

運動中の認知的負荷の増大が高強度インターバル運動の遂行能力に及ぼす影響

白井祐介¹⁾・鍋倉賢治²⁾・日浦幹夫³⁾¹⁾ 東海学園大学スポーツ健康科学部 助教²⁾ 筑波大学体育系 教授³⁾ 青森大学経営学部 教授

1. はじめに

サッカーやハンドボールといった球技系のチームスポーツにおいて、プレーヤーはスプリント走に代表される短時間の高強度運動を繰り返している (Mohr *et al.*, 2003). 短時間のスプリント運動を繰り返して遂行する能力は、連続スプリント能力 (Repeated sprint ability: RSA) と呼ばれ、球技系のチームスポーツにおいて重要な体力要因であることが示されている (Bishop *et al.*, 2011). これまでにいくつかの先行研究によって、RSA は最大酸素摂取量 (VO_{2max}), すなわち動員されている筋群に酸素を供給する能力の影響を受けることが指摘されている (McMahon & Wenger, 1998; da Silva *et al.*, 2010; Jones *et al.*, 2013; Kinoshita *et al.*, 2017). Kinoshita *et al.* (2017) は、球技系チームスポーツの競技形態を勘案しハーフタイムで区切った前半および後半において、自転車運動による RSA の変化について検討をしている。その結果、 VO_{2max} (有酸素生能力) が高い被験者では、ハーフタイムにおいて血中乳酸濃度が素早く低下し、前半と比較して後半における最高パワーの有意な低下が認められなかったことを報告している。このように、先行研究では、有酸素性能力などの生理学的要因と RSA の関係について検討されている。しかし、球技系チームスポーツの競技場面に着目すると、プレーヤーはボールや選手の動きに注意を向けつつ、スプリント運動を繰り返しており、認知課題と運動課題を同時または時間的重なりを持ちつつ遂行するデュアルタスク条件において連続スプリント運動を繰り返していると考えられる。そのため、球技系チームスポーツの体力特性を評価する際には、認知課題を付加した条件下において RSA の評価が有効である可能性が考えられる。

運動または認知課題を遂行する際には、脳内での情報処理が要求される (制御負荷)。そのため、2 つの課題を同時に遂行する場合、脳内の利用可能な注意資源 (制御容量) がそれぞれの課題に配分される。このとき、要求される制御負荷が脳内で利用可能な制御容量を上回る場合には、情報処理が干渉され、課題成績の低下 (デュアルタスク干渉) が生じるとされている (Wulf, 2007)。しかし、このデュアルタスク干渉の程度は、未熟練者と比較して熟練者で低下することが報告されている。Smith and Chamberlin (1992) は、熟練度の異なるサッカー選手を対象として、スラローム走にドリブル課題または幾何学図形を認識する課題を付加した。その結果、課題が付加されることによってスラローム走のパフォーマンスが低下したことで、さらに、その低下の程度は熟練度が高くなるほど小さかったことを報告している。さらに、こうしたデュアルタスク干渉には前頭前野の脳活動レベルが関与することが示唆されている。すなわち、複数の課題を遂行するために必要な制御負荷が制御容量を超えない範囲であれば、前頭前野の過剰活性による代償性のメカニズムが働くことで脳が賦活するが、制御負荷が制御容量および代償性メカニズムの上限を超える場合には前頭前野の遂行機能が低下し、脳の賦活も低下すると考えられている (Mattay *et al.*, 2006; Reuter-Lorenz & Cappell, 2008)。これらの点から、認知課題も付加した条件で評価した RSA

は、運動課題のみの条件で評価した RSA よりも低下すること、さらに、その低下の程度には前頭前野の脳活動レベルが関与する可能性が考えられた。

そこで本研究は、運動中の認知的負荷の増大が RSA および前頭前野の脳活動レベルに及ぼす影響を明らかにすることを目的として、運動のみ条件および運動と認知課題を同時に遂行する条件において RSA を評価するとともに、近赤外線組織酸素モニタを用いて前頭前野における脳酸素動態を測定した。

2. 研究方法

2.1. 被験者

本研究には、日常的な運動習慣を有する成人男性 3 名および女性 1 名が参加した (身長: 165.9 ± 11.8 cm, 体重: 68.5 ± 15.9 kg, 年齢: 23.3 ± 7.2 歳, BMI: 24.6 ± 2.8)。被験者には、事前に研究の目的、方法および実験参加に伴う危険性について口頭および文書を用いて説明し、実験参加の同意を得ることでインフォームドコンセントを実施した。

2.2. 実験装置

2.2.1. 自転車エルゴメータ

本研究における全ての運動負荷試験は、摩擦抵抗型の自転車エルゴメータ (Ergomedic 873 E, Monark) を用いて実施した。また、当該の自転車エルゴメータは、運動中のペダル回転数を記録することができないため、本研究助成金の一部を当て、外部制御装置およびソフトウェア (竹井機器工業, 図 1) の作成を依頼した。自転車エルゴメータのフライホイールの回転数を次期センサーによって検出し、外部制御装置を介してペダル回転数をパーソナルコンピュータに取り込んだ。

