O_2\max$ 相当強度以上で走運動を遂行しているとされる⁸⁾。したがって、上述の先行研究におけるスタティックストレッチングが走運動中の経済性および持久走パフォーマンスに及ぼす急性の影響について検討した知見は、鍛錬ランナーの陸上競技中長距離種目におけるパフォーマン

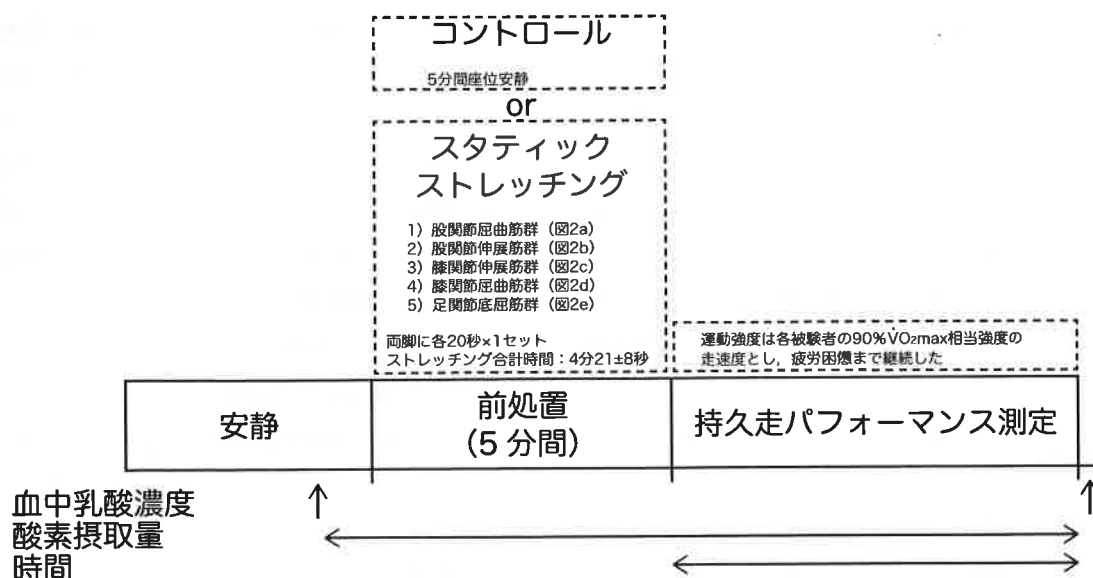


図1 2回目および3回目における実験プロトコル

スに対する効果として直接反映できるものであったとは言い難い。

そこで本研究の目的はスポーツ現場で利用されているような伸張時間のスタティックストレッチング、すなわち20秒×1セットのスタティックストレッチングを用いて、陸上競技中長距離選手を対象に比較的高い運動強度の持久走パフォーマンスに及ぼす急性の影響を明らかにすることである。なお、本研究における持久走パフォーマンスの運動強度は陸上競技における3000mあるいは5000m種目を想定した90% $\dot{V}O_{2max}$ 相当強度⁸⁾にて実施するものとした。

II. 方法

A. 被験者

健康な大学陸上競技部男子中長距離選手7名(年齢: 21.3 ± 2.1 歳, 身長: 170.3 ± 3.1 cm, 体重: 60.0 ± 5.5 kg, $\dot{V}O_{2max}$: 4.35 ± 0.53 l/分, 体重当たりの $\dot{V}O_{2max}$: 72.3 ± 3.7 ml/kg/分, 5000m自己記録: 16分26±55秒)が本研究に参加した。実験は2月から3月の間に行われた。当該期間はオフシーズンであり、極めて激しいトレーニングは実施していなかった。また、実験前日ならびに当日は強度の高いトレーニング(ランニング, レジスタンストレーニングおよびストレッチング)を実施しないよう注意を促した。前日ならびに実験当日の食事は実験を通じて、できるだけ同じようなものを摂るよう促

し、実験前の食事は2時間前までに終えておくよう留意させた。加えて、前日のアルコール摂取ならびに当日のカフェイン摂取も行わないよう注意した。すべての被験者に対し、本研究の方法、目的および危険性について説明を行い、被験者の同意を得た上で研究を遂行した。なお、本研究は酪農学園大学の倫理委員会の承認を得て遂行された。

