

異なるハーフタイム戦略がサッカー選手の 反復性スプリントパフォーマンスに与える影響

広島大学大学院 柳 岡 拓 磨

Effect of Different Half-Time Strategies on Repeated-Sprint Ability in Soccer Players

by

Takuma Yanaoka

*Graduate School of Humanities and Social Sciences,
Hiroshima University*

ABSTRACT

The present study examined the effects of different half-time strategies on repeated-sprint ability (RSA). In a randomized cross-over design, ten male soccer players completed two RSA tests (6, 6-s sprints separated by 24 s of passive rest, first and second halves) separated by a 15-min half-time. During the half-time, the participants were assigned to a 15-min seated rest (CON), a 7.5-min passive heating (wearing a jacket at 5 to 12.5 min during the 15-min half-time, PAS), a 1.5-min active heating before the end of the half-time (performing a re-warm up at 12.5 to 14 min during the 15-min half-time, ACT), or a combination of both passive and active heating (COMB). All trials were performed on a non-motorized treadmill in a thermoneutral environment ($17.1 \pm 1.1^\circ\text{C}$, $52.2 \pm 8.1\%$ relative humidity). In CON, mean and maximum running speeds were significantly lower during the second half than during the first half ($p < 0.05$), but this difference was not observed in the other trials. In the half-time, PAS, ACT, and COMB did not decrease magnitudes of the drop in gastrointestinal temperature. Skin temperature at the start of the second half was significantly higher in COMB than in CON ($p < 0.05$). In the second half, there were

no significant differences in gastrointestinal temperature, electromyography, or muscle oxygenation between trials. Heart rate during the second half was significantly higher in ACT and COMB than in CON and PAS ($p < 0.05$). In conclusion, PAS, ACT, and COMB improved RSA during the second half compared to CON.

キーワード

胃腸温, 筋活性, 筋酸素動態, リウォームアップ, パッシブヒーティング

Keyword

gastrointestinal temperature, muscle activation, muscle oxygenation, re-warm up, passive heating

要 旨

本研究では、異なるハーフタイム戦略が反復性スプリントパフォーマンス (RSA) に与える影響を検討した。10名の男子サッカー選手は、4試行の無作為化交差試験を実施した。本試験では、15分間のハーフタイムを挟む2回 (前・後半) のRSAテスト (6秒スプリント-24秒レストを6セット) を行った。4条件のハーフタイムの介入は、1) 安静座位 (CON 試行)、2) ジャケット着用 (PAS 試行)、3) リウォームアップ実施 (ACT 試行)、4) PASおよびACT介入の併用 (COMB 試行) のいずれかとした。後半の平均・最高走速度はCON試行で前・後半間に有意差が認められ、後半は低値であったが ($p < 0.05$)、他の試行では前・後半間の有意な差は認められなかった。後半中の胃腸温、筋電図、筋酸素動態には試行間の有意な差は認められなかった。後半開始時の平均皮膚温には試行間の有意差が認められ ($p < 0.05$)、CON試行と比較し、COMB試行は高値であった。後半の心拍数には試行間の有意な差が認められ ($p < 0.05$)、CONおよびPAS試行と比較し、ACTおよびCOMB試行は高値であった。従って、本研究で用いたいずれかの介入を行うことでRSA低下を防止できることが示唆された。

緒 言

サッカーに代表される間欠性球技系競技において、スプリント等の高強度運動を繰り返し行うことが重要であり、高強度運動パフォーマンスは試合の勝敗を左右する要素の一つである¹⁾。特に、完全な回復を達成することのできない短時間の休息を挟み、最大強度のスプリントを繰り返す能力 (反復性スプリント能力: RSA) はエリートレベルのサッカー選手の中で高い外的妥当性が報告されており、高強度運動パフォーマンスの評価に広く用いられている²⁾。

気温20℃程度の通常環境下の試合における高強度運動パフォーマンスは、試合終了前のみならず後半開始後に減少することが知られている³⁾。後半開始後の高強度運動パフォーマンス低下は、主に体温の低下と関連している⁴⁾。そのため、ハーフタイム中の体温保持を目的とした15分間の保温器具の着用 (パッシブヒーティング: PAS⁵⁾) や7分程度のリウォームアップ (アクティブヒーティング: ACT⁶⁾) およびそれらの併用 (COMB⁷⁾) がハーフタイム中の体温保持とその後のスプリントパフォーマンスに与える影響が検討され、それぞれポジティブな効果が報告されている。一方、実際の試合でこれらのハーフタイム戦略を応用するためには、時間的制約の課題を解決する必