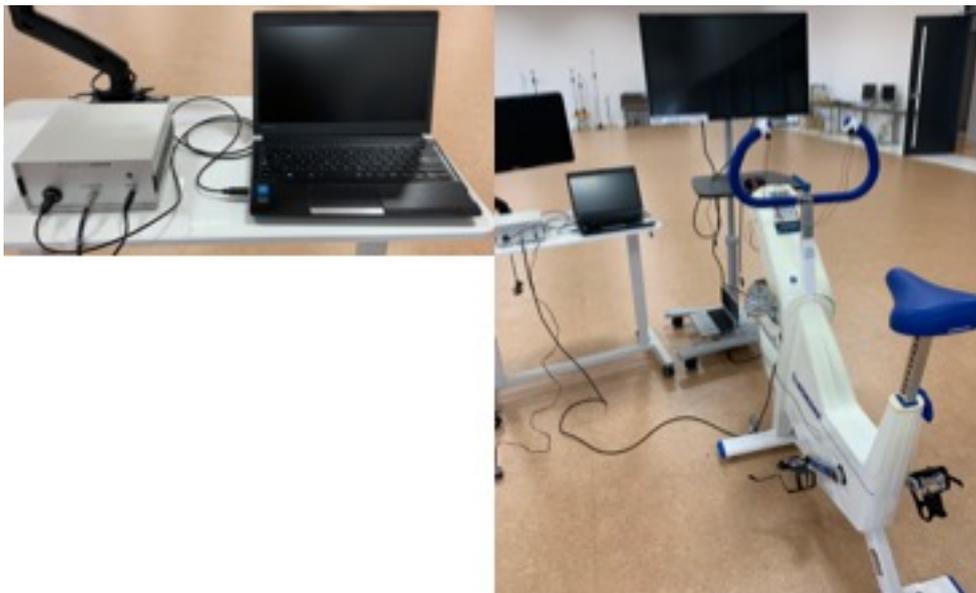


図 1. 自転車エルゴメータおよびペダル回転数を測定するための外部制御装置。

2.2.2. 近赤外線組織酸素モニタ

本研究では、前頭前野における局所酸素飽和度を測定するために近赤外線組織酸素モニタを用

いた。本研究で用いた近赤外線組織酸素モニタ (tNIRS, 浜松ホトニクス) は、波長の異なる 3 種類の近赤外線光 (755nm, 816 nm および 850 nm) を測定対象となる部位に対して照射し、受光部で捉えた透過光から酸素化ヘモグロビン濃度、脱酸素化ヘモグロビン濃度および組織酸素飽和度を測定している。その際、tNIRS では照射する光に短パルス光を用いることで、透過光の時間応答波形を測定している (時間分解分光法, Time resolved spectroscopy: TRS 法)。この TRS 法は、透過光の光強度から各指標を測定する従来の方法 (modified Lambaert-Beer: MLB 法や空間分解分光 (Space resolved spectroscopy: SRS) 法) よりも定量性および再現性に優れるとされている。そこで本研究では、多くの先行研究にみられるような安静状態を基準とした変化量としての表記ではなく、得られた測定値を絶対値で表記することとした。

2.3. 実験手順

被験者は 3 日間の異なる実験日に来室し各測定に参加した。1 日目にはストロープ課題の練習試行および漸増負荷テストを実施した。2 日目および 3 日目には RSA テストを実施した。その際、運動のみを実施する条件 (Exercise: EX 条件) と、休息時間内にストロープ課題に回答しつつ運動を実施する条件 (Exercise and stroop task: EX+STRP 条件) を被験者毎に実施順序がランダムになるように実施した。各実験日の間隔は 48 時間以上とし、実験前日から激しい運動およびアルコールの摂取を禁止した。また、実験当日は、カフェインを含む飲料の摂取を禁止し、実験開始時刻の 2 時間前までに軽食を済ませるよう指示した。実験開始時刻は、被験者内で統一した。

2.3.1. 漸増負荷テスト (1 日目)

Color word match stroop (CWMS) 課題の練習試行を実施した後に、15 分間の休息を挟み漸増負荷テストを実施した。CWMS 課題の練習試行は 30 問を 1 セットとして、被験者が課題に十分に習熟するまで繰り返した。CWM 課題に対する習熟の基準として、連続する 3 セットの反応時間の変動係数を用いた。すなわち、反応時間の変動係数が 5% 未満に収束したことが確認できた場合に、十分に習熟したと判断し練習試行を終了させた (2.3.3. CWM 課題を参照)。