B. 研究デザイン

本研究では異なる日に3回の実験を行った。まず、1回目には各被験者の持久走パフォーマンス測定時における相対的な走速度を決定するため、トレッドミルを用いた漸増負荷走運動試験を実施し、呼気ガス分析装置を用いて $\dot{V}O_{2max}$ を測定した。その後、48時間以上の間隔をあけながら2~3回目の実験を行った。2~3回目には(図1)、実験室到着後、安静を十分にとり、血中乳酸濃度の測定を実施した後、呼気ガス分析装置のマスクを装着した。その後、以下に示す2つの前処置のうち、いずれかを実施した後に、トレッドミル上で持久走パフォーマンスの測定を行った。2つの前処置は、1) 座位にて安静を保持するコントロール、および2) 下肢5筋群のスタティックストレッチングを実施するスタティックストレッチング処置であった。2回目における前処置は各被験者でランダムに決定した。また、持久走パフォーマンス測定は各被験者の90% $\dot{V}O_{2max}$ 相当の走速度で実施し、各被験者は疲労困憊まで走り続けた。そ

の際の運動継続時間および運動継続時間と走速度の積である総走行距離を持久走パフォーマンスの指標とした。加えて、安静時から疲労困憊まで呼気ガス分析装置により酸素摂取量を測定し、運動効率の指標とした。さらに、運動終了時に血中乳酸濃度の測定を行った。3回目として2回目と異なる前処置を実施した後に同様の持久走パフォーマンス測定を実施した。運動継続時間および総走行距離、酸素摂取量ならびに血中乳酸濃度の推移を処置間で比較し、スタティックストレッチングが持久走パフォーマンスおよび代謝応答に及ぼす急性の効果について比較検討した。なお、各被験者のサーカディアンリズムを考慮し、両処置の測定の時間帯は同じになるよう留意した。また、両処置における実験室の温度は20～24℃となるよう注意を払った。

C. 漸増負荷走運動試験

各被験者の最大酸素摂取量の測定ならびに持久走パフォーマンス測定時の相対的な走速度を決定するため、トレッドミル（西川鉄鋼、京都）を用いた漸増負荷走運動試験を実施した。負荷はステージ間に1分の休息をおいて、1ステージ4分としたステップ負荷とした。ステージ毎の負荷は分速167 m/分（6分/km）より開始し、200 m/分（5分/km）、222 m/分（4分30秒/km）、250 m/分（4分/km）、273 m/分（3分40秒/km）、300 m/分（3分20秒/km）、333 m/分（3分/km）、364 m/分（2分45秒/km）と漸増させた。試験の終了

の基準は、1) 予測最大心拍数（220-年齢）を越えたとき、2) RQが1.1を越えたとき、3) 被験者が自覚的に継続不能となったとき、4) 酸素摂取量がレベリングオフしたとき、のいずれかを満たす場合とした。走運動を通じて、呼気ガス分析装置（ $\dot{V}O_{2000}$, S&ME, 東京）を用いてミキシングチャンバー法で10秒毎に酸素摂取量を測定し、その最大値を $\dot{V}O_{2max}$ とした。また、 $\dot{V}O_{2max}$ とそれが出現した速度から、持久走パフォーマンス測定時の90% $\dot{V}O_{2max}$ 相当強度の走速度を算出した。なお、被験者の90% $\dot{V}O_{2max}$ 相当強度の平均走速度は280.5 ± 25.6 m/分（3分35 ± 20秒/km）であった。

D. 前処置

スタティックストレッチング処置では、両脚の5つの筋群、すなわち、股関節屈曲筋群、股関節伸展筋群、膝関節伸展筋群、膝関節屈曲筋群および足関節底屈筋群に、被験者自身がスタティックストレッチングを実施した（図2）。被験者にはすべての筋群のストレッチングに共通して、反動をつけずにやや不快と感じる肢位まで筋群を伸張させ、その肢位を保持するよう指示した。各筋群の伸張時間は20秒間とし、1セットずつ実施するものとした。これら時間の管理は験者が行い、口頭で各手順を指示した。処置の合計時間は4分21 ± 8秒であった。ストレッチング開始から5分後（ストレッチング後平均39秒）に持久走パフォーマンス測定が開始された。一方、コントロールでは5分間座位にて安静を保持し、5

