

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：33111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26350758

研究課題名(和文) アクティブレストを用いたインターバル泳の開発

研究課題名(英文) Development of interval training using active rest in swimming

研究代表者

下山 好充 (Shimoyama, Yoshimitsu)

新潟医療福祉大学・健康科学部・教授

研究者番号：20375364

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、水泳のインターバルトレーニングにおけるアクティブレストという休息状態に着目し、パッシブレストと比較して、そのトレーニング負荷がどのように異なるのかを検討することで、トレーニングの目的に応じたインターバル泳に関する実践的な示唆を与えることを目的とした。被験者は日頃から非常によくトレーニングを行なっている大学競泳選手を対象とし、主運動を100%V02maxで60秒、休息を30秒のアクティブレストとパッシブレストという組み合わせによって、実験を実施した。その結果、アクティブレストはパッシブレストと比較して休息時間中の再酸素化が制限されていることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to assess the active recovery effects of on training load during interval swimming. Well-trained swimmers performed a graded test and 6 rounds for 60-s, with 30-s of either active or passive recovery. The tethered loads of swimming and active recovery were set at 100%V02max and 50%V02max, respectively. Oxyhemoglobin (O2Hb) and deoxyhemoglobin (HHb) levels at the left vastus lateralis muscle were determined using a NIRS device. Mean value for oxygen uptake during the rest period was higher with active recovery condition than passive recovery condition. O2Hb variations during rest period for active recovery were significantly lower than for passive recovery. HHb variations during rest period for active recovery were significantly higher than for passive recovery. Active recovery during interval swimming was associated with higher oxygen uptake response and lower muscular reoxygenation.

研究分野：トレーニング科学

キーワード：水泳 インターバルトレーニング 休息状態 アクティブレスト

1. 研究開始当初の背景

水泳競技は、50mから1500mまでの距離があり、その競技時間はおおよそ20秒から15分程度と非常に幅広く、その距離によってエネルギー供給機構も異なるため、その距離に応じた適切なトレーニングが必要とされる。そこで、水泳のトレーニングは有酸素性能力改善を目的とした低～中強度のトレーニングから無酸素性能力改善を目的とした高強度のトレーニングまで詳細にカテゴリー分類され、目的に応じてそれらを組み合わせトレーニング負荷を調整している。また、そのトレーニングはコースロープでレーンを仕切られた環境で行われることもあり、ほとんどが運動と休息を繰り返すインターバル泳の形式で行なわれている。このインターバル泳における休息の状態に関して、身体を全く動かさずに休息するパッシブレスト(PR)と低強度運動をしながら休息するアクティブレスト(AR)の2種類の状態が存在している。かつて、インターバル泳はPR状態で休息が行なわれていることがほとんどであったが、乳酸緩衝を早めるなどを目的としてAR状態で休息を行なうようなインターバル泳がトレーニング現場において広く用いられるようになってきており、注目を浴びている。

PR状態におけるインターバル泳に関して、我々は、血中乳酸濃度やエネルギー供給機構などから検討を行ない、トレーニング負荷をコントロールするためには、泳速度だけでなく、休息時間も考慮に入れるべき重要な要素であることを示し、さらに、短距離型・中距離型・長距離型といった泳能力のタイプなどによって、同一の泳速度、同一の休息時間であってもトレーニング負荷が異なることを示した(Shimoyama 2012, 下山 2009, Shimoyama 2003)。しかし、AR状態における

インターバル泳に関しては、Toubekisら(2011)によって、試技終了後の血中乳酸濃度のみで評価されている研究はあるものの、試技中の全身および局所の代謝応答などについては未だ手つかずの研究領域であり、インターバル泳の休息中にどのような回復がなされているのか検討したものは無い。水泳は呼気ガスを採取することや局所筋の酸素動態を測定することが困難な運動形態のため、走運動やペダリング運動と比べ、これらに関する研究が極めて少ないのが現状である。

しかし、我々は水泳中の呼気ガス測定や局所筋の酸素動態測定に関して、近年の研究(伊藤と下山 2013)や予備実験においてその方法論を確立していることから、その方法論を活用することにより、ARを用いたインターバル泳の休息中にどのような回復が行なわれているのか、全身代謝と局所代謝の両側面からより詳細な検討ができ、トレーニングの目的に応じたインターバル泳に関して実践的な示唆を提示できるものと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、インターバル泳における休息状態であるARに焦点をあて、AR中の運動強度や時間についてPRと比較検討することで、トレーニング負荷にどのような影響を与えるかを明らかにし、トレーニングの目的に応じたインターバル泳における実践的な示唆を与えることを目的とした。