漸増負荷テストでは、初期負荷 (1.0 kp) で 2 分間の運動を行なわせ、その後、1 分毎に負荷を増加させた。負荷の増加量は被験者の体重および体力レベルを参考に験者が決定した (0.2~0.4 kp)。被験者にはメトロノームに合わせて 60 rpm でペダリングを継続するよう指示し、被験者がペダル回転数を維持できなくなった時点で運動を終了させた。

運動中の心拍数を測定するために、被験者に心拍センサー (H10 Heart rate sensor, Polar) を装着させた。心拍数のデータは、5 秒毎の平均値で測定および記録し、その最大値を最高心拍数 (HR_{max}) とした。運動中の呼気ガスは、生態ガス分析用質量分析装置 (ARCO-2000, アルコシステム) を用いて分析し、運動中の換気量 (Ventilation volume: \dot{V}_E)、酸素摂取量 (Oxygen uptake: $\dot{V}O_2$)、二酸化炭素排出量 (Carbodeoxide output: $\dot{V}CO_2$) を breath-by-breath 法によって測定した。これらのガス交換諸量について、各ステージの後半 30 秒間の平均値を測定値として採用した。 $\dot{V}O_2$ について 30 秒間の移動平均値を算出し、以下に示した基準のうち 3 つ以上を満たす場合に最大酸素摂取量 (Maximal oxygen uptake: $\dot{V}O_{2max}$) とした。1) $\dot{V}O_2$ の Leveling-off が観察されたこと、2) 呼吸交換比が 1.05 を超えていること、3) HR_{max} が年齢から推定した最高心拍数 (220-年齢) の 95% 以上に到達していること、4) 最高血中乳酸濃度が 8 mmol/L 以上であること。漸増負荷テストの最大遂行負荷 (kp_{peak}) は以下の式によって算出した。

$$kp_{peak} = kp_{comp} + \Delta kp \cdot (T/60) \quad (1)$$

このとき kp_{comp} は 1 分間漕ぎきることができた最大負荷, Δkp はステージ間の負荷の増加量, T はオールアウトに至ったステージにおける運動時間を表す.

VT を判定するために, 各運動負荷ステージの後半 20 秒間のガス交換諸量の平均値を算出した. VT は, 運動負荷と換気量の直線関係の最初の変曲点とし, さらに, $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ が増加し始めていること, $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ が増加し始めていないことを基準に 2 名の験者が判定した.

2.3.2. RSA テスト (2 日目および 3 日目)

RSA テストでは, 10 秒間の全力スプリント運動を前半 (7 セット) および後半 (7 セット) に分けて実施した. また, 前半と後半の間には 7 分間の休息時間を設けた. 被験者は実験室に来室後にウォーミングアップを開始した. ウォーミングアップは 10 分間とし, 最大下強度 (1 kp, 60 rpm) での自転車運動を行わせた. なお, 5 日目および 6 日目には 10 秒間の全力ペダリング (2 kp) を行なわせた.

RSA テスト時の負荷は体重の 9% とし, 1 セットは 10 秒間の全力スプリント運動と 50 秒間の休息によって構成した. 休息は, 5 秒間の消極的休息, 40 秒間の積極的休息 (60 rpm での空漕ぎ), 5 秒間の消極的休息によって構成した. 全力スプリント運動後および直前の消極的休息は, それぞれ回転板の回転数を減速させるためおよび次のスプリント運動の準備を行なうために設けた. 被験者には, 全力スプリント運動開始 2 秒前からペダリングを開始させ, ペダル回転数が 100 rpm を超えたことを確認してから負荷を与えた. また, 被験者には, 体力を温存せずに各セットに全力で取り組むこと, サドルに着座した状態で運動を行なうことを指示した. 運動中は漸増負荷テストと同様の方法で心拍数およびガス交換諸量を測定した.

運動中のペダル回転数は 5 Hz で測定し, 測定データをパーソナルコンピュータに保存した. 得られたデータから, 各セットにおける発揮パワーの最高値 (最高パワー), 10 秒間の平均パワー (平均パワー) および仕事量を算出した. さらに, RSA を反映する測定項目として, 1) 総仕事量: 前半, 後半, または全体における仕事量の合計, 2) 最高パワーの最大値: 前半, 後半または全体で得られた最高パワーの最大値, 3) %DS: 前半, 後半または全体における最高パワーの低下率を算出した. なお, %DS は前半, 後半または全体における最高パワーの最大値に対して, 各セットで得られた最高パワーの減少率を表すものであり, Bishop and Spencer (2004) に倣い以下の式を用いて算出した.

$$\%DS = 100 - (\text{sum of peak power} / \text{maximal peak power} \times \text{num of set}) \quad (2)$$

このとき, sum of peak power は各セットにおける最高パワーの合計, maximal peak power は最高パワーの最大値, num of set は分析対象となるセット数 (前半または後半のみであれば 7, 全体であれば 14) を表す.