要がある⁸⁾。近年、我々は1分間・最大酸素摂取量の90%強度で行うリウォームアップがその後のスプリントパフォーマンスを改善すること、このメカニズムとして酸素摂取量や筋酸素動態の改善、筋活性の亢進が挙げられることを報告した^{9, 10)}。一方で、より長時間の介入と比べ、体温保持効果は低いことが明らかとなり、短時間・高強度のリウォームアップとPASを組み合わせる必要性が示唆された。

そこで本研究では、先行研究と比較し介入時間を短く設定したPAS, ACT, COMBがその後のRSAに与える影響をそのメカニズムを含め明らかにすることを目的とした。

1. 方法

1.1 研究対象者

本研究は、アマチュア男子サッカー選手10名を対象とした。被験者の身体特性は、年齢 21 ± 3 歳、身長 1.70 ± 0.05 m、体重 68.5 ± 6.8 kg、除脂肪体重 57.0 ± 3.4 kg、体脂肪率 $16.1 \pm 4.5\%$ (平均 \pm 標準偏差)であった。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。本研究は、広島大学大学院教育学研究科倫理審査委員会の承認を得て、実施した(承認番号: 2019540)。

1.2 研究デザイン

被験者は、身体特性の測定および運動プロトコルの練習試技(来研1)の後、無作為化交差試験法を用いた4試行の本試験(来研2-5)を実施した。すべての試験は72時間以上の間隔をあけて行い、本試験は日内変動の影響を排除するため、同じ時間帯に行った。被験者は、各試験の24時間前からカフェインおよびアルコールの摂取を禁止され、3時間前より水以外の飲食を控えた。また、各試験の24時間前から疲労困憊に至る激しい運動を禁止され、24時間以内の食事を各本試

験間で統一するよう指示された。本研究は実験室内で行われ、熱中性環境下(気温: $17.1 \pm 1.1^\circ\text{C}$ 、相対湿度: $52.2 \pm 8.1\%$)で行われた。

1.3 身体組成測定と練習試技

最初に身体特性を測定した。身長は身長計(seca 213, seca Nihon, Japan)を用いて測定した。体重、体脂肪率、除脂肪体重は、多周波生体電気インピーダンス分析装置(Inbody470, Inbody Japan, Japan)を用いて測定した。大腿直筋筋腹部の皮下脂肪厚を超音波診断装置(JS2, Medicare, Japan)のBモード法を用いて撮影し、画像解析ソフト(ImageJ 1.52, National Institute of Mental Health, USA)を用いて測定した。大腿直筋筋腹部は、上前腸骨棘と膝蓋骨の上面を結ぶ線の間中位と定義した¹¹⁾。

練習試技は、以下に示すコントロール試行と同様の運動を実施した。

1.4 本試験の運動プロトコル

被験者は測定器具を装着した後、規定されたウォーミングアップ(8km/hの速度で5分間のジョギング、10分間のダイナミックストレッチ、3分間の75%努力でのランニング、ダイナミックスタートのスプリント走を2本、スタティックスタートのスプリント走を2本)を行った。ウォーミングアップ終了後、10分間の安静を保った。その後、1回目のRSAテスト(前半)を実施した。RSAテストはスタティックスタートの6秒スプリントと24秒間の安静を6回繰り返すものであった。RSAテスト終了後、15分間のハーフタイムを挟み、2回目のRSAテスト(後半)を実施した。RSAテストは自走式トレッドミル(CURVE WWT-100, WoodWay, USA)上で行った。RSAテスト中は、被験者が走速度を確認できないように配慮し、スプリントの本数と経過時間のみ教示した。胃腸温測定用飲料型ピルセンサーに対する飲料摂取の影

響を排除するため、前半開始後の水分摂取は認められなかった。

1. 5 ハーフタイム介入

ハーフタイムの介入は4条件であり、1) 安静座位 (CON 試行)、2) ハーフタイム中のブリザードサバイバルジャケット着用 (PAS 試行)、3) ハーフタイム終了前のリウォームアップ実施 (ACT 試行)、4) PASおよびACT介入の併用 (COMB 試行) のいずれかであった。

