

中京大学博士審査学位論文
大学院体育学研究科

間欠的短時間高強度運動における
パフォーマンスの維持に最適なリカバリー方法

2014年3月19日学位授与
大家 利之

本論文は以下の 2 編の論文に基づいて構成されている。

1. 大家 利之, 荒牧 勇, 北川 薫 (2013) : 間欠的短時間高強度運動におけるアクティブリカバリーとパッシブリカバリーがパフォーマンスと筋の酸素化に及ぼす影響.
体育学研究. 印刷中. (第 2 章を構成)
2. Ohya, T., Aramaki Y., Kitagawa, K. (2013) : Effect of duration of active or passive recovery on performance and muscle oxygenation during intermittent sprint cycling exercise.
Int. J. Sports Med. 34: 616-622. (第 3 章を構成)

目次

第 1 章 序

第 1 節 研究小史	5
第 2 節 ゴール型球技選手の試合中の動きの特徴	10
第 3 節 問題の所在と研究の目的	11

第 2 章 間欠的短時間高強度運動におけるリカバリー期の運動強度の違いがパフォーマンスと筋の酸素化に及ぼす影響

1. 目的	14
2. 方法	14
3. 結果	19
4. 考察	24
5. 小括	27

第 3 章 間欠的短時間高強度運動におけるリカバリー時間の違いがパフォーマンスと筋の酸素化に及ぼす影響

1. 目的	29
2. 方法	29
3. 結果	32
4. 考察	38
5. 小括	41

目次

第4章 総括

第1節 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 43

第2節 体育学への貢献および今後の展望・・・・・・・・・・ 45

謝辞

参考文献

第 1 章

序

第 1 節 研究小史

第 2 節 ゴール型球技選手の試合中の動きの特徴

第 3 節 問題の所在と研究の目的

第 1 節 研究小史

間欠的高強度運動とは、高強度の主運動を、リカバリーを挟んで繰り返す運動のことである。本研究では、主運動と主運動の間をリカバリー期と定義し、リカバリー期に回復を図ることをリカバリーと定義する。間欠的高強度運動において、リカバリーの方法は、アクティブリカバリー（active recovery, 以下 AR）とパッシブリカバリー（passive recovery, 以下 PR）に大別できる。AR とは、主運動後に最大下の運動を継続することで血液循環を促して回復を図る方法である。PR とは、主運動後に静止することでエネルギー需要を減少させて回復を図る方法である。

1) 間欠的高強度運動と長時間リカバリー

1993 年頃から、間欠的高強度運動において、AR と PR がパフォーマンスや生理学的指標に及ぼす影響についての研究が報告されるようになった (Thiriet et al., 1993 ; Bogdanis et al., 1996 ; Monedero et al., 2000 ; Spierer et al., 2004 ; Toubekis et al., 2008 ; Fujita et al., 2009 ; Koizumi et al., 2011)。Thiriet et al. (1993) は、最大有酸素性パワーの 130%強度の負荷で、最大で 2 分間（ペダルの回転数が 40 回/分を下回るまで運動する）の自転車こぎ運動を 20 分間の PR または最大有酸素性パワーの 30%強度の AR を挟んで 4 回行い、その時の総仕事量と、血中乳酸濃度とを測定して研究を行った。最大有酸素性パワーの 30%強度の AR は PR と比較して、総仕事量が有意に大きく、リカバリー中の血中乳酸濃度が有意に低かったと報告している。間欠的高強度運動において、パフォーマンスの維持には、AR が良いと結論づけている。

Bogdanis et al. (1996) は、30 秒間の全力自転車こぎ運動を 4 分間の PR または $\dot{V}O_2\max$ の 40%強度の AR を挟んで 2 回行い、その時の平均パワーと、生

理学的指標とを測定して研究を行った。生理学的指標は、血中乳酸濃度、血中アンモニア濃度、血中 pH、心拍数、血圧であった。 $\dot{V}O_2\max$ の 40%強度の AR は、PR と比較して全力自転車こぎ運動時の平均パワーが有意に高かった。一方で、血中乳酸濃度、血中アンモニア濃度、血中 pH には有意な差はなかった。心拍数は、 $\dot{V}O_2\max$ の 40%強度の AR が PR と比較して有意に高く、血圧は有意な差がなかったことから、 $\dot{V}O_2\max$ の 40%強度の AR は、PR と比較して血流量が増加していると考察している。間欠的高強度運動において、リカバリー中に血流量を増加させることが、パフォーマンスの維持に重要であると結論づけている。

また、Monedero and Donne. (2000) は、5km の自転車こぎ運動を 20 分間の PR または $\dot{V}O_2\max$ の 50%強度の AR を挟んで 2 回行い、5km の運動に要した時間と、リカバリー中の血中乳酸濃度とを測定して研究を行った。 $\dot{V}O_2\max$ の 50%強度の AR は、PR と比較して、5km の運動に要した時間が有意に短く、リカバリー中の血中乳酸濃度が有意に低かったと報告している。

自転車こぎ運動において、 $\dot{V}O_2\max$ の 30~45%強度の AR は、血中乳酸濃度が素早く除去されることに適した運動強度であると報告されている (McLellan and Skinner, 1982)。また、主運動後の AR は PR と比較して、乳酸がより多く活動筋や心臓でエネルギー源として利用されると報告されている (Gisolfi et al., 1966)。血中乳酸が活動筋から素早く除去されることは、活動筋の pH の低下を防ぐため、間欠的高強度運動において、AR は PR より主運動のパフォーマンスが維持されると考えられる。

2) 間欠的高強度運動と短時間リカバリー

一方で、2004年頃から、ARは必ずしもPRより主運動のパフォーマンスが維持されるわけではないとの報告がされるようになった (Dupont et al., 2004 ; Spencer et al., 2006 ; Dupont et al., 2007 ; Spencer et al., 2008 ; Buchheit et al., 2009). Dupont et al. (2004)は、最大有酸素性パワーの125%強度の負荷で、15秒間の自転車こぎ運動を15秒間のPRまたは $\dot{V}O_2\max$ の40%強度のARを挟んで疲労困憊まで運動を行い、その時の疲労困憊までの時間と、近赤外分光法を用いて、右脚外側広筋の酸素化レベルとを測定して研究を行った。PRは $\dot{V}O_2\max$ の40%強度のARと比較して、疲労困憊までの時間が有意に長く、右脚外側広筋のオキシヘモグロビン濃度の減少が有意に少なかった。PRは $\dot{V}O_2\max$ の40%強度のARと比較して、右脚外側広筋のオキシヘモグロビン濃度の減少が有意に少なかったことから、リカバリー中にPCrがより再合成していると考察している。

Spencer et al. (2006)は、4秒間の全力自転車こぎ運動を21秒間のPRまたは $\dot{V}O_2\max$ の32%強度のARを挟んで6回行い、その時のピークパワー減少率と、筋生検法を用いて、筋試料とを測定して研究を行った。PRは $\dot{V}O_2\max$ の32%強度のARと比較して、ピークパワーの減少率が有意に小さく、運動終了後のPCrの量が多かった。間欠的高強度運動において、ARは、PCrの再合成を抑制するかもしれないと考察している。

3) 間欠的高強度運動と近赤外分光法

2004年以降の研究では、高強度運動時のATP再合成の主なエネルギー源であるPCrに着目して研究が行われるようになった。生理学的指標の測定方法は、上述した先行研究で示す通り、2つに大別される。1つ目の測定方法は、筋に直接針を刺して、筋試料を取り出してPCrを測定する筋生検法である。筋生検法は、筋のPCrの量を直接測定することができるという利点がある。しかし、筋生検法は、筋試料の採取の際、運動を停止してから採取までに、少なくとも数秒間以上を要するため、その間に回復速度の速いPCrは、その濃度がかなり変化する。また、筋生検法は、侵襲的であるため、被検者への負担も大きいという欠点がある。

もう1つの方法は、近赤外分光法である。間欠的高強度運動で用いられる近赤外分光法とは、組織上から波長の異なる種類の近赤外光を測定光として光ファイバーを通して組織に照射し、照射点から数cm離れた点のディテクタで、組織を透過してきたレーザー光の強度を測定する方法である。レーザー光の吸収度合いの変化を利用して、組織中の酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの量を測定する方法である。血液中のヘモグロビンは、酸素化および脱酸素化によって750nm～800nmの吸収スペクトルが変化する(Fig.1)。近赤外分光法は、PCrを直接測定することはできないが、PCrの再合成量と筋の酸素化レベルは、強い関連があり(Hamaoka et al., 1996)、経時的に測定できることから、回復速度の速いPCrの変化にも素早く対応しPCrの再合成度合を高い精度で推察することができる。Dupont et al. (2004)は、右脚外側広筋の酸素化ヘモグロビン濃度を筋の酸素化の指標として用いて、PCrの再合成度合いを推察している。Buchheit et al. (2009)は、右脚外側広筋の脱酸素化ヘモグロビン濃度を筋の酸素化の指標として用いて、PCrの再合成度合いを推察している。