2.3.3. Color word match stroop (CWMS) 課題

本研究では認知課題として Color word match stroop (CWMS) 課題を採用した. CWMS 課題は,

自転車エルゴメータの正面に設置したディスプレイに提示し、被験者にはハンドルに設置したスイッチを介して回答を行なうよう指示した。提示される刺激は、Neutral 刺激、Congruent 刺激および Incongruent 刺激によって構成された。Neutral 刺激では、画面の上段に記号 (XXX) が赤色、青色、黄色または緑色で提示した。Congruent 刺激では、画面の上段に”あか”, ”あお”, ”きいろ”, または”みどり” の文字を、それぞれの単語の意味と同じ色で提示した。Incongruent 刺激では、画面の上段に”あか”, ”あお”, ”きいろ”, または”みどり” の文字を、それぞれの単語の意味とは異なる色で提示した。いずれの刺激に対しても、被験者には上段で使用されている色と、画面の下段に白色で提示された色名单語の意味が一致しているかを回答させた。出題間隔は 5 秒間とし、反応時間が 200 msec 未満の場合には、提示された刺激を適切に認知処理していない可能性があり、また、反応時間が 1500 msec 以上の場合には、提示された刺激を見逃していた可能性があることから、これらの結果を除外し平均反応時間を算出した。

3. 結果

3.1. 漸増負荷テスト

表 1 に漸増負荷テストで得られた結果を示した。体重あたりの $\dot{V}O_{2max}$ は、3 名の被験者 (Sub-A, B および C) において 50 mL/kg/min を上回っており、持久能力が比較的高い被験者が含まれていたと考えられた。また、各被験者の VT はおよそ 75 % $\dot{V}O_{2max}$ に相当しており、有酸素性能力はほぼ等質であったと推察された。

表 1. 漸増負荷テストの結果.

	Sub-A	Sub-B	Sub-C	Sub-D	Mean ± SD
HRmax (beats/min)	194.7	179.7	178.7	185.8	184.7 ± 7.4
$\dot{V}O_{2max}$ (mL/min)	3228.5	4719.0	2564.8	3085.0	3399.3 ± 924.8
$\dot{V}O_{2max}/BW$ (mL/kg/min)	54.4	55.7	50.3	39.1	49.9 ± 7.6
kp at $\dot{V}O_{2max}$	4.0	6.5	3.4	4.6	4.6 ± 1.3
kp _{peak}	4.3	6.5	3.4	4.2	4.6 ± 1.3
kp at VT	3.1	3.1	2.6	3.0	3.0 ± 0.2
$\dot{V}O_2$ at VT	2439.5	3501.8	1969.8	2328.8	2559.9 ± 659.1

HRmax: 最大心拍数, $\dot{V}O_{2max}$: 最大酸素摂取量, $\dot{V}O_{2ma}/BW$: 体重あたりの最大酸素摂取量, kp at

$\dot{V}O_{2ma}$: 最大酸素摂取量出現時の負荷, kp_{peak}: 最大遂行負荷, kp at VT: 換気性閾値時の負荷, $\dot{V}O_2$

at VT: 換気性閾値時の酸素摂取量を表す.

3.2. RSA テスト

3.2.1. パフォーマンス指標および生理学的指標

表 2 および図 2 に EX 条件および EX+STRP 条件における RSA テストのパフォーマンス指標および生理学的指標の結果を示した。最高パワーの最大値は、EX 条件および EX+STRP 条件のいずれに

においても、前半（1セット目から7セット目）と比較して後半（8セット目から14セット目）で低い値を示し、3名の被験者において同様の傾向が確認された。さらに、EX条件と比較して、EX+STRP条件では、前半、後半および全体において最高パワーの最大値が低い値を示し、同様の傾向が3名の被験者で確認された。総仕事量は、いずれの条件においても前半と比較して後半で低い値を示し、同様の傾向が全ての被験者で確認された。また、EX条件と比較して、EX+STRP条件では前半、後半および全体における総仕事量が低い値を示し、同様の傾向が全ての被験者において確認された。%DSは、いずれの条件においても前半と後半で著しい差は認められなかったものの、条件間で比較するとEX+STRP条件において高い値を示しており、同様の傾向が3名の被験者において確認された。