3. 研究の方法

1) 被験者

被験者は、週に8回(1回5000m～8000m)程度、日頃から十分にトレーニングを行っている大学男子競泳選手とし、本研究の内容は、新潟医療福祉大学倫理委員会(承認番号17398-130516, 17411-13702)によって承認され、全ての被験者は本研究の目的と意義及び実験の手順などについて、説明を受け、

それらを十分に理解した上で実験に参加した。

2) 実験プロトコル

2)-1 連続的漸増負荷テスト

本研究では、全ての試技において牽引負荷装置を用いた牽引 Kick 泳を行った。インターバル泳テストにおける運動強度を設定するために連続的漸増負荷テストにて、最高酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2peak}$) 測定と $\dot{V}O_{2peak}$ 出現時の牽引負荷 ($@\dot{V}O_{2peak}$) を測定した。なお、インターバル泳テストにおいては各被験者 100% $@\dot{V}O_{2peak}$ の強度で行った。連続的漸増負荷テストの牽引負荷は、1.4kgf から 1 分毎 0.2kgf 漸増負荷し疲労困憊に至るまで行った。

2)-2 インターバル泳テスト

牽引 Kick 泳を用いて各被験者の 100% $@\dot{V}O_{2peak}$ 強度で 60 秒運動+30 秒休息を 6 回行い、休息状態の異なる (PR と AR) インターバル泳テストを行った。休息状態に関して、PR は泳姿勢を保つために験者に支えられながら伏臥位姿勢で行い、AR の強度は、50% $@\dot{V}O_{2peak}$ で行った。

3) 測定項目

3)-1 全身代謝分析

全自動呼気ガス代謝分析装置 (インターリハ社製, C-pex1) を用いて、ブレスバイブレス法により、酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) を各被験者の連続的漸増負荷テスト及びインターバル泳テスト中に測定した。被験者には、専用のシユノーケルを装着し、試技開始から試技終了までの呼気ガスを採取した。さらに、被験者の鼻をテープで覆い、口腔からの呼吸を測定した。また、インターバル泳テスト中の各休息期における 30 秒間の $\dot{V}O_2$ の最高値と最低値の差を、 $\dot{V}O_2$ の減少量 ($\dot{V}O_2$) として算出した。

3)-2 局所代謝分析

局所筋酸素動態を近赤外光測定装置 (オメガウェア社製, オメガモニター-BOM-L1TRW)

を用いて測定した。この装置では、1 つの送光用プローブから、波長 780nm, 810nm 及び 830nm の 3 波長の近赤外光を組織に向け発光し、2 つの受光用ディテクター、酸素化ヘモグロビン (O_2Hb) 及び脱酸素化ヘモグロビン (HHb) を測定した。測定部位は被験者の右脚外側広筋であり、腸骨から膝蓋骨上端までの距離 1/3 の長さを規定の箇所として装着した。プローブ及びディテクターの送受光間距離は浅部で 15mm, 深部で 30mm の組織酸素濃度が測定できるように専用ホルダーに入れ貼り付けを行った。さらに、外側広筋は大転子を起始、膝蓋骨上端を停止とし筋走行が斜めに走行しているため、ホルダーの貼り付け方向を筋走行に対して垂直に貼り付けした。NIRS を測定する上で、自然光が生体を透過して測定に与える影響や生体組織での散乱・吸収による減光の個体差があること (浜岡ら, 1994; 山本ら, 2000; 山本, 2006) で遮光対策は必須であり、運動中の動作によってプローブ及びディテクターのズレが生じ、測定に与える影響が考えられるため、多くの先行研究 (樋口ら, 1999; Kawaguchi et al., 2001; Dupont et al., 2003; Buchheit et al., 2009; Ohya et al., 2013) からも固定対策を施している。したがって、遮光及び固定対策のために、ホルダーの上からラバー製バンドを装着した。測定は、呼気ガス分析同様、試技開始から試技終了までを測定し、データ収録を AD 変換機 (Power Lab16/35) を通してサンプリング周波数 10Hz で収録した。また、インターバル泳テスト中の各休息期における 30 秒間の O_2Hb の最高値と最低値の差を、 O_2Hb の増加量 (O_2Hb) とし、HHb の最高値と最低値の差を HHb の減少量 (HHb) として算出した。