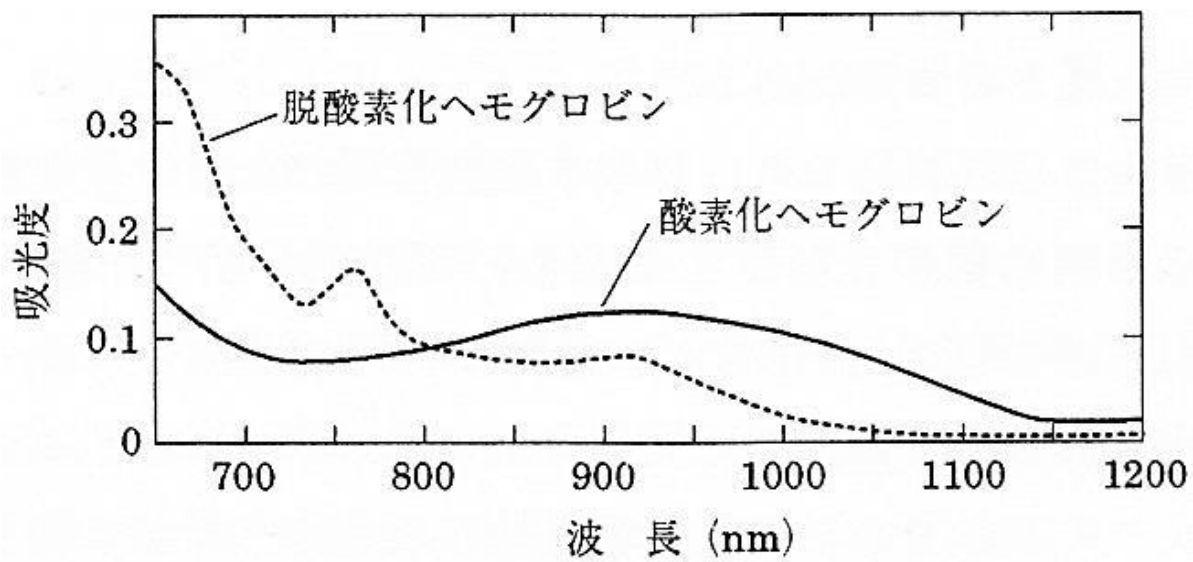


Fig.1 酸素化および脱酸素化ヘモグロビンのスペクトル

(岩本ほか「近赤外分光法入門」 p 150 から引用)

第 2 節 ゴール型球技選手の試合中の動きの特徴

サッカーやハンドボールなどのゴール型球技の選手は、試合中にスプリントやジャンプなどの高強度の無酸素性運動と、ジョギングなどの比較的low強度の有酸素性運動を状況に応じて不規則に繰り返し行っている。ゴール型球技選手の体力特性について検討した研究 (ohya et al., 2012) によると、ゴール型球技選手は、少ない乳酸性エネルギー供給機構の関与で、スプリントを繰り返す能力に優れていると報告されている。また、ゴール型球技選手の試合中の移動距離や移動速度を調べた研究 (Bangsbo, 1994 ; Mcinnes et al., 1995 ; 宮城ほか, 1997 ; Spencer et al., 2004) によると、ゴール型球技選手は、試合中に秒速 2~3m でのジョギングのようなスピードでの運動を維持しつつ、秒速 7~8m 以上のスプリントを繰り返している。試合中の 1 回の平均スプリント時間は、2~5 秒 (Mohr et al., 2003 ; Spencer et al., 2004 ; King et al., 2009) であり、低強度運動の時間は、スプリント時間の 5~7 倍 (Bangsbo, 1994 ; King et al., 2009) である。ゴール型球技選手の試合中の動きは、いわゆる間欠的短時間高強度運動である。

ゴール型球技の 1 試合における競技時間は、成人男性において、種目によって異なるが、40~90 分間 (場合によっては、延長戦があり、それ以上の時間) である。ゴール型球技選手の 1 試合における総移動距離は、5~12km である (Bangsbo et al., 1991 ; 田中ほか, 2002 ; 谷所ほか, 2009)。競技レベルが高い程、試合中の総移動距離に占める、スプリントのような高強度での動きの総移動距離が多いと報告されている (Mohr et al., 2003)。ゴール型球技選手が試合中に、高強度運動のパフォーマンスを低下させないことは、競技力向上において、不可欠であると考えられる。

第 3 節 問題の所在と研究の目的

これまでの間欠的高強度運動におけるリカバリー条件とパフォーマンスとの関係について検討した研究をまとめると、間欠的高強度運動において、AR と PR がパフォーマンスに及ぼす影響は、主運動とリカバリーの時間によって異なる。主運動の時間が 30 秒以上で且つ、リカバリー時間が 2 分以上の条件では、AR の方が PR より主運動のパフォーマンスが良い。一方で、主運動の時間が 30 秒以下で且つ、リカバリー時間が 21 秒以下の条件では、PR の方が AR より主運動のパフォーマンスが良い。

しかしながら、ゴール型球技選手の試合中の動きのような、主運動の時間が 5 秒以下の間欠的短時間高強度運動において、リカバリー条件がパフォーマンスに及ぼす影響について検討した研究は、わずか 3 つの研究しかない (Spencer et al., 2006 ; Spencer et al., 2008 ; Buchheit et al., 2009)。3 つの研究すべてにおいて、主運動の時間は 4 秒に、リカバリー時間は、21 秒に設定されて研究が行われている。また、3 つの研究において、AR の強度は 1 条件での研究 (Spencer et al., 2006 ; Buchheit et al., 2009) であり、2 条件で検討しているものの、その運動強度の幅が狭い条件での研究 (Spencer et al., 2008) である。

ゴール型球技選手の試合中において、主運動後のリカバリー時間やリカバリー期の運動強度は、状況によってさまざまに変化する。したがって、ゴール型球技選手が試合中に、高強度運動のパフォーマンスを低下させないためには、リカバリー期の運動強度および、リカバリー時間の違いがパフォーマンスに及ぼす影響について、詳細に明らかにする必要がある。

本研究では，ゴール型球技選手の試合中の動きにみられる，間欠的短時間高強度運動において，パフォーマンスを維持するために最適と考えられるリカバリー方法について，筋の酸素化レベルを指標として検討し，ゴール型球技選手の競技力向上のための基礎資料を得ることを目的として，以下の2点について検討した．

1. 間欠的短時間高強度運動中のリカバリー期の運動強度の違いがパフォーマンスに及ぼす影響について明らかにする（第2章）．
2. 間欠的短時間高強度運動中のリカバリー時間の違いがパフォーマンスに及ぼす影響について明らかにする（第3章）．

第 2 章

間欠的短時間高強度運動におけるリカバリー期の運動強度の違いがパフォーマンスと筋の酸素化に及ぼす影響

1. 目的
2. 方法
3. 結果
4. 考察
5. 小括

1. 目的

本研究の目的は、間欠的短時間高強度運動において、PRおよび複数の強度でのARがパフォーマンスと筋の酸素化に及ぼす影響について明らかにすることである。

2. 方法

2. 1. 被検者

被検者は、健康な成人 10 名（年齢 24.8 ± 2.7 歳，身長 171.4 ± 7.0 cm，体重 64.7 ± 5.7 kg）であった。被検者には、事前に実験の内容および危険性を口頭および書面で十分に説明し、実験参加の承諾を得た。なお、本研究は中京大学大学院体育学研究科倫理委員会の承認を得て行った。

2. 2. 実験運動および測定方法

2. 2. 1. 実験の概要

被検者には、実験運動を 48 時間以上の間をあけて 5 回行わせた。1 回目の実験運動の内容は、全身持久性テストであった。2 回目から 5 回目の実験運動の内容は、間欠的スプリントテストであった。すべての実験運動は、それぞれの被検者において日内変動の影響を最小限にするために、同じ時間帯に行った。実験期間中は、激しい運動や欠食あるいは暴飲暴食等を控えるように指示した。なお、測定当日は、測定開始 3 時間前までに食事を済ませることを指示した。

2. 2. 2. 全身持久性テスト

全身持久性テストは、電磁ブレーキ式自転車エルゴメータ（POWERMAXV-III，コンビ，東京）を用いて、漸増負荷法にて行った。被検者は、75Wの負荷で5分間のウォーミングアップを行い、椅座位にて3分間の安静をとった後、テストを開始した。テスト開始時の自転車エルゴメータの負荷は、75Wに設定し、2分ごとに30Wずつ漸増し、疲労困憊に至らせた。被検者には、ペダルの回転数が75回転/分になるようにこぐことを指示した（Pringle et al., 2003）。

2. 2. 3. 間欠的スプリントテスト

間欠的スプリントテストは、電磁ブレーキ式自転車エルゴメータを用いて行った。被検者は、すべての間欠的スプリントテストの前に、統一されたウォーミングアップを行った。被検者はウォーミングアップ終了後、椅座位にて5分間の安静をとった後、テストを開始した。

間欠的スプリントテストは、5秒間の全力自転車こぎ運動を25秒間のリカバリーを挟んで10回行う内容であった。リカバリー期の運動強度およびリカバリーの方法は、PR、最大酸素摂取量の15%強度のAR（以下AR15）、25%強度のAR（以下AR25）、40%強度のAR（以下AR40）の4種とし、測定は無作為の順序に設定した。本研究で設定した運動強度を水平歩行、走行時の速度に換算すると、最大酸素摂取量の15%強度は分速40mに、25%強度は分速90mに、40%強度は分速165mに相当する（Wallace, 2006）。被検者には、AR条件時には5秒間のスプリントの直後、規定された負荷でペダルの回転数が60回転/分になるようにこぐことを指示した（Stamford and Nobelet, 1974）。また、PR条件時には5秒間のスプリントの直後、ペダルをこぐことをやめ、静止することを指示した。なお、すべての条件において、次のスプリントの5秒前に静止し、次のスプリントの準備をするように指示した。スプリント時の負荷は、体

重の 7.5%とし、できるだけ速くペダルをこぐことを指示した。

2. 3. 測定項目

2. 3. 1. 運動パフォーマンス

間欠的スプリントテストの運動パフォーマンスの指標として、ピークパワーとピークパワー減少率を測定した。ピークパワーは、各スプリント中の最も高いパワーを算出した。ピークパワー減少率は、テスト中の疲労度合の指標として、Glaister et al., (2004) に基づいて、以下に示す算出方法で求めた。

$$100 - [\{ \text{ピークパワーの合計} / (\text{ピークパワーの最も高い値} \times 10) \} \times 100] (\%)$$