表 2. RSA テストにおけるパフォーマンス指標および生理学指標の結果。

	EX	EX+STRP
Maximal peak PO (W)		
First (#1-7, W)	824.6 ± 233.1	768.7 ± 256.2
Second (#8-14, W)	795.6 ± 194.6	785.5 ± 261.8
Total (#1-14, W)	827.2 ± 231.0	787.1 ± 262.6
Total work		
First (#1-7, kJ)	43.0 ± 10.0	39.6 ± 9.8
Second (#8-14, kJ)	38.6 ± 5.6	36.4 ± 5.7
Total (#1-14, kJ)	81.6 ± 15.4	75.9 ± 15.2
Percentage decrement (%DS)		
First (#1-7, %)	5.6 ± 2.9	6.6 ± 1.0
Second (#8-14, %)	5.5 ± 2.2	7.1 ± 3.3
Total (#1-14, %)	7.0 ± 3.7	8.0 ± 3.2
Percent heart rate max		
First (#1-7, %HRmax)	82.3 ± 3.0	80.6 ± 6.5
Second (#8-14, %HRmax)	85.8 ± 2.0	84.9 ± 5.3
Total (#1-14, %HRmax)	84.0 ± 2.4	82.8 ± 5.7
Percent maximal oxygen uptake		
First (#1-7, %VO _{2max})	63.6 ± 7.6	60.3 ± 5.9
Second (#8-14, %VO _{2max})	62.8 ± 5.4	61.9 ± 5.3
Total (#1-14, %VO _{2max})	63.1 ± 6.4	60.9 ± 5.4
Blood lactate concentration		
Pre (mmol/L)	2.5 ± 1.2	1.8 ± 0.2
After #7 (mmol/L)	12.9 ± 1.3	10.7 ± 4.5
Before #8 (mmol/L)	11.5 ± 1.6	10.5 ± 4.9
After #14 (mmol/L)	13.5 ± 1.4	10.8 ± 4.8

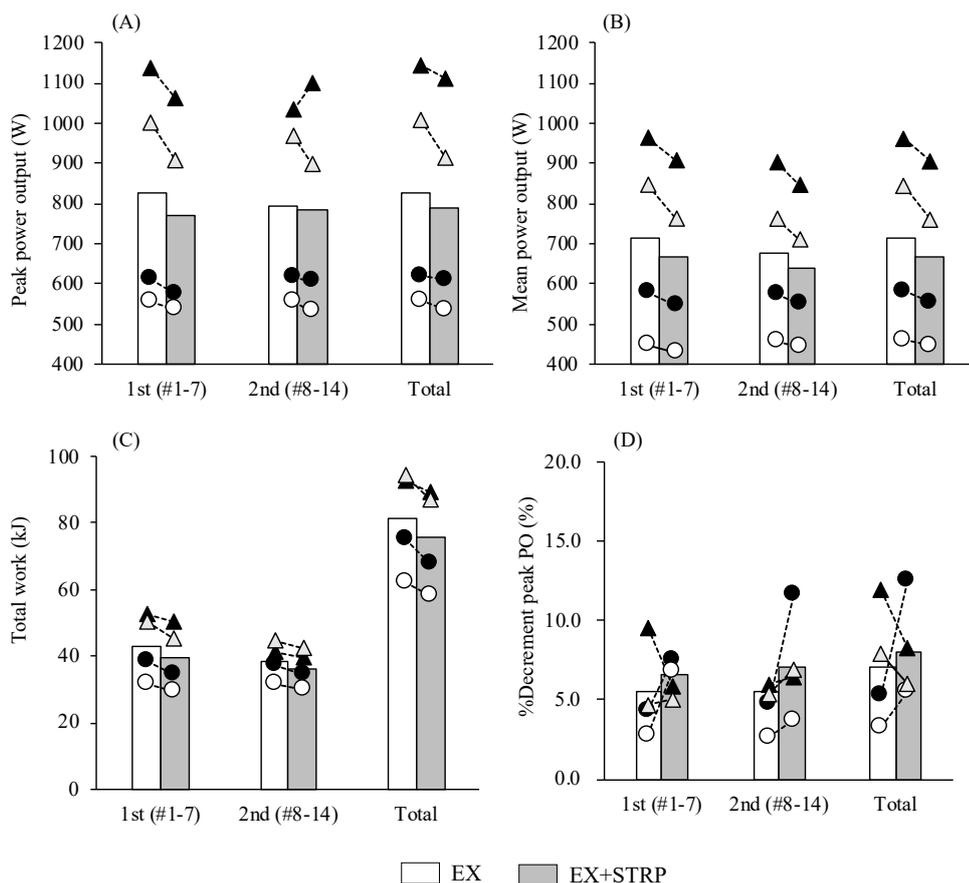


図 2. RSA テストにおけるパフォーマンス関連指標の結果。

最高パワー (A), 平均パワー (B), 総仕事量 (C), および%DS (D) について, 前半 (第 1 セット~第 7 セット), 後半 (第 8 セット~第 14 セット), および全体 (第 1 セット~第 14 セット) に分けて示した. いずれも白色の帯が EX 条件, 灰色の帯が EX+STRP 条件の平均値を示し, 各被験者の値はプロットで示した.