コントロール試行では、被験者は15分間の安静座位を保った。PAS 試行では、被験者は15分間の安静座位を保ち、ハーフタイム開始5分後から12.5分後までの計7.5分間にブリザードサバイバルジャケット (Blizzard Survival Jacket, Blizzard Protection Systems, UK) を着用した。ACT 試行では、ハーフタイム開始から12.5分間の座位安静を保った後、1.5分間のリウォームアップを実施した。リウォームアップ内容は30秒間の45%努力でのランニング ($9.5 \pm 2.1\text{km/h}$)、15秒間の75%努力でのランニング ($13.2 \pm 1.9\text{km/h}$)、15秒間の90%努力でのランニング ($17.3 \pm 1.9\text{km/h}$)、3秒間の全カスプリント2回とした。実際の試合におけるフィールドへの移動時間を考慮し、リウォームアップはハーフタイム終了の1分前に終了させた。

1. 6 測定項目

1. 6. 1 反復性パフォーマンス

スプリント1本ごとの平均走速度および最高走速度を専用ソフトウェア (CURVE 1.5, WoodWay, USA) を用いて100Hzで測定した。前半1本目の平均走速度または最高走速度を100%とした相対値で評価した。

1. 6. 2 体温

カプセル式深部体温測定器 (CorTemp, HQinc, USA) を用いて、胃腸温を20秒ごとに測定した。

胸部・上腕部・大腿部・下腿部の皮膚温をボタン式データロガー (Thermocron SL, KN Laboratories, Japan) を用いて、30秒ごとに測定した。平均皮膚温は、先行研究に基づき¹²⁾、算出した (平均皮膚温 = $0.3 \times (\text{胸部} + \text{上腕部}) + 0.2 \times (\text{大腿部} + \text{下腿部})$)。

ハーフタイム中の胃腸温および平均皮膚温を前半終了後からの変化量 (Δ) として評価した。

1. 6. 3 表面筋電図

右大腿直筋筋腹の筋電図 (EMG) を、接地電極を膝蓋骨に配置した表面電極 (OE-WS1223-W, 追坂電子, Japan) を用いてRSAテスト中に記録した (サンプリング周波数: 1000Hz, バンドパスフィルター: 20 ~ 400Hz)。ディスプレイ電極 (エルローデ, メッツ, Japan) を使用し、電極間距離は3cmとした。インピーダンス ($< 2\text{k}\Omega$) を低減するために、電極の貼付け前に皮膚を擦過し、アルコールで洗浄した。各スプリントについて、バーストの開始から6秒間の二乗平均平方根 (RMS) および中央周波数 (MDF) を算出した。RMS値は、前半1本目のスプリントから得られた値に対して正規化した。バーストの開始は、安静時のRMS平均値から標準偏差の2倍を超えたときと定義した。

1. 6. 4 筋酸素動態

2波長 (770, 830 nm) の空間分解近赤外分光法 (NIRSRS: Oxy-Pro, ASTEM, Japan) を用いて、右大腿直筋の酸素化 (oxy-Hb)、脱酸素化 (deoxy-Hb)、総ヘモグロビン (total-Hb) 濃度および筋酸素飽和度 (SmO_2) を連続的かつ非侵襲的に5Hzで測定した。NIRSRSプローブは1つの光源と2つの受光部で構成され、光源・受光部間の距離は20mmと30mmであった。NIRSRSプローブは筋電図測定用ディスプレイ電極に隣接させた。後半中のoxy-Hb, deoxy-Hbおよびtotal-Hbを、前半中の平均値からの Δ として評価した。 SmO_2 は、以下の式で算出した。

$SmO_2 = \text{oxy-Hb} / \text{total-Hb}$

NIRSRSで得られた測定値は脂肪層の厚さに影響されるため、脂肪層の厚さを利用し、データを補正する必要がある¹³⁾。そこで、身体計測時に得られた大腿直筋筋腹部の脂肪厚 ($6.1 \pm 1.8\text{mm}$) を用いて、専用ソフトウェア (Oxy-Pro測定プログラム, ASTEM, Japan) でNIRSRSの計測値を補正した。