2. 3. 2. 呼気代謝

すべての実験運動において、換気量 ($\dot{V}E$)、酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) および二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$) の測定は、運動開始 3 分前から運動終了後まで行った。全身持久性テストでは、呼気代謝測定装置 (AE-310s, ミナト医科学, 大阪) を用いて、呼気ガス採集法にて行った。間欠的スプリントテストでは、呼気ガス代謝モニタ (MetaMax3B, Cortex Biophysik, ライプツィヒ) を用いて、ブレスバイブレス方式にて行った。呼気ガスは、全身持久性テストでは 30 秒間ごとに、間欠的スプリントテストでは 5 秒間ごとに平均値を求めて分析した。心拍数の測定は、全身持久性テストにおいて、テレメトリー式心電送信機 (ZB-910P, 日本光電, 東京), 多項目モニタ (BSM-2401, 日本光電, 東京) を用いて、サンプリング間隔を 30 秒間に設定して行った。全身持久性テストでは、 $\dot{V}E$ と $\dot{V}O_2$ の最大値を、間欠的スプリントテストでは、リカバリー期 (ス

プリントとスプリントの間)の $\dot{V}E$ 、 $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}CO_2$ の平均値を求めた。

全身持久性テストで得られた酸素摂取量のうち、以下に示す基準の3つ以上の条件を満たす値の中での最大値を最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)と定義した:1) 負荷を増加したにもかかわらず酸素摂取量がプラトーとなる;2) 呼吸交換比が1.1よりも大きい;3) 規定された負荷条件を維持できない;4) 年齢から推定される最高心拍数の90%を超える (Dupont et al., 2004)。

2. 3. 3. 筋代謝

間欠的スプリントテスト中の右脚外側広筋の酸素化ヘモグロビン量 (oxyhemoglobin: O_2Hb) と脱酸素化ヘモグロビン量 (deoxyhemoglobin: HHb) の測定は、経皮的レーザー組織血液酸素モニタ (BOM-L1 TR, オメガウェーブ, 東京) を用いて行った。経皮的レーザー組織血液酸素モニタは、送受光プローブ間距離 40mm 一定のセンサーを使用し、膝関節から大腿部に向かって垂直に 14~20cm あたりの右脚外側広筋の皮膚上に貼付した。センサーと皮膚は、外光が入らないようにするために、黒色のゴム製のホルダーで覆い、両面テープとサージカルテープで固定した。また、センサーの貼付部は、油性マジックで印をつけ、すべての間欠的スプリントテストにおいて、同じ位置にセンサーを貼付した。

測定データは、10Hz で算出した。間欠的スプリントテスト前の安静時の O_2Hb 量と HHb 量 (30 秒間の平均値) を 100% と定義して分析を行った。リカバリー期の O_2Hb 量と HHb 量の変化量 (ΔO_2Hb , ΔHHb) は、それぞれの被検者の各リカバリー期の最も高い値から最も低い値を減じて算出した。

2. 3. 4. 血中乳酸濃度

間欠的スプリントテストの運動終了 1, 2, 3 分後に指尖より 0.5 μ l の血液を採集し，酵素電極法（Lactate SCOUT, EKF-Diagnostic, バーレベン）を用いて血中乳酸濃度を分析した．運動終了後に得られた血中乳酸濃度のうち，最も高い値を最大血中乳酸濃度（La max）と定義した．なお，測定前に基準液を用いて測定機器の精度を確認した．

2. 4. 統計処理

得られた測定データは，平均値 \pm 標準偏差で示した．統計処理には，統計処理ソフトウェア（SPSS18.0 for windows）を用いた．間欠的スプリントテスト時のピークパワーの分析には，反復のある二元配置分散分析（リカバリー期の運動強度 \times スプリント回数）を行い，その後の検定には，Bonferroni 法を用いた．また，間欠的スプリントテスト時のピークパワー減少率，La max, O₂Hb 量と HHb 量の変化の割合および全身持久性テストの測定項目には，一元配置分散分析を行い，その後の検定には，Bonferroni 法を用いた．なお，有意水準は危険率 5%未満とした．

3. 結果

3. 1. 全身持久性テスト

全身持久性テストで得られた $\dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}E_{max}$, HR_{max} , および呼吸交換比の最大値は, それぞれ $50.6 \pm 6.0 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, $123.4 \pm 21.9 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, $190 \pm 10 \text{ beats}\cdot\text{min}^{-1}$, 1.16 ± 0.02 であった.

3. 2. 間欠的スプリントテスト

3. 2. 1. ピークパワー

間欠的スプリントテストで得られたピークパワーを Fig.2 に示した. AR40 の2回目から8回目までのピークパワーは, PRと比較して有意に低かった ($P < 0.05$). また, ピークパワー減少率は, AR40がPRと比較して有意に大きかった (10.9 ± 3.6 vs. $8.4 \pm 2.9\%$, $P < 0.05$) (Fig.3).

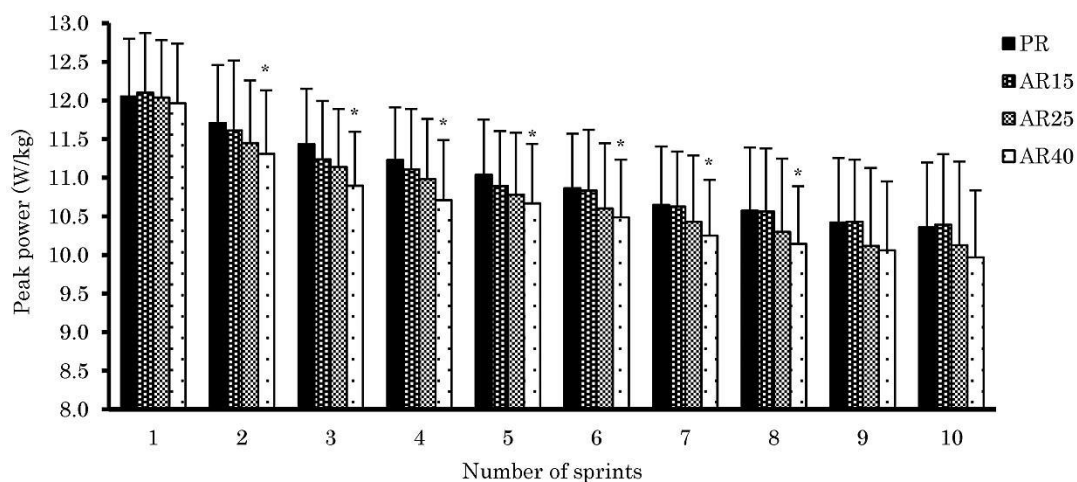


Fig.2 Peak power values during the ten 5 s maximal sprints with 25 s of passive recovery (■) or active recovery (15% of $\dot{V}O_{2max}$: AR15 ▨, 25% of $\dot{V}O_{2max}$: AR25 ▩, 40% of $\dot{V}O_{2max}$: AR40 □) between sprints. Values are expressed as mean \pm SD ($n = 10$).

* Significant difference vs. PR ($P < 0.05$).

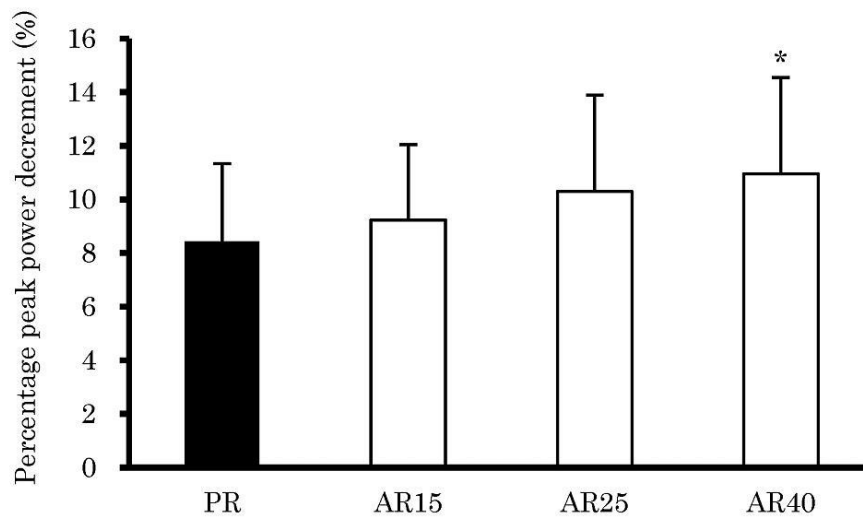


Fig.3 Percentage peak power decrement during the ten 5 s maximal sprints with 25 s of passive recovery (PR) or active recovery (15% of $\dot{V}O_{2max}$: AR15, 25% of $\dot{V}O_{2max}$: AR25, 40% of $\dot{V}O_{2max}$: AR40) between sprints. Values are expressed as mean \pm SD (n = 10).

* Significant difference vs. PR (P < 0.05).

3. 2. 2. 呼吸代謝およびピーク血中乳酸濃度

間欠的スプリントテストで得られた $\dot{V}E$, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ およびLa maxをTable1に示した. AR40のリカバリー期の $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}CO_2$ は, 他のすべての条件と比較して有意に高かった ($P < 0.05$). La maxは, 4条件間で有意な差はなかった ($P > 0.05$).