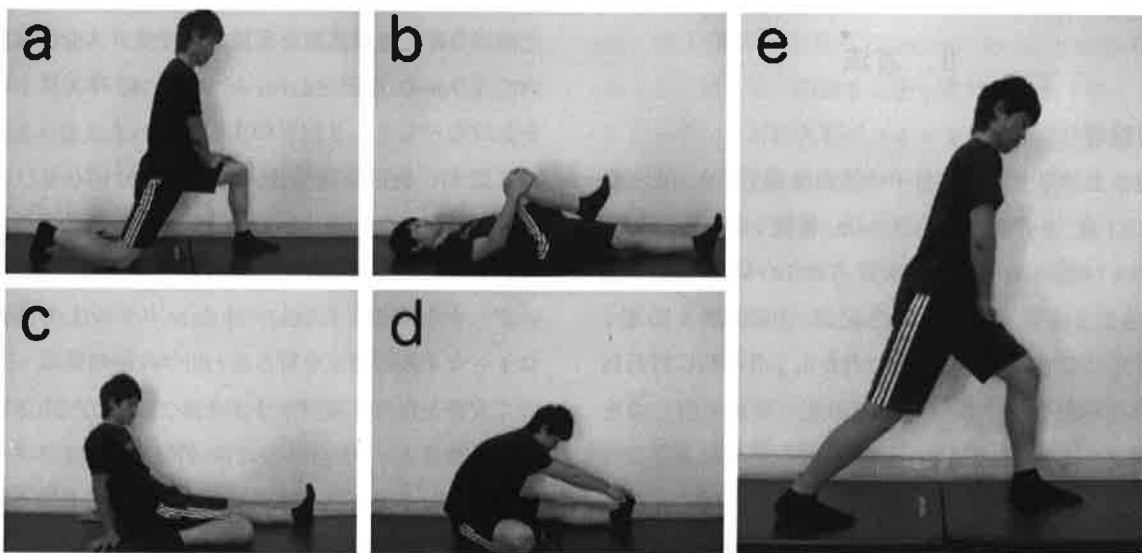


図2 スタティックストレッチングの方法. a. 股関節屈曲筋群, b. 股関節伸展筋群, c. 膝関節伸展筋群, d. 膝関節屈曲筋群, e. 足関節底屈筋群.

分経過直後に持久走パフォーマンス測定を開始した。スタティックストレッチングは以下に示した順序および方法で実施された。

1. 股関節屈曲筋群 (図 2-a)

被験者はストレッチング脚の膝関節を屈曲させた状態で床につけ、非ストレッチング脚は股関節および膝関節を屈曲させて足底を床につけた。その後、非ストレッチング脚の股関節および膝関節をさらに屈曲させながら、上体を前方に移動させ、股関節屈曲筋群を伸張させた。

2. 股関節伸展筋群 (図 2-b)

被験者は仰臥位にてストレッチング脚の膝関節を屈曲させた状態で、股関節を屈曲させ、脚を胸に抱え込むようにして股関節伸展筋群を伸張させた。

3. 膝関節伸展筋群 (図 2-c)

被験者は長座位となり、ストレッチング脚の股関節を踵が臀部に触れるよう屈曲させた。その後、ストレッチング脚の下腿前部が床から離れないよう注意しながら股関節を伸展させ、上体を後方に倒して膝関節伸展筋群を伸張させた。

4. 膝関節屈曲筋群 (図 2-d)

被験者は長座位となり、非ストレッチング脚の股関節を外転および外旋、膝関節を屈曲させ、足底がストレッチング脚の大腿部内側につくようにした。その後、ストレッチング脚の膝関節を完全伸展させた状態で股関節を屈曲し、上体をストレッチング脚に正対させたままストレッチング脚の方向へ倒し、膝関節屈曲筋群を伸張させた。

5. 足関節底屈筋群 (図 2-e)

被験者は立位からストレッチング脚の踵が床から離れない範囲で後方へ移動させ、足関節底屈筋群を伸張させた。このとき、ストレッチング脚の膝関節をできるだけ伸展させるものとした。

E. 持久走パフォーマンス測定および測定項目

各被験者はトレッドミル上で 90% $\dot{V}O_{2max}$ 相当強度の走速度の定常負荷において疲労困憊に至るまで走運動

を実施した。疲労困憊の基準は、1) 被験者が自覚的に継続不能となったとき、あるいは 2) トレッドミル上の規定の位置に 10 秒以上留まなくなったときのいずれかを満たす場合とした。疲労困憊に至るまでの走運動継続時間を持久走パフォーマンスの指標として採用した。また、各被験者の 90% $\dot{V}O_{2max}$ 相当の走速度と運動継続時間の積である総走行距離を算出した。加えて、安静、前処置ならびに走運動中の酸素摂取量を呼気ガス分析装置 ($\dot{V}O_{2000}$) を用いて 10 秒毎にサンプリングし、両処置では、安静 1 分、走運動開始 1 分より全被験者が運動を継続できた時間の 1 分前まで、そして疲労困憊直前の 1 分について、それぞれ 1 分毎に平均値を算出した。運動中についてはそれらの値を運動効率の指標と考えた。また、スタティックストレッチング処置ではスタティックストレッチング実施時の平均値も算出した。さらに、安静時ならびに走運動終了直後に耳朶より採血を行い、分析装置 (Lactate Pro, LT-1710, 京都) を用いて血中乳酸濃度の測定を行い、運動中の強度ならびに代謝応答の結果を確認した。