3. 2. 2. Color word match stroop(CWMS) 課題

図 3 に CWMS 課題に対する反応時間を示した. なお, 本研究では練習試行における最後の 3 セットで得られた反応時間の平均値を安静時 (ストロップ課題のみを実施した場合) の値として採用している. また, EX+STRP 条件では前半のセット (第 1 セット~第 7 セット) および後半のセット (第 8 セット~第 14 セット) で得られた反応時間の平均値を, それぞれ前半および後半の値として採用している. Neutral 刺激, Congruent 刺激および Incongruent 刺激のいずれにおいても, 安静時と比較して, RSA テスト中の反応時間は遅延することが確認された. しかし, 前半および後半において比較すると, 前半および後半を通して反応時間の遅延を示す被験者, 前半と比較して後半において反応時間が短縮した被験者や遅延した被験者などが認められ, その変化には大きな個人差が認められた

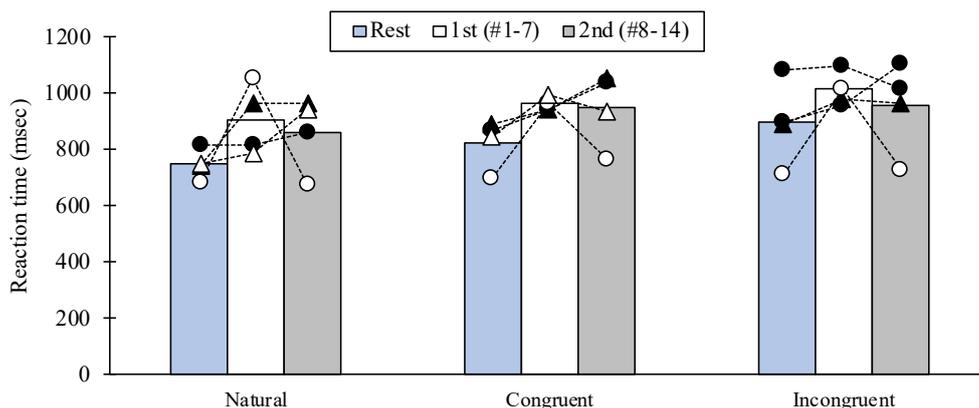


図 3. CWMS 課題に対する反応時間.

Neutral 刺激, Congruent 刺激および Incongruent 刺激に対する反応時間を示した. いずれも, 安静時の平均値を青色, EX+STRP 条件における前半 (第 1 セット~第 7 セット) の平均値を白色, 後半 (第 8 セット~第 14 セット) の平均値を灰色の帯で示し, 各被験者の値はプロットで示した.

3. 2. 3. NIRS 関連指標

図 4 に RSA テストにおける酸素化ヘモグロビン濃度, 脱酸素化ヘモグロビン濃度, 総ヘモグロビン濃度および組織酸素飽和度の生データを 1 名の被験者の代表例にて示した. いずれの指標においても全力運動, 消極的休息, 積極的休息に起因すると考えられる周期的な変化を示すことが確認された. 酸素化ヘモグロビン濃度については, 運動開始直後から増加傾向を示すものの, 第 1 セットから第 7 セットにかけて減少傾向を示した. さらに, その後の休息时间において, 増加傾向を示したものの, 第 8 セットから第 14 セットにかけて比較的低い値で推移することが確認された. 脱酸素化ヘモグロビン濃度については, 第 1 セットから第 7 セットにかけて増加傾向を示し, その後の休息时间において低下傾向を示したものの, 第 8 セットから第 14 セットにかけて増加傾向を示すことが確認された. 総ヘモグロビン濃度については, 運動開始前の安静時と比較して, テスト全体を通して緩やかな増加傾向を示すことが確認された. 組織酸素飽和度については, 第 1 セット開始直後から増加傾向を示した後に, 第 7 セットまで減少傾向を示した. さらに, 休息时间内において増加傾向を示した後に, 第 8 セットから第 14 セットにかけて再度減少傾向を示した.

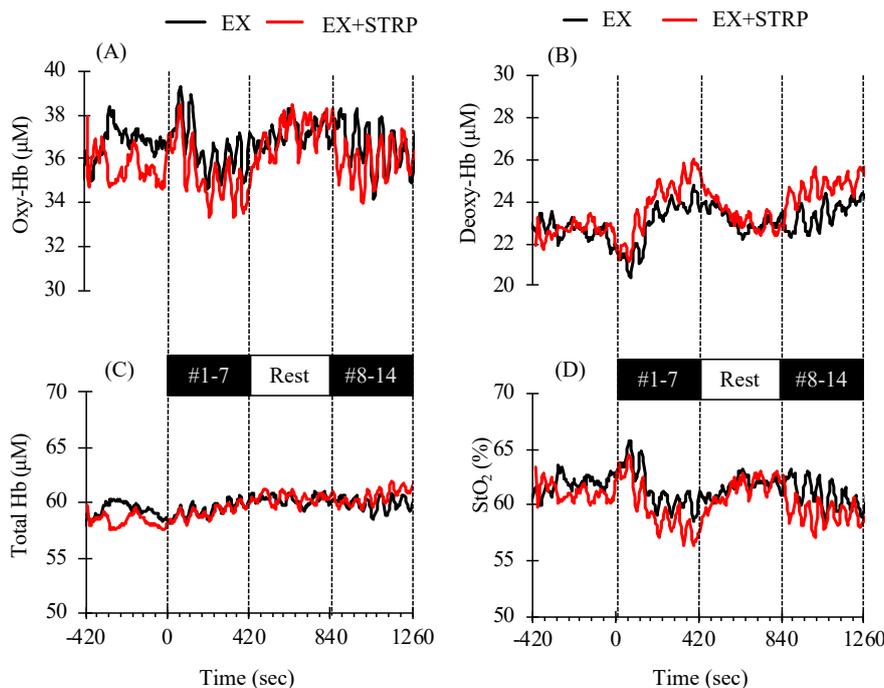


図 4. RSA テストにおける酸素化ヘモグロビン濃度，脱酸素化ヘモグロビン濃度，総ヘモグロビン濃度および組織酸素飽和度の変化 (代表例).