Table 1 Cardiorespiratory measurements and blood lactate values during the ten 5 s maximal sprints with 25 s of passive recovery (PR) or active recovery (15 % of $\dot{V}O_{2max}$: AR15, 25% of $\dot{V}O_{2max}$: AR25, 40% of $\dot{V}O_{2max}$: AR40) between sprints. Values are expressed as mean \pm SD (n = 10).

	PR	AR15	AR25	AR40
$\dot{V}E$ (L \cdot min $^{-1}$)	83.5 \pm 24.0	84.2 \pm 23.2	83.1 \pm 18.3	90.7 \pm 21.6
$\dot{V}O_2$ (ml \cdot kg $^{-1}$ \cdot min $^{-1}$)	39.7 \pm 4.0 *	39.6 \pm 4.3 *	40.6 \pm 4.6 *	44.5 \pm 4.9
$\dot{V}CO_2$ (ml \cdot kg $^{-1}$ \cdot min $^{-1}$)	45.3 \pm 5.4 *	43.8 \pm 5.9 *	44.9 \pm 6.2 *	49.1 \pm 6.0
La (mmol \cdot L $^{-1}$)	10.7 \pm 2.6	10.0 \pm 2.8	10.0 \pm 3.3	10.9 \pm 2.7

* Significant difference vs. AR40 ($P < 0.05$).

3. 2. 3. 筋代謝

間欠的スプリントテスト中の O_2Hb 量と HHb 量の変化を Fig.4 に示した. AR40 の ΔO_2Hb 量は, PR と比較して有意に低かった (20.6 ± 6.0 vs. 27.9 ± 9.6 %, $P < 0.05$) (Fig.5). ΔHHb 量は, 4 条件間で有意な差はなかった ($P > 0.05$) (Fig.5).

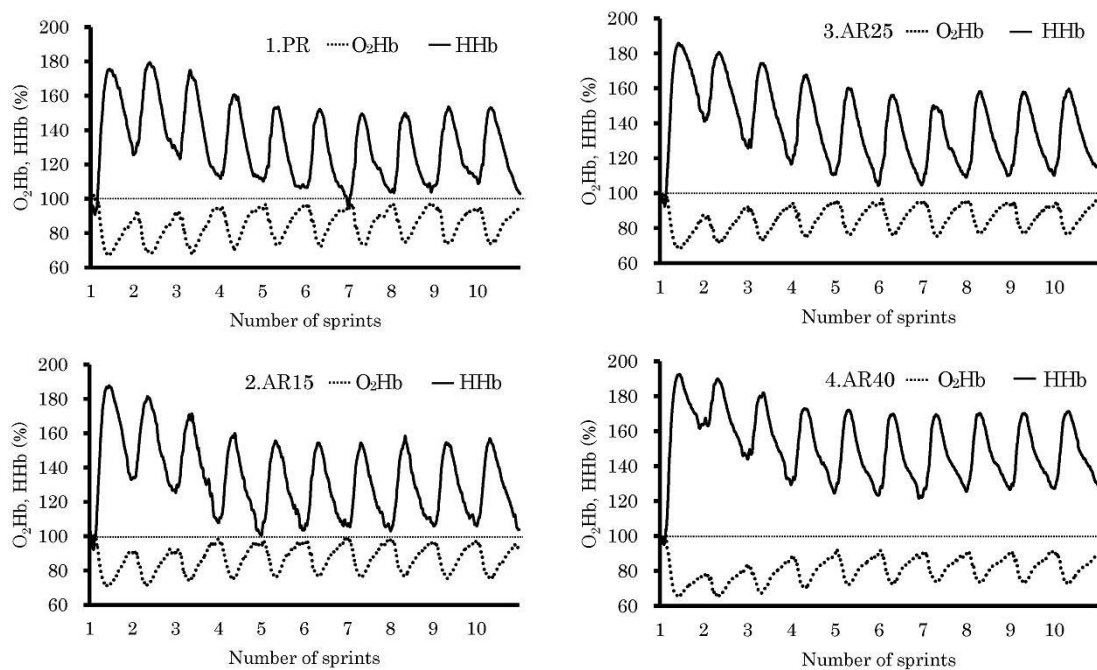


Fig.4 Time-course of oxyhemoglobin (O_2Hb : dashed line) and deoxyhemoglobin (HHb : line) during the ten 5 s maximal sprints with 25 s of 1. passive recovery (PR) or active recovery (2. 15% of $\dot{V}O_{2max}$: AR15, 3. 25% of $\dot{V}O_{2max}$: AR25, 4. 40% of $\dot{V}O_{2max}$: AR40) between sprints. Values are expressed as mean ($n = 10$).

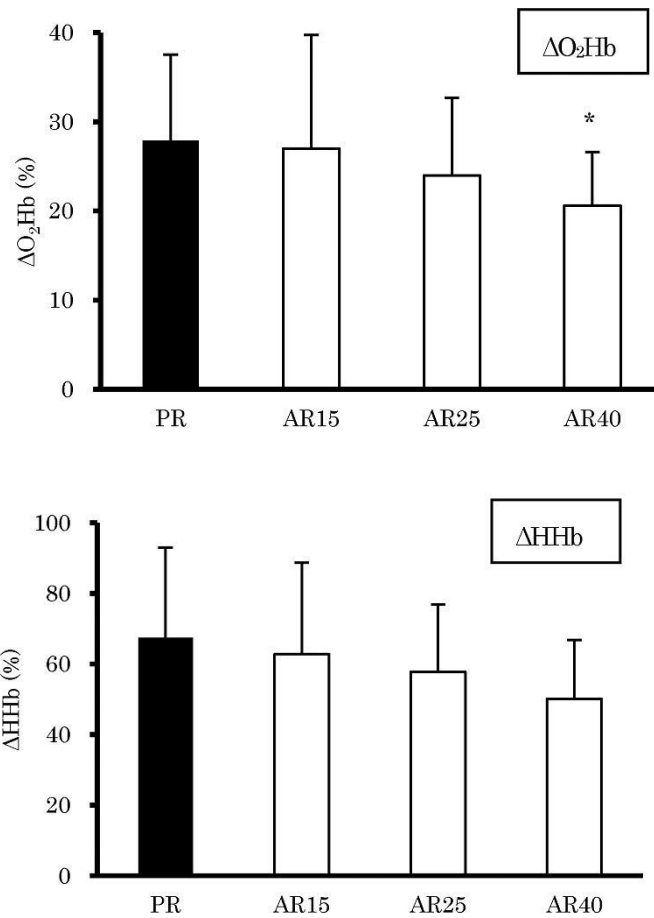


Fig.5 Percentage of Δ oxyhemoglobin (ΔO_2Hb) and Δ deoxyhemoglobin (ΔHHb) during the ten 5 s maximal sprints with 25 s of passive recovery or active recovery (15% of $\dot{V}O_{2max}$: AR15, 25% of $\dot{V}O_{2max}$: AR25, 40% of $\dot{V}O_{2max}$: AR40) between sprints. Values are expressed as mean \pm SD (n = 10). * Significant difference vs. PR (P < 0.05).

4. 考察

本研究の目的は、間欠的短時間高強度運動において、PR および複数の強度でのAR がパフォーマンスと筋の酸素化に及ぼす影響について明らかにすることであった。AR40 のピークパワーは、PR と比較して有意に低かった。AR40 のピークパワー減少率は、PR と比較して有意に大きかった。また、AR40 のリカバリー期の ΔO_2Hb は、PR と比較して有意に低かった。

本研究のAR40 のピークパワー減少率は、PR と比較して有意に大きかった (10.9 ± 3.6 vs. $8.4 \pm 2.9\%$, $P < 0.05$) (Fig.3)。本研究のAR40 とPR とのピークパワー減少率の関係は、AR の強度を最大酸素摂取量の45%に設定して行った Buchheit et al. (2009) の研究と同様の傾向を示した (7.4 ± 2.2 vs. $5.6 \pm 1.8\%$, AR vs. PR)。一方、ピークパワー減少率は、AR15 および AR25 とPR との間に有意な差はなかった (9.2 ± 2.8 , 10.3 ± 3.6 vs. $8.4 \pm 2.9\%$, $P > 0.05$) (Fig.3)。本研究のAR15 および AR25 とPR とのピークパワー減少率の関係は、AR の強度を最大酸素摂取量の20%に設定して行った Spencer et al. (2008) の研究と同様の傾向を示した。

リカバリー期の ΔO_2Hb は、AR40 がPR と比較して有意に低かった (20.6 ± 6.0 vs. $27.9 \pm 9.6\%$, $P < 0.05$) (Fig.5)。Dupont et al. (2004) は、15秒間の高強度の運動を15秒間のPRまたは最大酸素摂取量の40%強度でのARを挟んで疲労困憊まで運動を行わせたとき、PRはARと比較して疲労困憊に至るまでの時間が長く、 O_2Hb 量の減少が少なかったと報告している。本研究の主運動のような短時間高強度の運動において、パフォーマンスを維持するためには、リカバリー期に素早くPCrを再合成する必要がある。PCrの再合成量は、筋の酸素化と強い関連があるため (Hamaoka et al., 1996)、高強度の運動後にARを行うと、高強度の運動で使用したPCrの再合成だけでなく、リカバリー中の

運動に必要な ATP の再合成にも酸素が使用され、筋の再酸素化が抑制されると考えられる (Dupont et al. 2004). したがって、本研究の AR40 では、PR と比較して PCr の再合成が抑制され、ピークパワーの減少率が大きくなったのではないかと考えられる.