F. 統計処理

スタティックストレッチング処置とコントロールにおける疲労困憊に至るまでの運動継続時間ならびに総走行距離の比較には、データの正規性が認められなかったため、Wilcoxon の符号不順位和検定を用いた。加えて、Wilcoxon の符号不順位和検定を用いたことを考慮し、効果量 r を求めた。値の判断基準の目安は、小: $r = 0.10$, 中: $r = 0.30$, 大: $r = 0.50$ とした。また、酸素摂取量および血中乳酸濃度の推移の比較には反復測定の分散分析を用いた。これらについての効果量として Olejnik and Algina の見解¹⁵⁾ をもとに一般化 η^2 (η_g^2) を求めた。値の判断基準の目安は、Bakeman の見解²⁾ をもとに小: $\eta_g^2 = 0.02$, 中: $\eta_g^2 = 0.13$, 大: $\eta_g^2 = 0.26$ とした。加えて、各被験者の体力要素とスタティックストレッチングによる持久走パフォーマンスの変化との関係性を検討するため、各被験者の $\dot{V}O_{2max}$ および 90% $\dot{V}O_{2max}$ 相当速度と運動継続時間ならびに総走行距離の変化量 (スタティックストレッチング処置の値 - コントロールの値) との関係についてピアソンの相関係数の検定を行った。なお、すべてのデータは平均値 \pm 標準偏差で示し、有意水準は $p < 0.05$ にて判定した。

III. 結果

被験者7名中4名がコントロールよりもスタティックストレッチング処置で疲労困憊までの運動継続時間および総走行距離が長かった。しかしながら、平均運動継続時間は、コントロールで 785.3 ± 206.2 秒、スタティックストレッチング処置で 792.0 ± 281.2 秒であり、両処置間に有意な ($p = 0.74$) 差は認められなかった (図3)。また、その効果量は $r = 0.13$ と小さかった。加えて、平均総走行距離は、コントロールで 3616.9 ± 783.3 m、スタティックストレッチング処置で 3659.6 ± 1137.1 m であり、両処置間に有意な ($p = 0.74$) 差は認められなかった (図4)。また、その効果量も $r = 0.13$ と小さかった。

酸素摂取量は、開始2分で $\dot{V}O_{2max}$ の平均82%、3分で88%、4分で92%となり、4分以降は92%から98%の範囲で漸増した。よって、90% $\dot{V}O_{2max}$ 相当強度以上が確保されたことが確認された。一方、酸素摂取量の平均値は、両処置ともに安静時から運動開始2分にかけて急激な上昇がみられ、その後微増したものの、両処置の推移に有意な交互作用 ($F = 0.21, p = 0.98$) は認められなかった (図5)。効果量も $\eta^2 = 0.003$ と小さかった。加えて、血中乳酸濃度も両処置ともに安静時から運動後にかけて上昇したものの、両処置の推移には有意な交互作用 ($F = 0.04, p = 0.85$) は認められなかった (図6)。効果量も $\eta^2 = 0.002$ と小さかった。