1. 6. 5 心拍数

心拍数は無線式心拍センサー (Polar RS800CX, Polar, Finland) を用いて測定した。

1. 6. 6 主観的指標

ボルグスケールを用いて、主観的運動強度 (RPE) を安静時 (Pre), ウォーミングアップ終了後 (W-up), 前半開始直前 (Pre-RSA1), ハーフタイム開始直後 (HT0), ハーフタイム開始5分後 (HT5), 10分後 (HT10), 15分後 (HT15), 後半終了後 (Post-RSA2) に測定した¹⁴⁾。熱感覚 (TS) を13ポイントのスケール (-6とても寒い, 6とても暑い) を用いて, Pre, W-up, Pre-RSA1, HT0, HT5, HT10, HT15, Post-RSA2に測定した¹⁵⁾。

1. 7 統計解析

すべての値は平均値±標準偏差で示した。統計解析は統計分析ソフト (IBM SPSS Statistics Version 29, IBM Japan, Japan) を用いた。スプリント中の平均走速度および最高走速度, RMS, MDFは、対応のある三要因 (試行×ハーフ×スプリント本数) の分散分析を用い分析した。スプリントパフォーマンスの減少率は、対応のある一要因 (試行) の分散分析を用い分析した。体温, 筋酸素動態, 心拍数, 主観的指標は、対応のある二要因 (試行×測定ポイント) の分散分析を用い分析した。主効果, 一次交互作用または二次交互作用が認められた場合, Bonferroni多重比較法を用い, その後の検定を行った。統計学的有意水準は危険率5%未満とした。

2. 結果

2. 1 RSA

RSAテスト中の平均走速度に二次交互作用が認められた ($p=0.024$, 図1A)。後半1本目の平均走速度には試行間の有意差が認められ, COMB試行はCON試行と比較し高値であり ($p=0.038$), ACT試行はPAS試行と比較し高値であった ($p=0.009$)。また, CON試行では前・後半間に平均走速度の全平均の有意差が認められ, 後半は前半と比較し低値であった ($p=0.025$)。他の試行では有意差は認められなかった ($p>0.05$)。

RSAテスト中の最高走速度に二次交互作用は認められなかったが ($p>0.05$)、試行×ハーフの一次交互作用が認められた ($p=0.028$, 図1B)。CON試行では前・後半間に最高走速度の全平均の有意差が認められ, 後半は前半と比較し低値であった ($p=0.021$)。他の試行では有意差は認められなかった ($p>0.05$)。

2. 2 体温

ハーフタイム中の Δ 胃腸温には試行の主効果および交互作用が認められなかった ($p>0.05$, 図2A)。機器不良のため, 8名のデータを解析した。

ハーフタイム中の Δ 平均皮膚温には交互作用が認められた ($p<0.001$, 図2B)。HT10における Δ 平均皮膚温には試行間の有意差が認められ, PASおよびCOMB試行は, CONおよびACT試行と比較し高値であった ($p<0.001$)。HT15における Δ 平均皮膚温には試行間の有意差が認められ, ACT試行は他の試行と比較し低値であり ($p<0.05$)。PAS試行はCONおよびCOMB試行と比較し高値であった ($p<0.05$)。機器不良のため, 9名のデータを解析した。

