

中京大学博士審査学位論文

大学院体育学研究科

競泳のクロールにおけるトレーニング強度指標としての
critical swimming velocity と **critical stroke rate** の検証とその応用

Verification and application of critical swimming velocity and critical stroke rate

as training intensity indices in front crawl swimming

2020年3月20日 学位授与

府内 勇希

目次

用語の解説 1

関連論文 4

第1章 序論

第1節 競泳のトレーニング法 6

第2節 研究小史 8

第3節 問題の所在と研究の目的 12

第2章 全身泳、プル泳およびキック泳におけるトレーニング強度指標としての **critical swimming velocity**

1. 目的 15

2. 方法 15

3. 結果 20

4. 考察 24

5. 小括 28

第3章 全身泳におけるトレーニング強度指標としての **critical stroke rate**

1. 目的 30

2. 方法 30

3. 結果 35

4. 考察	37
5. 小括	41

第4章 プル泳におけるトレーニング強度指標としての critical stroke rate

1. 目的	43
2. 方法	43
3. 結果	47
4. 考察	51
5. 小括	55

第5章 総括

第1節 まとめ	57
第2節 体育学への貢献および今後の展望	59

謝辞

参考文献

用語の解説

本研究で用いる用語の意味は、以下の通りである。

- 全身泳

上肢と下肢を使った通常の泳ぎ方による泳様式。

- プル泳

専用のブイを股に挟んで下肢筋活動を制限し、上肢のみで泳ぐ泳様式。

- キック泳

専用のブイの上に両腕を置いて上肢筋活動を制限し、下肢のみで泳ぐ泳様式。

- 連続泳トレーニング

休息を挟まずに泳ぎ続けるトレーニング法。トレーニング強度と泳距離が構成要素となる。

- インターバルトレーニング

休息を挟みながら複数の試技を泳ぎ続けるトレーニング法。トレーニング強度、泳距離、反復回数、休息時間が構成要素となる。

- 全力泳

設定された泳速度や距離での最大努力泳のこと。

- 間欠泳テスト

回流水槽において、インターバルトレーニングを模擬し休息を挟みながら複数回の試技を泳ぐテスト。第2章で用いている。

- インターバルテスト

通常のプールにおいて、インターバルトレーニングを模擬し休息を挟みながら複数回の試技を泳ぐテスト。第3、4章で用いている。

- ストロークレート (SR: stroke rate)

1分あたりのストローク回数のこと (cycles/min)。

- ストローク長 (SL: stroke length)

1かきあたりで進む距離のこと (m/stroke)。

- 30分間全力泳テスト (T-30)

トレーニング強度の基準を決定するためのフィールドテストのこと。T-30では、採血や呼気ガスの測定は行わず、泳距離を測定し平均泳速度を算出する。T-30での平均泳速度は、乳酸蓄積開始点 (OBLA: onset of blood lactate accumulation) に相当するとされている。

- Threshold Endurance Training

競泳の持久的トレーニングを強度によってカテゴリー分けした場合、血中乳酸濃度が3

～5 mmol/L に相当する強度のこと。この強度のトレーニングを行うことで、乳酸酸化能力や最大酸素摂取量の向上が期待できる。なお、持久的トレーニングのうち、Threshold Endurance Training より低い強度は Basic Endurance Training（血中乳酸濃度が1～3 mmol/L）、また高い強度は Overload Endurance Training（血中乳酸濃度が6 mmol/L以上）にカテゴリー分けされる。

関連論文

本論文は以下の 3 編の論文に基づいて構成されている。

1. 府内 勇希, 北島 正樹, 若吉 浩二, 野村 照夫, 荻田 太, 高橋 繁浩, 北川 薫
(2006) 三つの泳様式における critical swimming velocity の検討. 日本水泳・水中運動学会年次大会論集. 43-46. (第 2 章を構成)
2. 府内 勇希, 松波 勝, 田場 昭一郎 (2016) 競泳選手のインターバルトレーニングにおける Critical Stroke Rate の活用. 水泳水中運動科学. 19: 1-7. (第 3 章を構成)
3. Funai Y., Matsunami M., Taba S. (2019) Physiological responses and swimming technique during upper limb critical stroke rate training in competitive swimmers. Journal of Human Kinetics. 70: 61-68. (第 4 章を構成)

第 1 章

序 論

第1節 競泳のトレーニング法

第2節 研究小史

第3節 問題の所在と研究の目的

第1節 競泳のトレーニング法

競泳にはクロール、背泳ぎ、平泳ぎ、バタフライの4泳法がある。競泳の公式競技会において、4泳法で共通して実施される泳距離は、50m、100m、200mであるが、これらに加えてクロールでは、400m、800m、1500mも実施されている。これらのパフォーマンスは、上肢と下肢の推進力によって構成され、泳法や泳距離によって推進力に対する上肢と下肢の貢献度は異なるとされている (Deschodt et al., 1999; Mosterd and Jongbloed, 1964; Silveira et al., 2017)。