また、 $\dot{V}O_{2max}$ と運動継続時間および総走行距離の変

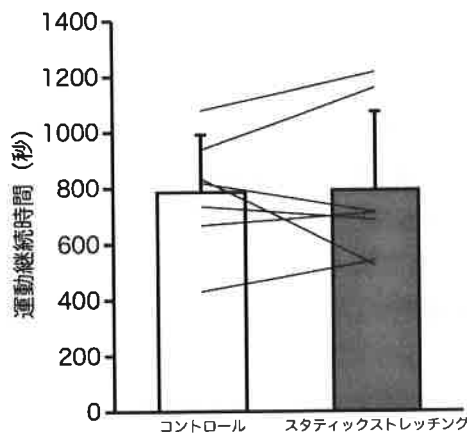


図3 疲労困憊までの運動継続時間の処置間比較。折れ線グラフは各被験者。棒グラフは平均値。両処置間に有意な差はなかった。

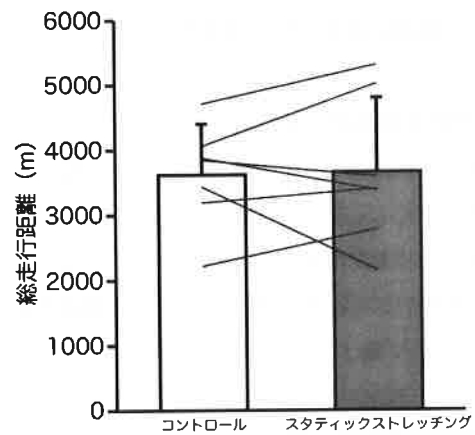


図4 総走行距離の処置間比較。折れ線グラフは各被験者。棒グラフは平均値。両処置間に有意な差はなかった。

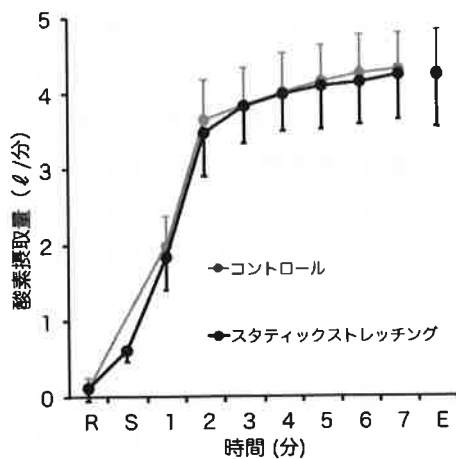


図5 酸素摂取量の推移の処置間比較。Rは安静、Sはストレッチング、Eは疲労困憊を示す。両処置の推移に有意な差はなかった。

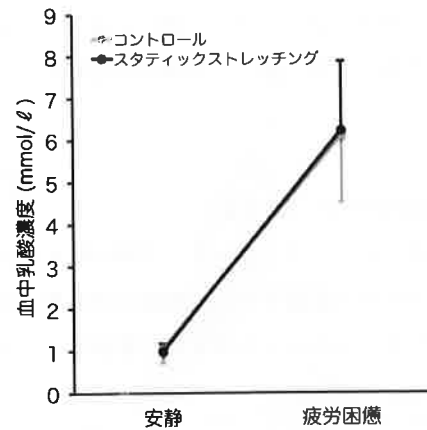


図6 血中乳酸濃度の推移の処置間比較。両処置間の推移に有意な差はなかった。

化量との相関係数はそれぞれ $r = 0.340$ ($p = 0.46$) および $r = 0.172$ ($p = 0.71$) であり、有意な相関関係は認められなかった。さらに、90% $\dot{V}O_{2max}$ における走速度と運動継続時間および総走行距離の変化量との相関係数はそれぞれ $r = 0.361$ ($p = 0.43$) および $r = 0.162$ ($p = 0.73$) であり、これらにも有意な相関関係は認められなかった。

IV. 考察

本研究では陸上競技中長距離選手を対象に下肢筋群における20秒×1セットのスタティックストレッチングの実施が90% $\dot{V}O_{2max}$ 相当強度の走運動における持久走パフォーマンスに及ぼす急性の影響を検討した。その結果、持久走パフォーマンスの指標として測定した運動継続時間(図3)ならびに総走行距離(図4)は、スタティックストレッチング処置と安静保持のコントロールとの間で相違が認められなかった。また、それらの効果量はともに $r = 0.13$ と小さかった。加えて、両処置における運動中の酸素摂取量の推移にも差は認められず(図5)、その効果量も $\eta^2 = 0.003$ と小さかった。他方、両処置の疲労困憊時の酸素摂取量(図5)ならびに血中乳酸濃度(図6)にも差が認められなかったことから、各被験者は両処置において同程度の努力度合いで疲労困憊に至ったと考えられる。よって、陸上競技中長距離選手による20秒×1セットのスタティックストレッチングの実施は、90% $\dot{V}O_{2max}$ 相当強度の持久走パフォーマンスおよび走経済性を改善も悪化もさせないことが示された。

これまでスタティックストレッチングが持久走パフォーマンスあるいは走経済性に及ぼす急性の影響について検討した研究では、本研究の結果と反し、持久走パフォーマンスないし走経済性が低下したという研究結果^{4, 11, 22)}もあれば、本研究同様それらに変化しなかったという研究結果^{1, 4, 7, 13)}もあり、知見は錯綜していた。ただし、いずれの研究もスタティックストレッチングのひとつの筋群に対する伸張時間は冗長であった。例えば、スタティックストレッチングによる持久走パフォーマンスあるいは走経済性の低下を示した研究^{4, 11, 22)}におけるスタティックストレッチングの伸張時間は、短いものでも30秒×3セットの合計90秒¹¹⁾であり、長いものでは

30秒×4セットの合計120秒²²⁾に至っていた。また、スタティックストレッチング後の持久走パフォーマンスあるいは走経済性の変化が認められなかった研究^{1, 7, 13)}においても、最も短い伸張時間を採用した研究⁷⁾で30秒×2セットの合計60秒であった。一方で、スポーツ現場における実態調査⁵⁾の結果によると、ウォームアップ時において実施されているスタティックストレッチングの伸張時間は、20秒以下である割合が73%とそれ以上の伸張時間が用いられる場合の割合を大きく上回ることが報告されている。よって、本研究はスポーツ現場において一般に用いられている20秒×1セットのスタティックストレッチングを用いて持久走パフォーマンスへの急性の影響を検討し、知見を得たという点で意義深いと言えるだろう。