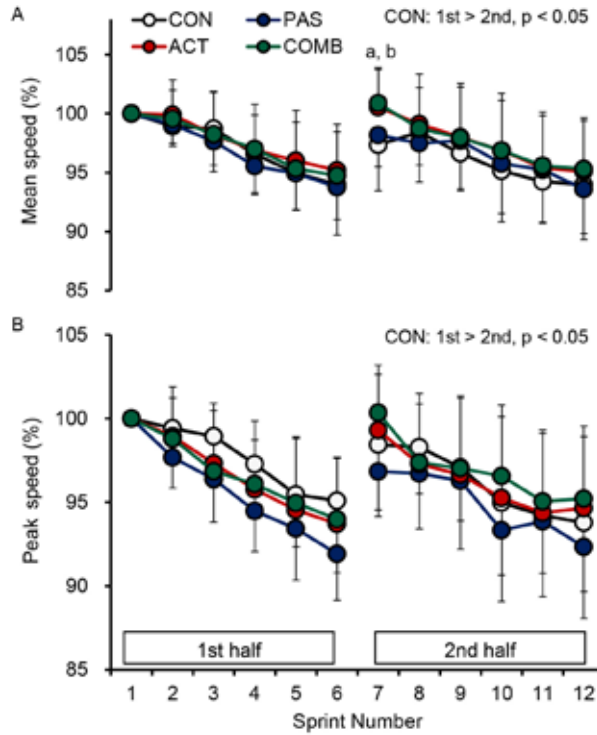


図1 各試行における平均 (A) および最高 (B) 走速度
 n = 10, 平均±標準偏差, a: CON vs COMB $p < 0.05$, b: PAS vs ACT $p < 0.05$.

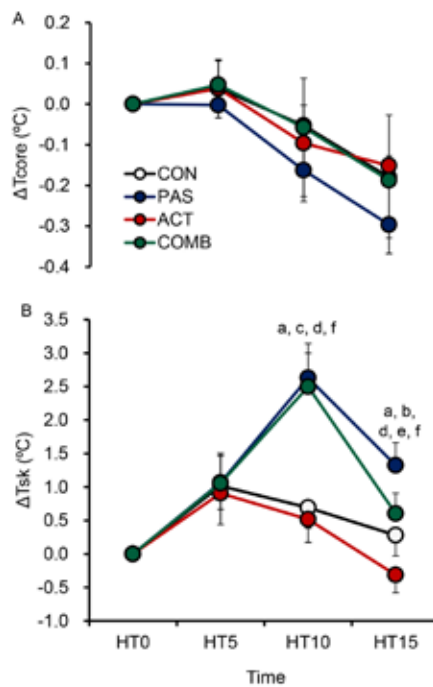


図2 ハーフタイム (HT) における胃腸温 (A) および平均皮膚温 (B) の変化
 胃腸温: n = 8, 平均皮膚温: n = 9, 平均±標準偏差, a: CON vs PAS $p < 0.05$, b: CON vs ACT $p < 0.05$, c: CON vs COMB $p < 0.05$,
 d: PAS vs ACT $p < 0.05$, e: PAS vs COMB $p < 0.05$, f: ACT vs COMB $p < 0.05$.

2. 3 EMG

RSA中のRMSには、一次および二次交互作用が認められなかった ($p>0.05$, 図3A)。RSA中のMDFに二次交互作用が認められたが ($p=0.001$, 図3B), 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。機器不良のため, 7名のデータを解析した。

2. 4 筋酸素動態

後半開始直前から後半終了における5秒ごとの筋酸素動態の変化を図4に示した。 Δ oxy-Hb および Δ total-Hb には交互作用が認められなかった ($p>0.05$)。 Δ deoxy-Hb ($p<0.001$) および SmO_2 ($p<0.001$) には交互作用が認められた。後半開始時の Δ deoxy-Hb には試行間の有意差が認められ, ACTおよびCOMB 試行はPAS 試行と比較し高値であったが ($p<0.05$)。後半中の Δ deoxy-Hb には試行間の有意差は認められなかった。後半開始時の SmO_2 には試行間の有意差が認められ, ACTお

よびCOMB 試行はCONおよびPAS 試行と比較して低値であったが ($p<0.05$)。後半中の SmO_2 には試行間の有意差は認められなかった。

2. 5 心拍数

後半開始直前から後半終了における5秒ごとの心拍数を図4に示した。心拍数には交互作用が認められた ($p<0.001$)。後半開始25秒前から後半開始後135秒後 (5本目のスプリント終了から15秒後) までの心拍数には試行間の有意差が認められ, ACTおよびCOMB 試行はCONおよびPAS 試行と比較し, 高値であった ($p<0.05$)。

2. 6 主観的指標

RPE ($p<0.001$) およびTS ($p<0.001$) に交互作用が認められた。HT15におけるRPEには試行間の有意差が認められ, ACTおよびCOMB 試行はCONおよびPAS 試行と比較し高値であった (CON: 9.4 ± 2.2 , PAS: 10.4 ± 1.6 , ACT: $14.5 \pm$