3)-3 試技中の心拍数

心拍数の測定は、HR モニター (POLAR 社製, RS400) を用いて測定した。試技中における心拍数の変動を 5 秒毎経時的に測定した。泳

動作中によるトランスミッターのズレを防止するために、被験者の剣状突起を中心にトランスミッターを装着させた後、専用のテープでトランスミッターを覆い固定を行った。連続的漸増負荷テスト及びインターバル泳テストにおいて同様に測定を行った。

3)-4 試技後の血中乳酸濃度

血中乳酸濃度の測定は、試技終了1分後、3分後、5分後を指先より採血し、直ちに自動血中乳酸分析機（アークレイ社製、ラクテート・プロ）を用いて血中乳酸濃度を測定した。血中乳酸値は、最高値を採用した。

4) 統計処理

測定項目は全て平均値 ± 標準偏差で示した。なお、インターバル泳テスト（60秒運動+30秒休息を6回）中における休息時間中の変化量（ $\dot{V}O_2$ 、 O_2Hb 、HHb）を繰り返しのあある二元配置の分散分析法を行った。休息状態の要因とインターバル泳テスト6回毎の要因において相互作用を確認した後、主効果が有意であった場合には、Tukey法の多重比較検定を行った。さらに、インターバル泳テストにおける休息時間中の変化量を6回分で平均し、PRとARの有意差検定を行った。有意差検定として、対応のあるt検定を行った。なお、本研究の有意性は危険率5%未満で判定した。

4. 研究成果

1) 酸素摂取動態

酸素摂取動態に関して、PRおよびAR共に、運動中に酸素摂取量が向上し、休息中においては低下する傾向がみられた。しかし、1回目の休息以降からARはPRと比較して、高い酸素摂取量を維持する傾向がみられた。休息時間中における酸素摂取量の変化量については、休息状態の要因とインターバル泳テストの休息期6回毎の要因とする二元配置分散分析法の結果、有意な主効果は認められなかった。そのため、休息状態の違い（PRとAR）による休息期6回分の $\dot{V}O_2$ を平均し、対応の

あるt検定で比較したところ、有意な差がみられた（ $p < 0.05$ ）。インターバル泳テスト中にPRを挟むことで、ARよりも有意に $\dot{V}O_2$ が大きい結果となった。

2) 局所筋酸素動態

局所筋酸素動態に関して、休息状態の違い（PRとAR）によるインターバル泳テスト中の被験者1名の O_2Hb を図1に示した。

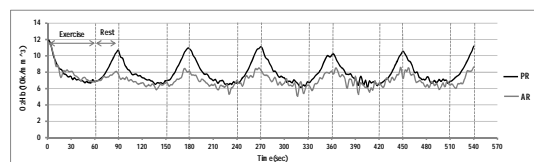


図1 インターバル泳中の O_2Hb 変動

インターバル泳テスト中における O_2Hb は、運動期では低下し、休息期では上昇する傾向がみられた。全被験者において、PRを挟むインターバル泳テストはARに比べて休息期における O_2Hb の増加量が多い傾向がみられた。一方、HHbは運動期では上昇し、休息期では低下する傾向であった（図2）。

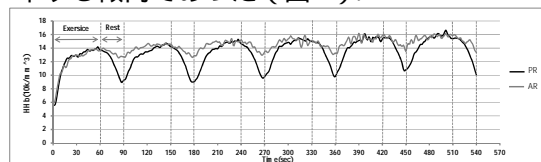


図2 インターバル泳中のHHb変動

全被験者において、PRを挟むインターバル泳テストはARと比較して休息期におけるHHbの減少量が多い傾向がみられた。

休息時間中における酸素化ヘモグロビン量の変化量は、休息時間中における O_2Hb の最高値から最低値の差を O_2Hb として算出した。休息状態の要因とインターバル泳テストの休息期6回毎の要因とする二元配置分散分析法の結果、有意な主効果は認められなかった。そのため、休息状態の違い（PRとAR）による休息期6回分の O_2Hb を平均し、対応のあるt検定で比較したところ、有意な差がみられた（ $p < 0.05$ ）。本研究のインターバル泳テスト中にPRを挟むことで、ARよりも有意に O_2Hb が大きい結果となった。