また、これまでのスタティックストレッチングが走運動の経済性に及ぼす急性の効果を検討した研究^{1, 4, 7, 13, 22)}における走運動の強度は65~80% $\dot{V}O_{2max}$ 相当であった。加えて、持久走パフォーマンスへの急性の影響を検討した研究^{13, 22)}における走運動の強度についても、約80% $\dot{V}O_{2max}$ であった。鍛錬ランナーによる陸上競技中長距離種目時の走運動の強度は、最も低い強度のマラソン競技であっても85% $\dot{V}O_{2max}$ 以上であるとされる⁸⁾。他方、鍛錬ランナーを対象に比較的高い強度における持久走パフォーマンスに及ぼすスタティックストレッチングの急性の影響を検討した研究¹¹⁾があるものの、彼らの研究における持久走パフォーマンスの指標は5%の傾斜に設定したトレッドミル上において実施されたアップヒルの1マイルタイムトライアルの走行時間であった。さらに、3000mのタイムトライアルの走行時間を持久走パフォーマンスの指標としてスタティックストレッチングの急性の影響を検討した研究⁴⁾もあるものの、当該研究における被験者はレクリエーションランナーであった。本研究では陸上競技中長距離選手を対象に持久走パフォーマンスの評価に90% $\dot{V}O_{2max}$ 相当強度の定常速度における走運動の運動継続時間および総走行距離を用いてスタティックストレッチングの急性の影響について検討を行った。また、本研究ではランニングなどの一般的なウォームアップを実施せずにスタティックストレッチングの急性の影響のみ検討したものの、本研究と同様に陸上中長距離選手を対象に70% $\dot{V}O_{2max}$ 相当強度の定常速度に設定したトレッドミル上での走運動の

ウォームアップ後に本研究と同一のスタティックストレッチングを実施し、本研究と同等の90% $\dot{V}O_{2max}$ 相当強度の定常速度における持久走パフォーマンスに及ぼす急性の影響を検討した研究²¹⁾が存在する。当先行研究の結果においても、ウォームアップ後に安静を保持する条件とスタティックストレッチングを実施する条件との間の持久走パフォーマンスに相違が認められなかった。本研究ならびに先行研究²¹⁾における持久走パフォーマンス測定時の走速度は陸上競技における3000 mあるいは5000 m 種目の走速度と同等であり⁸⁾、当該種目の競技成績に直結する持久走パフォーマンスに及ぼす急性の影響を検討できたと言える。よって、総じて考えると、陸上競技中長距離選手がウォームアップにおいて本研究で用いたスポーツ現場に即した20秒×1セットのスタティックストレッチングを実施することは、3000 mあるいは5000 m 種目の持久走パフォーマンスを向上させることはないものの、少なくとも低下させることもないことが示唆される。今後は実際に3000 mないし5000 mのタイムトライアルの走行時間に及ぼす20秒×1セットのスタティックストレッチングの急性の影響を検討することでよりスポーツ現場に応用可能な知見を明らかにすることができるだろう。

ところで、スタティックストレッチング直後の持久走パフォーマンスに変化が認められなかった本研究の結果は持久走パフォーマンスの低下が確認された一部の先行研究^{4, 13, 22)}の結果とは一致しない。持久走パフォーマンスがパフォーマンス指標ではないものの、スタティックストレッチングの伸張時間の相違が筋力に及ぼす急性の効果を検討したSiatras et al.の研究¹⁹⁾では、30秒および60秒の伸張時間のスタティックストレッチングでは筋力が低下したものの、10秒および20秒では低下しなかったことが報告されている。また、スタティックストレッチングの伸張時間と各種パフォーマンスへの急性の影響との関係について系統的に調査検討した総説²³⁾では、30秒未満の伸張時間でパフォーマンス低下を示した知見の割合が30.7%であるのに対し、30秒および30秒以上ではそれらの割合が57.9%および64.8%と高くなっていたことを報告している。スタティックストレッチングによる各種パフォーマンス低下の要因は未だ明確ではないものの、スタティックストレッチングによって生じる筋や腱をはじめとする結合組織における力学的特