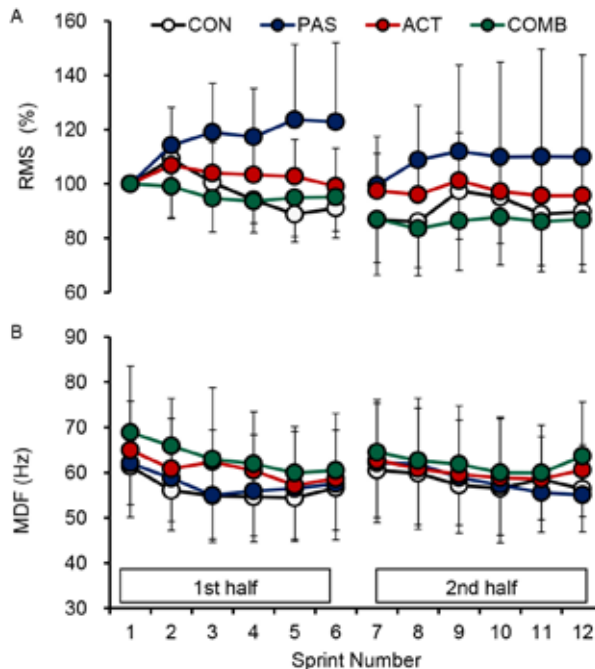


図3 各試行における二乗平均平方根 (A) および中央周波数 (B)
n = 7, 平均 ± 標準偏差。

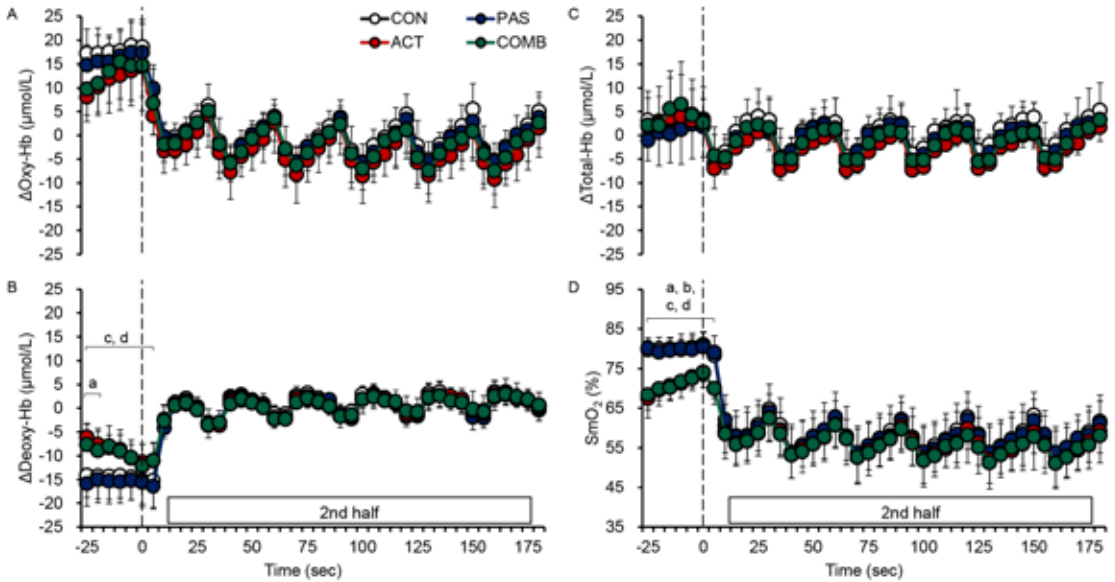


図4 後半における大腿直筋の酸素化 (A), 脱酸素化 (B) および総ヘモグロビン (C) 濃度の変化および筋酸素飽和度 (D) n = 8, 平均±標準偏差. a: CON vs ACT p < 0.05, b: CON vs COMB p < 0.05, c: PAS vs ACT p < 0.05, d: PAS vs COMB p < 0.05.