一方、本研究の AR15 および AR25 において、リカバリー期の ΔO_2Hb 量は、PR と比較して有意な差はなかった. AR のパフォーマンスに対する利点は、活動筋への血流量を増加させ、酸素の運搬を増加させることである (Bogdanis et al.1996). AR15, AR25 および AR40 のいずれの AR 条件においても、AR のパフォーマンスに対する利点があるはずであるが、AR の強度が上がるにつれて、AR 中に必要な酸素が増加することが予想される. AR15 と AR25 では活動筋への酸素の運搬量と、AR 中の酸素の消費量とのバランスが、PR と同等であったのではないかと考えられる. しかし、AR40 では AR 中の酸素の消費が増加したのではないかと推察される.

本研究の AR 条件におけるリカバリー期の酸素摂取量は、AR の運動での酸素摂取量と直前のスプリントによって蓄積された乳酸の除去、体温の上昇、中性脂肪利用の亢進および交感神経系の影響による運動後過剰酸素摂取量の和となる. AR40 のリカバリー期の $\dot{V}O_2$ は、他の 3 条件と比較して、有意に高かった ($P < 0.05$) (Table1). 本研究の運動プロトコルでは、スプリントの直後に AR を行うため、AR の酸素摂取量と運動後過剰酸素摂取量を明確に区分することはできない. ただし、スプリント運動時のピークパワーとその後のリカバリー期における酸素摂取量との間には高い正の相関関係があることから考えると (Chamari et al., 1995), PR と比較してピークパワー減少率が大きかった AR40 は、PR よりも運動後過剰酸素摂取量が少ないと考えられる. それにもかかわらず、AR40 のリカバリー期の酸素摂取量が PR より高かったということは、AR40 はリカバリー期に最大酸素摂取量の 40%強度での運動を維持しなけ

ればならないため、 $\dot{V}O_2$ が高くなったと考えられる。AR40において、リカバリー期により多くの酸素を必要とすることからも、AR40がPRと比較して筋の再酸素化の量が少なかったことを推察することができる。

一方、本研究のリカバリー期の酸素摂取量は、AR15およびAR25とPRとの間に有意な差はなかった。AR15とAR25のリカバリー期では、低強度ではあるが運動をしているにもかかわらず、リカバリー期に安静にしているPRと酸素摂取量に有意な差がなかったということは、AR15とAR25の運動後過剰酸素摂取量がPRと比較して、低かったと考えられる。Gisolfi et al. (1966)は、高強度運動後のリカバリー期に有酸素性の運動を行うと、安静にしていることと比較して、リカバリー期に活動筋や心臓でのエネルギー源として乳酸が利用され、グリコーゲンの利用の割合が減少するため、酸素負債量が低かったと報告している。本研究の運動プロトコルでは、最大酸素摂取量の25%強度以下のARは、PRと比較して、リカバリー期に乳酸をより多くエネルギー源として利用していたのかもしれない。

5. 小括

本研究では，間欠的短時間高強度運動において，PR および複数の強度での AR がパフォーマンスと筋の酸素化に及ぼす影響について検討し，以下のことが明らかになった．

- (1) 最大酸素摂取量の 40%強度の AR は，PR と比較して，ピークパワー減少率が有意に大きく，リカバリー期の ΔO_2Hb 量は，有意に低かった．
- (2) 最大酸素摂取量の 40%強度の AR は，他のすべての条件と比較してリカバリー期の酸素摂取量が有意に高かった．

以上より，間欠的短時間高強度運動において，最大酸素摂取量の 25%強度以下の AR と PR とを比較してみると，リカバリー期における筋の再酸素化の量とピークパワー減少率に有意な差はないことが明らかになった．一方で，最大酸素摂取量の 40%強度の AR は，PR と比較して筋の再酸素化の量が有意に低く，ピークパワーの減少率が有意に大きいことが明らかになった．

第 3 章

間欠的短時間高強度運動におけるリカバリー時間の違いがパフォーマンスと筋の酸素化に及ぼす影響

1. 目的
2. 方法
3. 結果
4. 考察
5. 小括

1. 目的

本研究の目的は、間欠的短時間高強度運動において、アクティブリカバリーとパッシブリカバリーの時間がパフォーマンスと筋の酸素化に及ぼす影響を明らかにすることである。

2. 方法

2. 1. 被検者

被検者は、健康な成人男性 8 名（年齢 25.5 ± 2.6 歳，身長 173.1 ± 5.1 cm，体重 65.3 ± 4.8 kg）であった。被検者には、事前に実験の内容および危険性を口頭および書面で十分に説明し、実験参加の承諾を得た。なお、本研究は中京大学大学院体育学研究科倫理委員会の承認を得て行った。

2. 2. 実験運動および測定方法

2. 2. 1. 実験の概要

被検者には、実験運動を 48 時間以上の間をあけて 7 回行わせた。1 回目の実験運動の内容は、全身持久性テストであった。2 回目から 7 回目の実験運動の内容は、間欠的スプリントテストであった。すべての実験運動は、それぞれの被検者において日内変動の影響を最小限にするために、同じ時間帯に行った。実験期間中は、激しい運動や欠食あるいは暴飲暴食等を控えるように指示した。なお、測定当日は、測定開始 3 時間前までに食事を済ませることを指示した。

2. 2. 2. 全身持久性テスト

第 2 章と同様の方法で行った (P15 参照).

2. 2. 3. 間欠的スプリントテスト

間欠的スプリントテストは, 電磁ブレーキ式自転車エルゴメータを用いて行った. ウォーミングアップは, 第 2 章と同様の方法で行った (P15 参照).

間欠的スプリントテストは, 5 秒間の全力自転車こぎ運動を 25 秒, 50 秒, 100 秒間の AR と PR リカバリーを挟んで 10 回行う内容で, 測定は無作為の順序に設定した. AR の強度は, 最大酸素摂取量の 40%強度とした (McLellan and Skinner, 1982). 被検者には, AR 条件時には 5 秒間のスプリントの直後, 規定された負荷でペダルの回転数が 60 回転/分になるようにこぐことを指示した (Stamford and Nobeles, 1974). また, PR 条件時には 5 秒間のスプリントの直後, ペダルをこぐことをやめ, 静止することを指示した. なお, すべての条件において, 次のスプリントの 5 秒前に静止し, スプリントの準備をするように指示した. スプリント時の負荷は, 体重の 7.5%とし, できるだけ速くペダルをこぐことを指示した.

2. 3. 測定項目

第 2 章と同様の測定項目を分析した (P16 参照).

2. 4. 統計処理

得られた測定データは, 平均値±標準偏差で示した. 統計処理には, 統計処理ソフトウェア (SPSS18.0 for windows) を用いた. 間欠的スプリントテスト時のピークパワー (リカバリー条件×スプリント回数), ピークパワー減少率, La max, O₂Hb 量と HHb 量の変化の割合および全身持久性テストの測定項目

(リカバリー条件×リカバリー時間)の分析には、反復のある二元配置分散分析を行い、その後の検定には、**Bonferroni**法を用いた。なお、有意水準は危険率 5%未満とした。

3. 結果

3. 1. 全身持久性テスト

全身持久性テストで得られた $\dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}E_{max}$, HR_{max} , および呼吸交換比の最大値は, それぞれ $51.0 \pm 5.9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, $127.1 \pm 23.1 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, $190 \pm 8 \text{ beats}\cdot\text{min}^{-1}$, 1.15 ± 0.02 であった.

3. 2. 間欠的スプリントテスト

3. 2. 1. ピークパワー

間欠的スプリントテストで得られたピークパワーを Fig.6 に示した. ピークパワーは 25 秒, 50 秒のリカバリー時間条件では, PR が AR と比較して有意に高かったが ($P < 0.05$), 100 秒のリカバリー時間条件では, PR と AR との間に有意な差はなかった ($P > 0.05$). また, ピークパワー減少率は, 25 秒, 50 秒のリカバリー時間条件では, PR が AR と比較して有意に小さかったが ($8.5 \pm 2.5 \text{ vs. } 11.5 \pm 3.6 \%$, $P < 0.05$; $2.7 \pm 1.4 \text{ vs. } 6.2 \pm 3.5 \%$, $P < 0.05$), 100 秒のリカバリー時間条件では, PR と AR との間に有意な差はなかった ($2.1 \pm 1.3 \text{ vs. } 3.1 \pm 2.6 \%$, $P > 0.05$) (Fig.7).

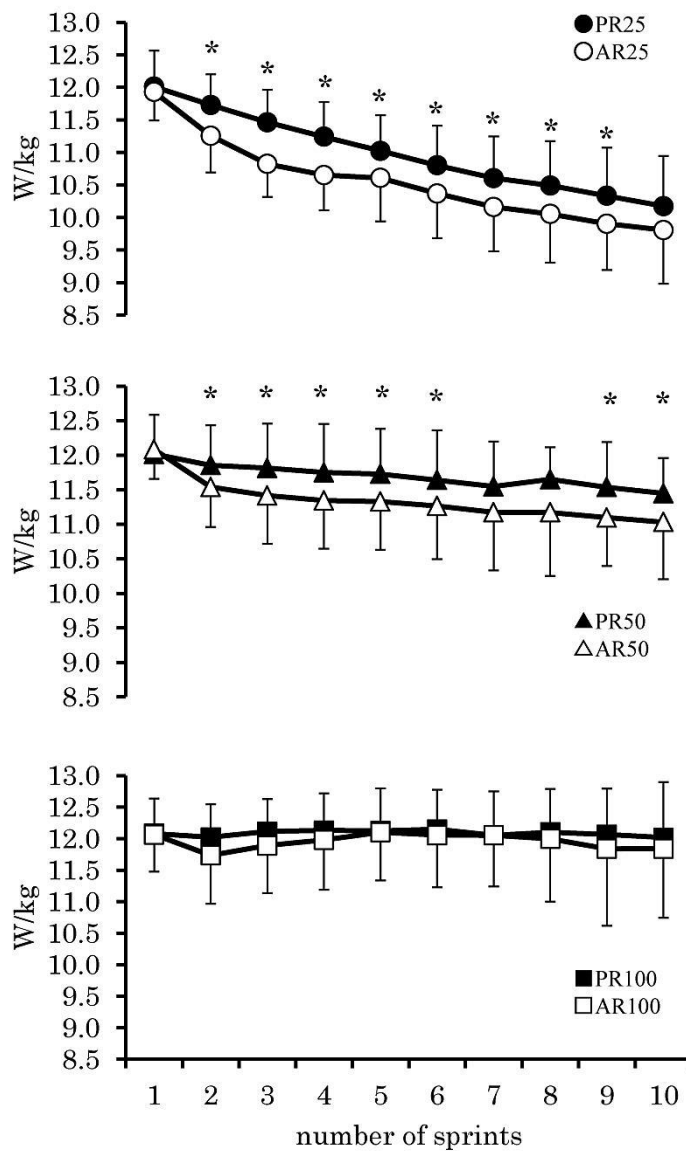


Fig.6 Peak power values during the ten 5 s maximal sprints with 25 s (circle), 50 s (triangle), and 100 s (square) of passive recovery (PR: black) or active recovery (AR: white) between sprints. Values are expressed as mean \pm SD ($n = 8$). * Significant difference vs. AR ($P < 0.05$).