4. 考察

本研究の目的は，RSA テスト中の認知的負荷の増大が各パフォーマンス指標に及ぼす影響を明らかにすることであった。この目的を達成するために，本研究では 10 秒間の全力スプリント運動を 14 秒とに渡って繰り返す RSA テストを，運動のみを実施する EX 条件および休息時間に CWMS 課題を実施する EX+STRP 条件の 2 条件で実施し，各パフォーマンス指標について比較検討した。さらに，RSA テスト中の認知的負荷の増大が前頭前野の脳酸素動態に及ぼす影響を検討するために，近赤外線組織酸素モニタを用いて酸素化ヘモグロビン濃度，脱酸素化ヘモグロビン濃度，総ヘモグロビン濃度および組織酸素飽和度についても測定した。本研究の結果から，認知的負荷の増大は RSA テストにおけるパフォーマンスの低下，すなわち最高パワー，平均パワーおよび総仕事量の低下および %DS の増加を引き起こす可能性が示唆された。また，CWMS 課題の反応時間は，Neutral 刺激，Congruent 刺激および Incongruent 刺激のいずれにおいても運動中に遅延することが確認された。さらに，認知的負荷の増大に伴って各ヘモグロビン濃度の上昇，組織酸素飽和度の低下が観察された。

これまでに多くの先行研究によって運動と認知機能の関係が検討されてきた。それらは，健康増進という観点から，運動が認知機能を向上させるかを検討したものが多く，実際に適度な運動により脳機能，特に目標に到達するために計画を立案し，行動や思考を制御する高次認知機能 (実行機能) が改善することが報告されている (Ludyga *et al.*, 2016)。一方，高強度運動を用いた場合，認知課題の誤答率が上昇すること，すなわち認知機能が低下することが報告されている (Labelle *et al.*, 2013)。本研究においても CWMS 課題への反応時間が，安静時と比較して RSA テストにおいて低下することが確認された。本研究のような高強度運動時に認知課題成績の低下がみられた要因として，注意の分配や覚醒レベルが関与している可能性がある。本研究における EX+STRP 条件のように運動課題と認知課

題の両方を遂行するデュアルタスク条件下では、注意資源の配分が行なわれる (Pontifex & Hillman, 2007). これまでに、歩行時のデュアルタスク遂行時において前頭前野が活性化すること (Doi *et al.*, 2013) が報告されており、注意資源の配分には前頭前野の機能が関与することが示唆されている。一方、運動によって脳で生じる変化の一つに脳の組織酸素飽和度の低下が挙げられる。自転車運動のようなダイナミックかつ動員筋量が多い運動様式を用いた先行研究では、被験者が疲労困憊に至る直前に前頭前野の酸素飽和度の低下が報告されている (Shibuya *et al.*, 2004; Bhambhani *et al.*, 2007). Rupp and Perrey (2008) は、漸増負荷運動中の前頭前野および外側広筋の組織酸素飽和度を連続的に測定し、疲労困憊に至る直前には、外側広筋よりも前頭前野における酸素飽和度の低下が観察されたことから、疲労の出現に先立ち脊髄上位における機能または活動の低下が生じることを示唆している。本研究においても、EX 条件および EX+STRP 条件のいずれにおいても、セット数の増加に伴い組織酸素飽和度の低下が観察された。さらに、条件間の差に着目すると、特にテスト後半 (第 8 セット～第 14 セット) において、EX 条件と比較して EX+STRP 条件において組織酸素飽和度が低い値を示す被験者が確認された。これらのことから、EX+STRP 条件では、高強度運動によって全体的な脳の酸素不足が引き起こされることに加えて、CWMS 課題を遂行することにより前頭前野の神経活動が高まり、その神経活動に十分な酸素が供給されず組織酸素飽和度が低下していた可能性がある。その結果、前頭前野の機能が低下したことによって、注意資源が適切に配分されないことによって認知成績および運動成績の低下が生じていた可能性が考えられる。