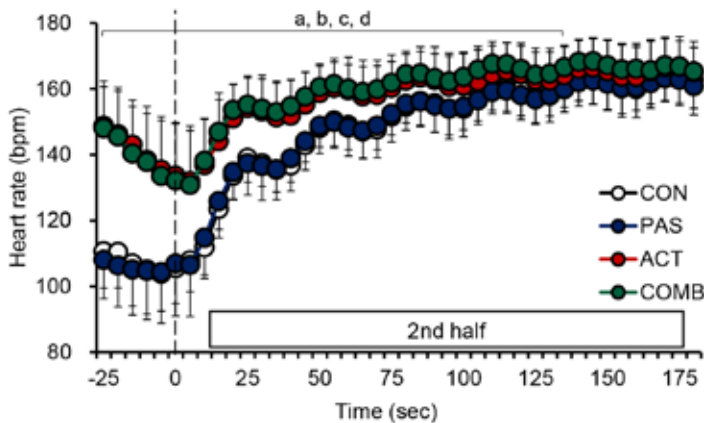


図5 後半における心拍数の変化

n = 10, 平均±標準偏差. a: CON vs ACT p < 0.05, b: CON vs COMB p < 0.05, c: PAS vs ACT p < 0.05, d: PAS vs COMB p < 0.05.

1.9, COMB: 14.3 ± 1.8, p<0.05). HT10 における TS には試行間の有意差が認められ, PAS および COMB 試行は CON および ACT 試行と比較し高値であった (CON: -0.2 ± 1.0, PAS: 2.8 ± 1.0, ACT: -0.4 ± 1.3, COMB: 3.4 ± 0.7, p<0.05). HT15 における TS には試行間の有意差が認められ, ACT および COMB 試行は CON 試行と比較し高値であり, COMB 試行は PAS 試行と比較し高値であった (CON: -1.2 ± 1.1, PAS: -0.6 ± 1.3, ACT: 0.7 ± 1.1,

COMB: 1.3 ± 1.3, p<0.05).

3. 考察

本研究では, 7.5分間の PAS, 1.5分間の ACT, COMB が後半の RSA に与える影響を検討することを目的とした. 本研究の結果, PAS, ACT, COMB のいずれかの介入を行うことで, 前半と比較した後半の RSA 低下を抑制できることが明らかとなった. 一方で, 先行研究で報告されてい

る15分間のPASによるハーフタイム中の胃腸温低下抑制⁷⁾や1分間・高強度のACTによる筋酸素動態の改善⁹⁾は、本研究では認められなかった。

ハーフタイム中にサバイバルジャケットを着用することで後半のRSAが維持されたことを報告している先行研究では、そのメカニズムとして胃腸温の低下抑制を報告している^{5,7)}。一方、本研究ではPASおよびCOMBにおける胃腸温の低下抑制が認められなかったにも関わらず、後半のRSAが維持された。これは、サバイバルジャケットの着用による平均皮膚温の上昇とそれに起因する神経伝達速度の向上¹⁶⁾に関連している可能性がある。先行研究によると、ウォーミングアップ後に皮膚温および筋温が高まることで神経伝達速度が加速し筋力発揮率とパワー出力が上昇することが報告されている¹⁷⁾。従って、本研究でも平均皮膚温の上昇とそれに起因する神経伝達速度の向上によって、RSAが維持された可能性がある。

本研究ではACTによるRSA低下抑制に関する明確なメカニズムを明らかにすることはできなかった。考えられるメカニズムとしては、Post-activation performance enhancement (PAPE) が考えられる¹⁸⁾。PAPEは、主運動前に行う高強度の随意的コンディショニング収縮によって主運動の運動パフォーマンスが向上することと定義されている¹⁸⁾。PAPEによる運動パフォーマンスの向上は、筋温および筋水分含有率、筋活性化の亢進（一部は動機づけによる）が関連していると考えられる¹⁸⁾。これらの変化は筋電図では検出されない可能性が示唆されており¹⁸⁾、今後の研究でより詳細なメカニズムの検討が望まれる。

本研究の限界点の一つは、筋温の測定ができていないことである。筋温はハーフタイム後の高強度運動パフォーマンスの低下と強く関連する因子であるため⁴⁾、今後の研究で調査する必要がある。二点目の限界点として、運動時間が短いことが挙げられる。実際のサッカー競技は90分間行われ

るため、より運動時間が長い場合でも同様の結果が得られるか検討する必要がある。

4. 結 論

本研究では、15分間のハーフタイム中に行うPAS, ACT, COMBがRSAに与える影響を検討した。その結果、PAS, ACT, COMBは前半と比較した後半のRSA低下を予防することが明らかとなった。