性の変化および神経-筋を含めた神経生理学的変化が関与すると推察されている²³⁾。しかしながら、これら変化については前者では45秒、後者では30秒の伸張時間のスタティックストレッチング中に生じることが明らかになっているものの、各々のストレッチング終了直後にはそれら変化に対する影響が消失することが確かめられている^{6, 12)}。他方、持久走パフォーマンスには呼吸循環器系の機能が大きく影響を及ぼすものの、走経済性も重要な持久走パフォーマンスの決定要素と考えられている¹⁷⁾。走経済性には筋腱の力学的な要素¹⁷⁾や神経筋の神経生理学的な要素¹⁴⁾が大きく貢献するとされている。よって、例えば、パフォーマンスの指標が持久走パフォーマンスであったとしても20秒×1セットのスタティックストレッチングはパフォーマンス低下の要因となり得るメカニズムを生じさせず、結果として走経済性を変化させなかった可能性が考えられる(図5)。しかしながら、本研究では20秒×1セットの1条件のみの伸張時間のスタティックストレッチングを用いた検討をしたに過ぎず、伸張時間の相違が先行研究との結果の相違を生じさせたとは結論づけられない。今後は、スタティックストレッチングのひとつの筋群に対する伸張時間を短いものから長いものまで数条件に渡って設定し、上記のパフォーマンス低下の要因となるメカニズムに関する測定を同時に行いながら、持久走パフォーマンスに及ぼす急性の効果を検討することで、何秒以上のスタティックストレッチングが持久走パフォーマンスを低下させ、その変化にどのようなメカニズムが関わっているのかを明らかにすることができるかもしれない。このことは、持久走パフォーマンスの低下を引き起こし得るスタティックストレッチングのひとつの筋群に対する伸張時間の閾値を明らかにすることに繋がり、陸上競技中長距離種目の競技場面に直接還元できる有意義な知見を示すことになるだろう。

他方、本研究における被験者7名のうち4名で運動継続時間および総走行距離の延長が確認された(図3および図4)。このことは、陸上競技中長距離選手のなかには本研究で用いた20秒×1セットのスタティックストレッチングによって持久走パフォーマンスが向上する者がいる可能性を示している。本研究ではこの持久走パフォーマンスの改善が認められた被験者の特性を明らかにするべく、本研究で予め測定した体力指標である各被

験者の $\dot{V}O_2\text{max}$ ならびに 90% $\dot{V}O_2\text{max}$ 相当強度の速度と持久走パフォーマンスの変化量との相関関係について検討を試みた。しかしながら、これらには有意な相関関係は認められなかった。このことから少なくとも元々の持久力が本研究で用いたスタティックストレッチングによる持久走パフォーマンスの変化に影響を及ぼすとは言えない。一方、先行研究において柔軟性と走経済性との負の相関関係、あるいは伸張-短縮サイクルの利用能と走経済性との正の相関関係が示されている¹⁷⁾。さらに、スタティックストレッチングは柔軟性を向上させること^{4, 7, 11, 12, 13, 22)}ないし伸張-短縮サイクルの利用能を低下させること⁹⁾が示されている。これらのことは、元々の被験者の柔軟性あるいは伸張-短縮サイクルの利用能の水準如何では本研究で用いたスタティックストレッチングが持久走パフォーマンスに正負の影響を及ぼす可能性も考えられる。したがって、今後は柔軟性ならびに伸張-短縮サイクルの利用能を測定評価するための各種体力テストの結果と本研究で用いたスタティックストレッチングによる持久走パフォーマンスの変化との関係について検討することで、どのような体力特性を有したランナーが本研究で用いたスタティックストレッチングによって持久走パフォーマンスを向上させ得るのかを明らかにすることができるのかもしれない。

V. 結論

本研究の結果、陸上競技中長距離選手が 20 秒 × 1 セットというスポーツ現場で実際に用いられているひとつの筋群に対する伸張時間のスタティックストレッチングを実施しても 90% $\dot{V}O_2\text{max}$ 相当強度における持久走パフォーマンスを変化させないことが示された。90% $\dot{V}O_2\text{max}$ 相当強度の走速度は、陸上競技の 3000 m あるいは 5000 m 種目における走速度と同等とされる⁸⁾。よって、当該種目におけるウォームアップにおいて陸上競技中長距離選手が本研究で用いたスタティックストレッチングを実施することは、当該種目のパフォーマンスを向上させることはないものの、少なくとも低下もさせないことが示唆される。したがって、先行研究において疑問視されてきた持久走前のスタティックストレッチングの実施については陸上競技中長距離選手による 20 秒 × 1 セットのスタティックストレッチングの実施であれば持

久走パフォーマンスに悪影響を及ぼさないと結論づけられる。一方で、本研究の被験者のなかには 20 秒 × 1 セットのスタティックストレッチングの実施によって 90% $\dot{V}O_2\text{max}$ 相当強度の持久走パフォーマンスを向上させた者もいた。よって、陸上競技中長距離選手ならびにそのコーチはそのランナーの特性をしっかりと把握し、ランナー自身がスタティックストレッチングを実施すべきか否かについて予め検討しておく必要があるだろう。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 24700655 の助成を受けて遂行しました。また、本研究の被験者として参加くださった北海道大学陸上競技部中長距離パートの皆様感謝申し上げます。加えて、実験へご協力をいただきました北海道大学大学院教育学院苫米地伸泰氏に感謝の意を表します。