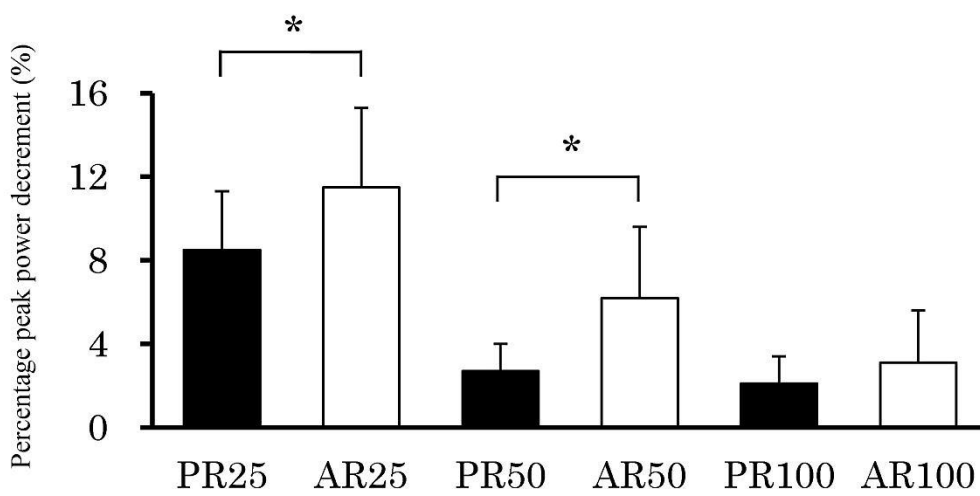


Fig.7 Percentage peak power decrement during the ten 5 s maximal sprints with 25 s, 50 s, and 100 s of passive recovery (PR: ■) or active recovery (AR: □) between sprints. Values are expressed as mean \pm SD (n = 8). * Significant difference PR vs. AR (P < 0.05).

3. 2. 2. 呼吸代謝およびピーク血中乳酸濃度

間欠的スプリントテストで得られた $\dot{V}E$, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ およびLa maxをTable2に示した。 $\dot{V}E$ は50秒と100秒のリカバリー時間条件ではARがPRと比較して有意に高かった ($P < 0.05$)。また, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ は, すべてのリカバリー時間条件においてARがPRと比較して有意に高かった ($P < 0.05$)。La maxは, すべてのリカバリー時間条件において, ARとPRとの間に有意な差はなかった ($P > 0.05$)。

Table 2 Cardiorespiratory measurements and blood lactate values during the ten 5 s maximal sprints with 25 s, 50 s, and 100 s of passive recovery (PR) or active recovery (AR) between sprints. Values are expressed as mean \pm SD (n = 8).

	PR25	AR25	PR50	AR50	PR100	AR100
$\dot{V}E$ (L \cdot min $^{-1}$)	90.4 \pm 24.2	95.5 \pm 23.2	62.7 \pm 16.1 ^{*†}	78.5 \pm 17.4 [†]	43.8 \pm 6.8 ^{*†§}	63.6 \pm 13.5 ^{†§}
$\dot{V}O_2$ (ml \cdot kg $^{-1}$ \cdot min $^{-1}$)	39.0 \pm 2.9 [*]	43.2 \pm 3.8	29.4 \pm 3.2 ^{*†}	40.2 \pm 3.9 [†]	20.8 \pm 2.3 ^{*†§}	34.0 \pm 3.8 ^{†§}
$\dot{V}CO_2$ (ml \cdot kg $^{-1}$ \cdot min $^{-1}$)	45.9 \pm 5.0 [*]	48.8 \pm 6.0	35.2 \pm 9.1 ^{*†}	41.9 \pm 5.3 [†]	21.8 \pm 3.0 ^{*†§}	32.7 \pm 4.4 ^{†§}
La (mmol \cdot L $^{-1}$)	10.8 \pm 1.9	10.5 \pm 1.4	8.0 \pm 1.9 [†]	7.9 \pm 2.4 [†]	6.6 \pm 2.5 [†]	6.3 \pm 2.5 [†]

* Significant difference vs. AR each duration ($P < 0.05$).

† Significant difference vs. 25 s each condition ($P < 0.05$).

§ Significant difference vs. 50 s each condition ($P < 0.05$).

3. 2. 3. 筋代謝

間欠的スプリントテスト中の O_2Hb 量と HHb 量の変化を Fig.8 に示した. ΔO_2Hb 量は, 25 秒, 50 秒のリカバリー時間条件では, PR が AR と比較して有意に大きかったが (29.5 ± 7.0 vs. 21.7 ± 3.8 %, $P < 0.05$; 40.6 ± 10.5 vs. 26.6 ± 8.6 %, $P < 0.05$), 100 秒のリカバリー時間条件では, PR と AR との間に有意な差はなかった (39.5 ± 10.6 vs. 35.8 ± 8.7 %, $P > 0.05$). ΔHHb 量は, すべてのリカバリー時間条件において, PR が AR と比較して有意に大きかった ($P < 0.05$) (Fig.9).

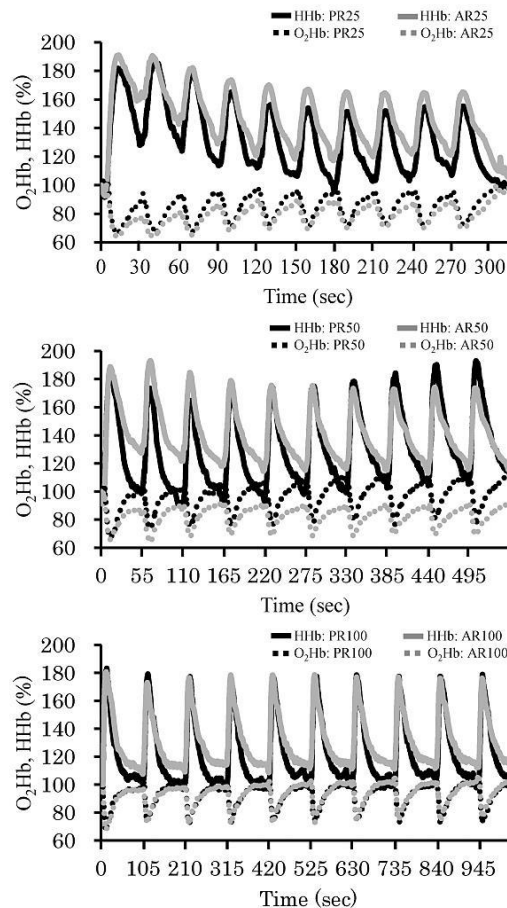


Fig.8 Time-course of mean oxyhemoglobin (O_2Hb : dashed line) and deoxyhemoglobin (HHb : line) during the ten 5 s maximal sprints with 25 s, 50 s, and 100 s of passive recovery (PR) or active recovery (AR) between sprints. Values are expressed as percentage of resting values standardized as 100 % ($n = 8$).