謝 辞

本研究に対して、助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深く感謝いたします。また、被験者として協力いただいた皆様に感謝いたします。

文 献

- 1) Chmura P., Konefał M., Chmura J., Kowalczyk E., Zajac T., Rokita A. et al., Match outcome and running performance in different intensity ranges among elite soccer players., *Biol. Sport*, 35:197–203 (2018)
- 2) Rampinini E., Bishop D., Marcora S.M., Ferrari Bravo D., Sassi R., Impellizzeri F.M., Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players., *Int. J. Sports Med.*, 28:228–35 (2007)
- 3) Bradley P.S., Sheldon W., Wooster B., Olsen P., Boanas P., Krstrup P., High-intensity running in English FA Premier League soccer matches., *J. Sports Sci.*, 27:159–68 (2009)
- 4) Mohr M., Krstrup P., Nybo L., Nielsen J.J., Bangsbo J., Muscle temperature and sprint performance during soccer matches - Beneficial effect of re-warm-up at half-time., *Scand. J. Med. Sci. Sport.*, 14:156–62 (2004)
- 5) Russell M., West D.J., Briggs M.A., Bracken R.M., Cook C.J., Giroud T. et al., A passive heat maintenance strategy implemented during a simulated half-time improves lower body power output and repeated sprint ability in professional

- Rugby Union players., *PLoS One.*, 10:1–10 (2015)
- 6) Edholm P., Krstrup P., Randers M.B., Half-time re-warm up increases performance capacity in male elite soccer players., *Scand. J. Med. Sci. Sport.*, 25:e40–9 (2015)
 - 7) Russell M., Tucker R., Cook C.J., Giroud T., Kilduff L.P., A comparison of different heat maintenance methods implemented during a simulated half-time period in professional Rugby Union players., *J. Sci. Med. Sport. Sports Medicine Australia*; 21:327–32 (2018)
 - 8) Towlson C., Midgley A.W., Lovell R., Warm-up strategies of professional soccer players: Practitioners' perspectives., *J. Sports Sci.*, 31:1393–401 (2013)
 - 9) Yanaoka T., Hamada Y., Fujihira K., Yamamoto R., Iwata R., Miyashita M. et al., High-intensity cycling re-warm up within a very short time-frame increases the subsequent intermittent sprint performance., *Eur. J. Sport Sci.*, 20:1307–17 (2020)
 - 10) Yanaoka T., Iwata R., Yoshimura A., Hirose N., A 1-minute re-warm up at high-intensity improves sprint performance during the Loughborough Intermittent Shuttle Test., *Front Physiol.*, 11:616158 (2021)
 - 11) Temfemo A., Bishop D., Merzouk A., Gayda M., Ahmaïdi S., Effects of prior exercise on force-velocity test performance and quadriceps EMG., *Int. J. Sports Med.*, 27:212–9 (2006)
 - 12) Ramanathan N.L., A new weighting system for mean surface temperature of the human body., *J. Appl. Physiol.*, 19:531–3 (1964)
 - 13) Niwayama M., Suzuki H., Yamashita T., Yasuda Y., Error factors in oxygenation measurement using continuous wave and spatially resolved near-infrared spectroscopy., *J. Japanese Coll. Angiol.*, 52:211–5 (2012)
 - 14) Borg G.A., Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 14:377–81 (1982)
 - 15) Olesen B.W., Brager G.S., A better way to predict comfort: the new ASHRAE standard 55-2004., *ASHRAE J.*, 8:20–6 (2004)
 - 16) Kelly R., Beehn C., Hansford A., Westphal K.A., Halle J.S., Greathouse D.G., Effect of fluidotherapy on superficial radial nerve conduction and skin temperature., *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 35:16–23 (2005)
 - 17) McGowan C.J., Pyne D.B., Thompson K.G., Rattray B., Warm-up strategies for sport and exercise: Mechanisms and applications., *Sport Med. Springer International Publishing*; 45:1523–46 (2015)
 - 18) Blazeovich A.J., Babault N., Post-activation Potentiation Versus Post-activation Performance Enhancement in Humans: Historical Perspective, Underlying Mechanisms, and Current Issues., *Front Physiol.*, 10:1359 (2019)