本研究は、球技系種目に代表される運動課題と認知課題を同時に遂行する競技場面において、認知的負荷の増大が、運動成績および脳酸素動態に及ぼす影響を検討したものであるが、得られた結果を解釈する際には、十分なサンプルサイズが得られていないことに十分に注意する必要がある。今後は、球技系競技者と持久系競技者のように体力特性が異なる被験者を対象としてサンプルサイズを増やすことによって、球技系競技者の体力および認知機能特性を明らかにできると考えられる。また、本研究のプロトコルでは、発汗が近赤外線組織酸素モニタの測定値に及ぼす影響を最小限に留めるために、RSA テストのセット数を比較的少なく設定している点についても注意が必要である。

5. まとめ

RSA テスト時における認知的負荷の増大は、最高パワー、平均パワーおよび総仕事量の低下および %DS の増加を引き起こす可能性があった。また、認知的負荷の増大によって、酸素化ヘモグロビン濃度、脱酸素化ヘモグロビン濃度、総ヘモグロビン濃度の増加、および組織酸素飽和度の低下が生じる可能性があった。今後、サンプルサイズを増やし、各項目間の関連についても検討を行なうことによって、認知的負荷の増大が RSA テストのパフォーマンスに及ぼす影響について脳活動レベルから検討を行なうことが可能であると考えられる。

References

- Bhambhani, Y., Malik, R. & Mookerjee, S. (2007) Cerebral oxygenation declines at exercise intensities above the respiratory compensation threshold. *Respir. Physiol. Neurobiol.*, **156**, 196-202.
- Bishop, D., Girard, O. & Mendez-Villanueva, A. (2011) Repeated-sprint ability - part II: recommendations

- for training. *Sports Med.*, **41**, 741-756.
- Bishop, D. & Spencer, M. (2004) Determinants of repeated-sprint ability in well-trained team-sport athletes and endurance-trained athletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, **44**, 1-7.
- da Silva, J.F., Guglielmo, L.G. & Bishop, D. (2010) Relationship between different measures of aerobic fitness and repeated-sprint ability in elite soccer players. *J. Strength Cond. Res.*, **24**, 2115-2121.
- Doi, T., Makizako, H., Shimada, H., Park, H., Tsutsumimoto, K., Uemura, K. & Suzuki, T. (2013) Brain activation during dual-task walking and executive function among older adults with mild cognitive impairment: a fNIRS study. *Aging Clin. Exp. Res.*, **25**, 539-544.
- Jones, R.M., Cook, C.C., Kilduff, L.P., Milanovic, Z., James, N., Sporis, G., Fiorentini, B., Fiorentini, F., Turner, A. & Vuckovic, G. (2013) Relationship between repeated sprint ability and aerobic capacity in professional soccer players. *ScientificWorldJournal*, **2013**, 952350.
- Kinoshita, N., Takayama, F. & Nabekura, Y. (2017) The Relationship between Aerobic Fitness and Change in Repeated Sprint Ability before and after a Half-time. *International Journal of Sport and Health Science*, **15**, 104-110.
- Labelle, V., Bosquet, L., Mekary, S. & Bherer, L. (2013) Decline in executive control during acute bouts of exercise as a function of exercise intensity and fitness level. *Brain Cogn.*, **81**, 10-17.
- Ludyga, S., Gerber, M., Brand, S., Holsboer-Trachsler, E. & Puhse, U. (2016) Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness groups: A meta-analysis. *Psychophysiology*, **53**, 1611-1626.
- Mattay, V.S., Fera, F., Tessitore, A., Hariri, A.R., Berman, K.F., Das, S., Meyer-Lindenberg, A., Goldberg, T.E., Callicott, J.H. & Weinberger, D.R. (2006) Neurophysiological correlates of age-related changes in working memory capacity. *Neurosci. Lett.*, **392**, 32-37.
- McMahon, S. & Wenger, H.A. (1998) The relationship between aerobic fitness and both power output and subsequent recovery during maximal intermittent exercise. *J. Sci. Med. Sport*, **1**, 219-227.
- Mohr, M., Krustup, P. & Bangsbo, J. (2003) Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J. Sports Sci.*, **21**, 519-528.
- Pontifex, M.B. & Hillman, C.H. (2007) Neuroelectric and behavioral indices of interference control during acute cycling. *Clin. Neurophysiol.*, **118**, 570-580.

- Reuter-Lorenz, P.A. & Cappell, K.A. (2008) Neurocognitive Aging and the Compensation Hypothesis. *Curr. Dir. Psychol. Sci.*, **17**, 177-182.
- Rupp, T. & Perrey, S. (2008) Prefrontal cortex oxygenation and neuromuscular responses to exhaustive exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **102**, 153-163.
- Shibuya, K., Tanaka, J., Kuboyama, N., Murai, S. & Ogaki, T. (2004) Cerebral cortex activity during supramaximal exhaustive exercise. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, **44**, 215-219.
- Smith, M.D. & Chamberlin, C.J. (1992) Effect of adding cognitively demanding tasks on soccer skill performance. *Percept. Mot. Skills*, **75**, 955-961.
- Wulf, G. (2007) *Attention and Motor Skill Learning*. Human Kinetics.