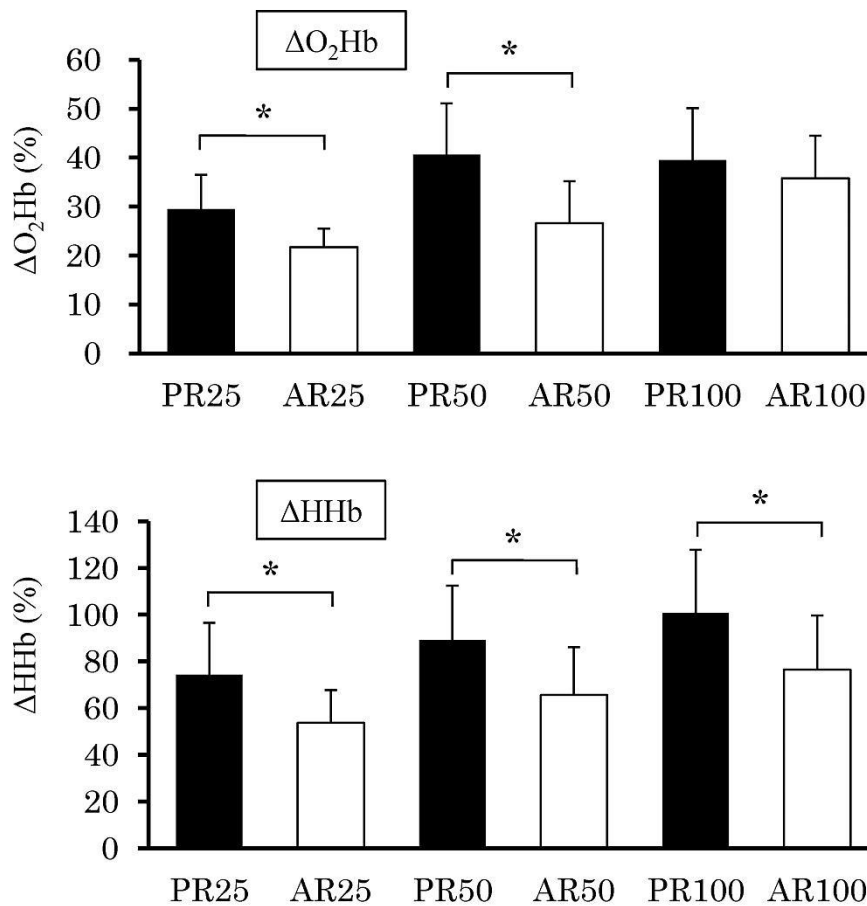


Fig.9 Percentage of Δ oxyhemoglobin (ΔO_2Hb) and Δ deoxyhemoglobin (ΔHHb) during the ten 5 s maximal sprints with 25 s, 50 s, and 100 s of passive recovery (PR: ■) or active recovery (AR: □) between sprints. Values are expressed as mean \pm SD (n = 8). * Significant difference PR vs. AR (P < 0.05).

4. 考察

本研究の目的は、間欠的短時間高強度運動において、アクティブリカバリーとパッシブリカバリーの時間がパフォーマンスに及ぼす影響を明らかにすることであった。ピークパワーは 25 秒、50 秒のリカバリー時間条件では、PR が AR と比較して有意に高かったが、100 秒のリカバリー時間条件では、PR と AR との間に有意な差はなかった。ピークパワー減少率は、25 秒、50 秒のリカバリー時間条件では、PR が AR と比較して有意に小さかったが、100 秒のリカバリー時間条件では、PR と AR との間に有意な差はなかった。また、 ΔO_2Hb 量は、25 秒、50 秒のリカバリー時間条件では、PR が AR と比較して有意に大きかったが、100 秒のリカバリー時間条件では、PR と AR との間に有意な差はなかった。

先行研究によると、リカバリー時間が 30 秒以下の条件では、PR が AR と比較してパフォーマンスの減少率が小さいと報告されている (Dupont et al., 2004 ; Spencer et al., 2006 ; Dupont et al., 2007 ; Spencer et al., 2008 ; Buchheit et al., 2009)。本研究の結果も先行研究と同様に、リカバリー時間が 25 秒の条件では、PR が AR と比較してピークパワー減少率が有意に小さかった。一方で、リカバリー時間が 2 分以上の条件では、AR が PR と比較してパフォーマンスの減少率が小さいと報告されている (Thiriet et al., 1993 ; Bogdanis et al, 1996 ; Monedero et al., 2000 ; Spierer et al., 2004 ; Toubekis et al., 2008 ; Fujita et al., 2009 ; Koizumi et al., 2011)。本研究において 50 秒のリカバリー時間条件では、PR が AR と比較して、ピークパワー減少率は、有意に小さかったが、100 秒のリカバリー時間条件では AR と PR との間に有意な差はなかった。

間欠的短時間高強度運動において、AR はリカバリー中に PCr の再合成と低

強度の運動を維持するための ATP 再合成に酸素が必要である。AR では PCr の再合成と低強度運動を維持するための ATP 再合成との両方に酸素が必要であることは、AR が PR と比較して回復の速度を遅らせ、パフォーマンスの減少が大きくなることを示唆する。しかしながら、AR は PR と比較して回復の速度が遅くなるかもしれないが、100 秒のリカバリー時間では、パフォーマンスは PR と比較して劣らないと考えられる。Balsom et al. (1992) によると、40m スプリントをリカバリーを挟んで 15 回反復した時、120 秒のリカバリー時間では、1 回目のスプリントと 15 回目のスプリントタイムに有意な差はなかったと報告している。したがって、間欠的短時間高強度運動において、リカバリー時間が 100 秒の条件では、AR においても、パフォーマンスを維持するためのエネルギーを十分回復できると考えられる。

本研究の ΔO_2Hb 量は、25 秒、50 秒のリカバリー時間条件では、PR が AR と比較して有意に大きかったが、100 秒のリカバリー時間条件では、PR と AR との間に有意な差はなかった。本研究の 25 秒、50 秒のリカバリー時間条件では、PR が AR より筋の再酸素化の割合が大きかったと考えられる。本研究の主運動のような、短時間高強度の運動時における ATP 再合成の主なエネルギー源は、PCr である。パフォーマンスを低下させないで短時間高強度の運動を繰り返す為には、リカバリー期に素早く PCr を再合成する必要がある。PCr の再合成量は、筋の酸素化の量と強い関連があることから、本研究の 25 秒、50 秒のリカバリー時間条件では、PR が AR と比較して、リカバリー中により多くの PCr を再合成したと考えられる。PCr の再合成の経時的変化は、指数関数曲線である。Yoshida et al. (1996) によると、膝の屈曲運動において、AR は PR と比較して、PCr の回復速度の時定数が大きいことを報告している。

したがって、本研究の AR は PR と比較して、PCr の再合成の速度が遅いかもかもしれないが、100 秒のリカバリー時間条件では、PCr の再合成量が十分に回

復する時間があり, AR は PR と同等のパフォーマンスを維持することができたのではないかと考えられる.

本研究のほとんどすべての呼気代謝に関する指標は, どのリカバリー時間条件においても, AR が PR と比較して有意に高かった. 本研究のリカバリー期の酸素摂取量は, リカバリー中の酸素摂取量だけでなく, 運動後過剰酸素摂取量も示している. 本研究の測定プロトコルでは, リカバリー中の酸素摂取量と運動後過剰酸素摂取量を明確に区分することはできない. しかし, スプリント運動時のピークパワーとその後のリカバリー期における酸素摂取量との間には高い正の相関関係があることから (Chamari et al., 1995), 本研究のピークパワーは, AR25 と AR50 が PR25 と PR50 と比較して有意に低かったので, リカバリー期の酸素摂取量に対して, 運動後過剰酸素摂取量の影響は, AR が PR と比較して小さいと考えられる. それにもかかわらず, AR のリカバリー期の酸素摂取量が PR と比較して有意に高かったということは, AR においてリカバリー期に最大酸素摂取量の 40%強度でのペダリングに必要な ATP を再合成するために, 酸素が必要であったことを示していると考えられる. リカバリー期に酸素消費量が高かったということは, AR が PR と比較して筋の再酸素化が抑制された原因であるかもしれない.

本研究で測定した血中乳酸濃度は, 運動によって産生された乳酸と除去された乳酸のバランスを反映している. 本研究の結果において, La_{max} がすべての時間条件において, AR と PR との間に有意な差はなかったことが, リカバリー条件間で乳酸産生量が同じであったかどうかを決定することはできない. そこで, エネルギー供給機構の観点から, AR25 と AR50 は PR25 と PR50 と比較して, 筋の再酸素化の量が少なく, PCr の再合成量が少なかったと考えられることから推察すると, AR25 と AR50 は PR25 と PR50 と比較して, 乳酸の産生量と除去量が共に多かったと考えられる.

5. 小括

本研究では、間欠的短時間高強度運動において、アクティブリカバリーとパッシブリカバリーの時間がパフォーマンスに及ぼす影響を検討し、以下のことが明らかになった。

- (1) ピークパワーは、25 秒および 50 秒のリカバリー時間条件では、PR が AR と比較して有意に高かったが、100 秒のリカバリー時間条件では有意な差はなかった。
- (2) ピークパワー減少率は、25 秒および 50 秒のリカバリー時間条件では、PR が AR と比較して有意に小さかったが、100 秒のリカバリー時間条件では有意な差はなかった。
- (3) ΔO_2Hb 量は、25 秒および 50 秒のリカバリー時間条件では、PR が AR と比較して有意に大きかったが、100 秒のリカバリー時間条件では、有意な差はなかった。

以上より、間欠的短時間高強度運動において、最大酸素摂取量の 40%強度の AR と PR とを比較してみると、25 秒および 50 秒のリカバリー時間条件では、AR が PR と比較してパフォーマンスの低下が大きいことが明らかになった。一方で、100 秒のリカバリー時間条件では、パフォーマンスは、リカバリー方法に影響を受けないことが明らかになった。

第 4 章

総括

第 1 節 まとめ

第 2 節 体育学への貢献および今後の展望

第 1 節 まとめ

本研究では，ゴール型球技選手の試合中の動きにみられる，間欠的短時間高強度運動において，パフォーマンスを維持するために最適と考えられるリカバリー方法について検討し，ゴール型球技選手の競技力向上のための基礎資料を得ることを目的として，以下の 2 点を明らかにした．

第 1 点目は，間欠的短時間高強度運動において，パッシブリカバリー（passive recovery: PR）および複数の強度でのアクティブリカバリー（active recovery: AR）がパフォーマンスと筋の酸素化に及ぼす影響について明らかにすることであった．間欠的短時間高強度運動において，最大酸素摂取量の 25% 強度以下の AR と PR とを比較してみると，リカバリー期における筋の再酸素化の量とパフォーマンスに差はないことを明らかにした．一方で，最大酸素摂取量の 40% 強度の AR は，PR と比較して筋の再酸素化の量が少なく，パフォーマンスの低下が大きいことを明らかにした．間欠的短時間高強度運動において，リカバリー時間が短い（ ≤ 25 秒）場合，パフォーマンスを維持するためには PR が良い．AR を行わざるを得ない場合は，最大酸素摂取量の 25% 強度程度で行うべきである．