競泳のトレーニングでは、全身泳だけでなく局所的に代謝能力や泳技術を向上させることを目的として、上肢のみで泳ぐプル泳や下肢のみで泳ぐキック泳も行われている。Ogita et al. (1996) は、競泳選手を対象に、クロールにおいて三つの泳様式の最大酸素摂取量を測定した。その結果、全身泳、プル泳、キック泳のそれぞれで 3.23 ± 0.42 L/min、 2.53 ± 0.37 L/min、 2.93 ± 0.37 L/min となり、全身泳に対するプル泳とキック泳の割合は、それぞれ 78.2% と 91.0%であったことを報告している。また、Bucher (1975) は、クロールにおいて全身泳の泳速度に対するプル泳とキック泳の泳速度は、研究対象者の競技レベルに関わらずプル泳が 90%、キック泳が 60%程度であったことを報告している。さらに、Mosterd and Jongbloed (1964) は、競泳選手における全身泳、プル泳、キック泳での全力泳時の牽引力を測定したところ、クロールでの全身泳に対するプル泳の牽引力は 80%以上となり、キック泳では 30%程度であったことを報告している。このように、競泳選手の全身泳、プル泳、キック泳での代謝特性や推進効率は泳様式間で違いがあり、このことはトレーニングメニューを作成するうえで重要な知見となっている。

競泳のトレーニングの種類には、休息を挟まずに泳ぎ続ける連続泳トレーニングと、休息を挟みながら間欠的に複数回の試技を繰り返すインターバルトレーニングがある。Gullstard et al. (1987) は、連続泳と間欠泳を同一の泳速度で行った時の無酸素性代謝によるエネルギー供給量は、連続泳時の方が高いことを報告している。その要因としては、インターバルトレーニングのような間欠泳では、休息時間に酸素摂取量が大幅に低下することなく、その結果として乳酸の酸化が促進されるためだと考えられている (Olbrecht et al., 1985)。こうしたことから、連続泳トレーニングでは設定できる強度には上限があり、一方でインターバルトレーニングでは、トレーニング強度を低く見積もってしまう可能性が考えられる。このように、両トレーニングとも留意すべき点はあるものの、現在の競泳の指導現場では泳距離、強度、反復回数、休息时间などのトレーニングの構成要素を変えることにより、高強度にも対応できるインターバルトレーニングが主たる方法となっている (Maglischo, 2003)。

競泳選手にとって、強化したい体力要素に対して適切な強度でトレーニングを行うことが、パフォーマンスを向上させるための鍵となる。競泳選手のトレーニング強度の設定を行うにあたり、広く認知されているのが乳酸蓄積開始点 (以下、OBLA: onset of blood lactate accumulation)、乳酸性作業閾値 (LT: lactate threshold)、最大乳酸定常 (MLSS: maximal lactate steady state)、無酸素性作業閾値 (AT: anaerobic threshold) などの生理学的指標や、30 分間全力泳テスト (以下、T-30) のフィールドテストである。これらの生理学的指標やフィールドテストは、無酸素性代謝が急激に亢進する泳速度にほぼ一致するとされていることから、トレーニング強度を設定する際の基準、いわゆるトレーニング強度指標として用いられている。したがって、これらのトレーニング強度指標よりも高い泳速度では無酸素性代謝が、また低い泳速度では有酸素性代謝が高まり、強化の目的に応じて泳速度を増減させて強度設定が行われる。

第2節 研究小史

第1節で述べたトレーニング強度指標の決定には、呼気ガスの測定や採血を行う必要があったり測定時に多大な労力を要することから、日常のトレーニングにおいてこれらを頻繁に測定することは極めて困難である。

こうした中、全力泳時の泳タイムと泳距離から簡易的に決定できる **critical swimming velocity** が OBLA と高い相関関係にあることが報告され、さらにトレーニング強度指標としての妥当性も明らかにされている。また、**critical swimming velocity** の概念を応用した **critical stroke rate** が提唱され、これが泳者のストロークレートに基づいたトレーニング強度指標として活用できることが明らかにされている。そこで、**critical swimming velocity** と **critical stroke rate** について以下に整理し簡潔にまとめる。

1) **critical swimming velocity** に関する研究

局所筋の運動持続時間と最大仕事量の間には直線関係が成立することが明らかにされており、その回帰直線の傾きとして算出される **critical power** は、疲労せずに運動を継続できる最大の強度と定義されている (Monodo and Scherrer, 1965)。