引用文献

- 1) Allison, S. J., D. M. Bailey, J. P. Folland: Prolonged static stretching does not influence running economy despite changes in neuromuscular function, *J. Sports Sci.*, 26: 1489-1495, 2008.
- 2) Bakeman, R.: Recommended effect size statistics for repeated measures designs, *Behavior Res. Methods*, 37: 379-384, 2005.
- 3) Behm, D. G., A. Chaouach: A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 111: 2633-2651, 2011.
- 4) Damasceno, M. V., M. Duarte, L. A. Pasqua, A. E. Lima-Silva, B. R. MacIntosh, R. Bertuzzi: Static stretching alters neuromuscular function and pacing strategy, but not performance during a 3-km running time-trial, *PLoS ONE*, 9: e99238, 2014.
- 5) Duehring, M. D., C. R. Feldmann, W. P. Ebben: Strength and conditioning practices of United States high school strength and conditioning coaches, *J Strength Cond. Res.*, 23: 2188-2203, 2009.
- 6) Guissard, N., J. Duchateau, K. Hainaut: Muscle stretching and motoneuron excitability, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 58: 47-52, 1988.
- 7) Hayes, P. R., A. Walker: Pre-exercise stretching does not impact upon running economy, *J. Strength Cond. Res.*, 21: 1227-1232, 2007.
- 8) Joyner, M. J., E. F. Coyle: Endurance exercise performance: the physiology of champions, *J. Physiol.*, 586: 35-44, 2008.
- 9) Kallerud, H., N. Gleeson: Effects of stretching on performances involving stretch-shortening cycles, *Sports*

- Med., 43: 733-750, 2013.
- 10) Kay, A. D., A. J. Blazevich: Effect of acute static stretch on maximal muscle performance: A systematic review, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 44: 154-164, 2012.
 - 11) Lowery, R. P., J. M. Joy, L. E. Brown, E. Oliveira deSouza, D. R. Wistocki, G. S. Davis, M. A. Naimo, G. A. Zito, J. M. Wilson: Effects of static stretching on 1-mile uphill run performance, *J. Strength Cond. Res.*, 28: 161-167, 2014.
 - 12) Magnusson, S. P., P. Aagaard, J. J. Nielson: Passive energy return after repeated stretches of the hamstring muscle-tendon unit, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32: 1160-1164, 2000.
 - 13) Mojock, C. D., J. S. Kim, D. W. Eccles, L. B. Pantone: The effects of static stretching on running economy and endurance performance in female distance runners during treadmill running, *J. Strength Cond. Res.*, 25: 2170-2176, 2011.
 - 14) Nummela, A. T., L. M. Paavolainen, K. A. Sharwood, M. I. Lambert, T. D. Noakes, H. K. Rusko: Neuromuscular factors determining 5 km running performance and running economy in well-trained athletes, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 97: 1-8, 2006.
 - 15) Olejnik, S. J. Algina: Generalized eta and omega squared statistics: Measures of effect size for some common research designs, *Psychol. Methods*, 8: 434-447, 2003.
 - 16) Peck, E., G. Chomko, D. V. Gaz, A. M. Farrell: The effects of stretching on performance, *Curr. Sports Med. Rep.*, 13: 179-185, 2014.
 - 17) Saunders, P. U., D. B. Pyne, R. D. Telford, J. A. Hawley: Factors affecting running economy in trained distance runners, *Sports Med.*, 34: 465-485, 2004.
 - 18) Shellock, F. G., W. E. Prentice: Warming-up and stretching for improved physical performance and prevention of sports-related injuries, *Sports Med.*, 2: 267-278, 1985.
 - 19) Siatras, T. A., V. P. Mittas, D. N. Mameletzi, E. A. Vamvakoudis: The duration of the inhibitory effects with static stretching on quadriceps peak torque production, *J. Strength Cond. Res.*, 22: 40-46, 2008.
 - 20) Simic, L., N. Sarabon, G. Markovic: Does pre-exercise static stretching inhibit maximal muscular performance? A meta-analytical review, *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 23: 131-148, 2013.
 - 21) Takizawa, K., T. Yamaguchi, K. Shibata: Effect of short static stretches of the lower extremities after warm-up for endurance running performance, *Mov. Health Exerc.*, in press.
 - 22) Wilson, J. M., L. M. Hornbuckle, J. S. Kim, C. Ugrinowitsch, S. R. Lee, M. C. Zourdos, B. Sommer L. B. Pantone: Effects of static stretching on energy cost and running endurance performance, *J. Strength Cond. Res.*, 24: 2274-2279, 2010.
 - 23) 山口太一, 石井好二郎: ウォームアップにおける各種ストレッチングがパフォーマンスに及ぼす影響, *トレーニング科学*, 23: 233-250, 2011.