第 2 点目は，間欠的短時間高強度運動において，アクティブリカバリーとパッシブリカバリーの時間がパフォーマンスと筋の酸素化に及ぼす影響について明らかにすることであった．間欠的短時間高強度運動において，最大酸素摂取量の 40% 強度の AR と PR とを比較してみると，25 秒と 50 秒のリカバリー時間条件では，AR が PR と比較してパフォーマンスの低下が大きく，筋の再酸素化の量が少ないことを明らかにした．一方で，100 秒のリカバリー時間条件では，パフォーマンスと筋の酸素化の量は，リカバリー方法に影響を受けないことを明らかにした．間欠的短時間高強度運動において，リカバリー時間が 100

秒以下の場合、PR は AR と比較して、パフォーマンスの低下が大きくなることはないと考えられる。

以上の結果から、間欠的短時間高強度運動において、パフォーマンスを維持するためには、リカバリー期に静止することでエネルギー需要を減少させて回復を図る PR が良いと考えられる。

第2節 体育学への貢献および今後の展望

近年、ゴール型球技選手の試合中の動きは、ますます激しくなっている。つまり、ゴール型球技選手は、試合中に高強度の動きをより多く反復することが求められている。高強度の動きをより多く反復するためには、リカバリー期の適切な回復が必要である。

ゴール型球技選手は、試合中に能動的に動ける局面（例えば、アウトオブプレー）では、高強度の動きの後は、意識的にPRを行うことで、パフォーマンスの低下を抑制できると考えられる。また、ゴール型球技の走練習において、インターバルトレーニングを行う際は、トレーニングの目的に応じて、リカバリー方法を選択し、トレーニングプログラムを作成することで、効率よくトレーニングを行うことができると考えられる。例えば、最大スピードでスプリントを繰り返すような、スピードトレーニングを行う際は、リカバリー期をPRに設定することで、効率よくトレーニングを行うことができると考えられる。

一方で、ゴール型球技選手は、試合中、対戦相手やボールの位置などの変化する運動環境に随時、対応していかなければならない。したがって、ゴール型球技選手は、試合中に高強度運動を行った後に意識的にPRを行うことが難しい局面もあり、ARをせざるを得ない場合がある。今後は、ARの強度とパフォーマンスとの関係について、さらに詳細に検討し、個人の体力特性に応じて、パフォーマンスを維持するための最適なARの強度を決定する方法を確立することが課題である。

謝辞

本論文を作成するにあたり，終始熱心なご指導を頂いた，中京大学北川 薫
学長に深く感謝致します．

また，研究計画から論文投稿に際して，貴重なご指導を頂いた，中京大学大
学院体育学研究科荒牧 勇准教授に深く感謝致します．

実験に際して，ご協力頂いた中京大学大学院運動生理学研究室の皆様に感謝
致します．

参考文献

- Balsom, PD., Seger, JY., Sjodin, B., Ekblom, B. (1992) Maximal-intensity intermittent exercise: effect of recovery duration. *Int. J. Sports Med.* 13: 528-533.
- Bangsbo, J., Norregaard, L., Thorso, F. (1991) Activity profile of competition soccer. *Can. J. Spt. Sci.* 16: 110-116.
- Bangsbo, J. (1994) The physiology of soccer ; with special reference to intense intermittent exercise. *Acta. Physiol. Scand. Suppl.* 619: 1-155.
- Bogdanis, GC., Nevill, ME., Lakomy, HKA., Graham, CM., Louis, G. (1996) Effect of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling. *Eur. J. Appl. Physiol.* 74: 461-469.
- Buchheit, M., Cormie, P., Abbiss, CR., Ahmaidi, S., Nosaka, KK., Laursen, PB. (2009) Muscle deoxygenation during repeated sprint running: effect of active vs. passive recovery. *Int. J. Sports Med.* 30: 418-425.
- Chamari, K., Ahmaidi, S., Fabre, C., Ramonatxo, M. (1995) Pulmonary gas exchange and ventilator responses to brief intense intermittent exercise in young trained and untrained adults. *Eur. J. Appl. Physiol.* 70: 442-450.
- Dupont, G., Moalla, W., Guinhouya, C., Ahmaidi, S., Berthoin, S. (2004) Passive versus active recovery during high-intensity intermittent exercises. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36: 302-308.
- Dupont, G., Moalla, W., Matran, R., Berthoin, S. (2007) Effect of short recovery intensities on the performance during two Wingate tests. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39: 1170-1176.

- Fujita, Y., Koizumi, K., Sukeno, S., Manabe, M., Nomura, J. (2009) Active recovery effects by previously inactive muscles on 40-s exhaustive cycling. *J. Sports Sci.* 27: 1145-1151.
- Gisolfi, C., Robinson, S., Turrell, ES. (1966) Effects of aerobic work performed during recovery from exhausting work. *J. Appl. Physiol.* 21: 1767-1772.
- Glaister, M., Stone, MH., Stewart, AM., Hughes, M., Moir, GL. (2004) The reliability and validity of fatigue measures during short-duration maximal-intensity intermittent cycling. *J. Strength Cond. Res.* 18: 459-462.
- Hamaoka, T., Iwane, H., Shimomitsu, T., Katsumura, T., Murase, N., Nishio, S., Osada, T., Kurosawa, Y., Chance, B. (1996) Noninvasive measures of oxidative metabolism on working human muscles by near-infrared spectroscopy. *J. Appl. Physiol.* 81: 1410-1417.
- 岩本 睦夫・河野 澄夫・魚住 純 (2007) 近赤外分光法入門. 幸書房, pp150.
- King, T., Jenkins, D., Gabbett, T. (2009) A time-motion analysis of professional rugby league match-play. *J. Sports Sci.* 27(3): 213-219.
- Koizumi, K., Fujita, Y., Muramatsu, S., Manabe, M., Ito, M., Nomura, J. (2011) Active recovery effects on local oxygenation level during intensive cycling bouts. *J. Sports Sci.* 29: 919-926.
- McInnes, S.E., Carlson, J.S., Jones, C.J., Mckenna, M.J. (1995) The physiological load imposed on basketball players during competition. *J. Sports Sci.* 13: 387-397.
- McLellan, TM., Skinner, JS. (1982) Blood lactate removal during active recovery related to the aerobic threshold. *Int. J. Sports Med.* 3: 224-229.

- 宮城 修・須佐 徹太郎・北川 薫 (1997) サッカー選手の試合中の生理学的特徴および動きの特徴. *デサントスポーツ科学*, 18: 231-237.
- Mohr, M., Krusturup, P., Bangsbo, J. (2003) Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J. Sports Sci.* 21: 519-528.
- Monedero, J., Donne, B. (2000) Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *Int. J. Sports Med.* 21: 593-597.
- Ohya, T., Mori, S., Kitagawa, K. (2012) Characteristics of physical fitness for field-based team sports players in terms of energy supply during intermittent sprint exercise test. *Football Science* 9: 14-24.
- Pringle, JSM., Doust, JH., Carter, H., Tolfrey, K., Jones, AM. (2003) Effect of pedal rate on primary and slow-component oxygen uptake responses during heavy-cycle exercise. *J. Appl. Physiol.* 94: 1501-1507.
- Spencer, M., Lawrence, S., Rechichi, C., Bishop, D., Dawson, B., Goodman, C. (2004) Time-motion analysis of elite field-hockey, with special reference to repeated-sprint activity. *J. Sports Sci.* 22: 843-850.
- Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B., Goodman, C., Duffield, R. (2006) Metabolism and performance in repeated cycle sprints: active versus passive recovery. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38: 1492-1499.
- Spencer, M., Dawson, B., Goodman, C., Dascombe, B., Bishop, D. (2008) Performance and metabolism in repeated sprint exercise: effect of recovery intensity. *Eur. J. Appl. Physiol.* 103: 545-552.
- Spieler, DK., Goldsmith, R., Baran, DA., Hryniewicz, K., Katz, SD. (2004) Effects of active vs. passive recovery on work performed during serial supramaximal exercise tests. *Int. J. Sports Med.* 25: 109-114.

- Stamford, BA., Nobeles, BJ. (1974) Metabolic cost and perception of effort during bicycle ergometer work performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 6: 226-231.
- 田中 守・Michalsik, L.B・Bangsbo, J. (2002) デンマークにおける一流ハンドボール選手の公式ゲーム中の活動特性. *スポーツ方法学研究*, 15: 61-73.
- 谷所 慶・伊藤 和一・前田 正登・平川 和文 (2009) 混戦型球技選手における移動特性および間欠的運動パターンの比較. *体育学研究*, 54: 99-106.
- Thiriet, P., Gozal, D., Wouassi, D., Oumarou, T., Gelas, H., Lacour, JR. (1993) The effect of various recovery modalities on subsequent performance, in consecutive supramaximal exercise. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 33: 118-129.
- Toubekis, AG., Peyrebrune, MC., Lakomy, HA., Nevill, ME. (2008) Effects of active and passive recovery on performance during repeated-sprint swimming. *J. Sports Sci.* 26: 1497-1505.
- Wallace, J. (2006) ACSM's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription 5 th ed. In: Leonard A.K (Ed). Lippincott Williams & Wilkins. pp.337-349.
- Yoshida, T., Watari, H., Tagawa, K. (1996) Effect of active and passive recoveries on splitting of the inorganic phosphate peak determined by ³¹P-nuclear magnetic resonance spectroscopy. *NMR Biomed.* 9: 13-19.