休息時間中における脱酸素化ヘモグロビン量の変化量について、休息時間中における

HHb の最高値から最低値の差を HHb として算出した。休息状態の要因とインターバル泳テスト中6回毎の要因とする二元配置分散分析法の結果、有意な主効果は認められなかった。そのため、休息状態の違い (PR と AR) による休息期6回分の HHb を平均し、対応のある t 検定で比較したところ、有意な差がみられた ($p < 0.05$)。本研究のインターバル泳テスト中に PR を挟むことで、AR よりも有意に HHb が大きい値となった。

以上の局所筋酸素動態に関する結果より、PR を挟むインターバル泳テストにおいて、AR よりも筋中の再酸素化が高まり、活動筋内におけるクレアチン燐酸の再合成が促進されたと考えられる。さらに、PR を挟むインターバル泳の運動期では、AR に比べ ATP-PCr 系からのエネルギー供給がより多く関与していると推察される。さらに、休息期における休息開始時(運動終了時)から休息終了時(運動開始時)の $\dot{V}O_2$ の減少量を $\dot{V}O_2$ とし、AR を挟むインターバル泳テスト中の $\dot{V}O_2$ は PR と比較して有意に低い値 ($p < 0.05$) が認められたことから、休息期における AR は PR に比べて、AR の下肢動作により休息期におけるエネルギー需要量が高まり、より高い酸素摂取が行われていたことが考えられる。それを裏付ける結果として、AR の HHb が PR と比較して有意に低い値がみられた ($p < 0.05$)。そのことから、AR の下肢動作によって、活動筋における酸素利用が高まり、休息期における HHb が維持されることが推測される。

3) 心拍数の変動

インターバル泳テスト中の心拍数の変動について、休息状態の違い (PR と AR) により運動期の最高値には、有意な差がみられなかった。インターバル泳テストの各休息期において、PR よりも AR が有意に高い値が認められた ($p < 0.05$)。以上の結果より、休息期における AR の下肢動作により、PR よりも AR 中の心拍数が低下しにくく、有酸素性代謝が促

進されたと推察される。

4) 試技後の血中乳酸濃度

PR と AR の血中乳酸濃度は、それぞれ、 $8.4 \pm 1.9 \text{ mmol/L}$ と $9.1 \pm 1.9 \text{ mmol/L}$ であり、対応のある t 検定で比較したところ、有意差は認められなかった。この結果より、本研究のインターバル泳テスト中で、解糖系によるエネルギー産生が PR と AR で同程度であったと推測される。本研究のインターバル泳テストにおける運動期は、同じ運動強度及び運動時間で行ったため、同一のエネルギー需要量を見積もることができる。そこで、PR を挟むインターバル泳の運動期では、より ATP-PCr 系からのエネルギー供給が行われ、一方、AR を挟むインターバル泳の運動期では、より有酸素性代謝からのエネルギー供給が行われたことが推察される。つまり、休息状態の違いによって、運動期におけるエネルギー供給系の割合が異なるのではないと思われる。

以上のことから、インターバル泳中の休息状態は、全身代謝及び局所代謝に及ぼす影響が大きく、競泳インターバルトレーニングを設定する上で考慮すべき重要な要素であることが示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計3件)

Shimoyama Y, Wada T. Influence of active and passive recovery on physiological responses during rest period in interval swimming. 2015 ASICS Sports Medicine Australia Conference. 2015.

Shimoyama Y, Ito S, Nara R, Baba Y, Ichikawa H, Nagano Y, Wada T, Sato D. Active recovery effects on oxygen uptake and muscle oxygenation during interval swimming. Be Active 2014: Australian Conference of Science and Medicine in Sport. 2014.

Shimoyama Y, Ito S, Nara R, Baba Y, Sengoku Y, Ichikawa H, Sato D. Effects of active and passive recovery on

muscle oxygenation during interval swimming. XIIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming. 2014.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下山 好充 (SHIMOYAMA, Yoshimitsu)
新潟医療福祉大学・健康科学部・教授
研究者番号：20375364

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()