Wakayoshi et al. (1992) は、**critical power** の概念を水泳の全身泳に応用し、回流水槽において6つの泳速度での全力泳タイムと泳距離との間に直線関係 ($r^2 = 1.000$) が成立することを明らかにした。この回帰直線の傾きは、**critical swimming velocity** (以下、CV) と称され、理論的には疲労困憊に至ることなく泳ぎ続けることのできる最大の泳速度になることが報告されている。また、この研究では、CV が OBLA や 400m 全力泳のパフォーマンスと極め

て高い相関関係にあることが示されており、CV が泳者の持久的パフォーマンスを評価する指標として有効であることが明らかにされている。

その後、Wakayoshi et al. (1993) は、通常のプールにおいて 200m と 400m の全力泳で決定した CV を用いた 400m×4 試技のインターバルトレーニングでのトレーニング強度について検討した結果、CV は乳酸が蓄積することなく泳ぎ続けることのできる最大の泳速度になることを明らかにした。したがって、CV はインターバルトレーニングにおいて、無酸素性代謝が急激に亢進し始める強度とみなされ、トレーニング強度を設定する際の基準の泳速度として活用できるとされている。また、Takahashi et al. (2009) によって、インターバルトレーニングの強度設定を行う際の基準となる CV は、300m 全力泳のみで決定できることも報告されている。

一方、Dekerle et al. (2010) は、CV で連続泳トレーニングを行ったところ、酸素摂取水準は $95 \pm 8\% \dot{V}O_{2max}$ に達し、 $24.3 \pm 7.7 \text{ min}$ しか継続できなかったことを明らかにした。また、Toubekis et al. (2013) は、CV は最大乳酸定常の泳速度よりも 3~6% 高いことを指摘している。このことから、CV は連続泳トレーニングに用いることによって、無酸素性代謝への依存率が高まり、乳酸が蓄積するトレーニング強度になると考えられている。さらに、Pelarigo et al. (2011) は、最大乳酸定常より高い強度の連続泳トレーニングでは、1 分あたりのストローク回数、すなわちストロークレートが上昇し、疲労が蓄積することを指摘している。

近年では、全身泳において CV を基準にして強度設定を行った際のインターバルトレーニングについて、生理学的観点からの検証が行われている (Dekerle et al., 2010; Ribeiro et al., 2010; Toubekis et al., 2011-B; Tsalis et al., 2012)。また、CV を用いたトレーニングの効果としては、400m 全力泳のパフォーマンスや乳酸性作業閾値が高まることも明らかにされてい

る (Machado et al., 2011; Toubekis et al., 2011-A)。さらに、Toubekis et al. (2013) は、CV の 98~102%でのトレーニングでは、 $\dot{V}O_{2max}$ が向上する可能性を示している。

以上のことから、CV には、いくつかの全力泳の泳タイムを測定するだけで簡単に算出でき、かつ非侵襲的に決定できるという利点がある。また、CV はインターバルトレーニングの強度指標として妥当であるうえ、CV を用いたトレーニングは持久的パフォーマンスを高めるうえで有効であるとされている。

2) critical stroke rate に関する研究

競泳の競技会やトレーニングでは、泳者の泳速度とストロークレートとの関係から泳技術が評価されている。ストロークレートとは、1分あたりのストローク回数のことで、通常は、ストロークレートが高まることによって泳速度が上昇する。しかしながら、泳速度が一定の場合にストロークレートが上昇すると、ひとかきあたりで進む距離、すなわちストローク長が短縮したこととなり、泳技術が低下したと判断される。

Dekerle et al. (2002) は、クロールの全身泳において CV の概念を応用し、全力泳タイムと総ストローク数との間に直線関係 ($r > 0.999$) が成立することを明らかにした。この回帰直線の傾きは critical stroke rate (以下、CSR) と称され、CSR は理論的には疲労困憊に至ることなく泳ぎ続けることのできる最大のストロークレートになることが報告されている。この先行研究では、水中運動対応型メトロノームを用いて CSR で 30 分間の連続泳トレーニングを行い、この時の泳速度と CV との間に差異がないことを明らかにしている。また、連続泳トレーニング直後の血中乳酸濃度は 3.73 ± 0.96 mmol/L となったことに加え、運動中の 50m 毎のタイムも安定したことから、ストローク長も一定であったことを報告している。

このことから、CSR は CV と同じように、トレーニング強度の基準として活用できるうえ、泳技術を管理するのに役立つ指標になると結論づけている。

その他の CSR に関する研究では、CSR をトレーニング強度として用いるのではなく、CV でのストロークレートと CSR の関係性が検証されている。Barden and Kell (2008) は、クロールの全身泳において、CV を基準にトレーニング強度の設定を行った 100m×8 試技の漸増負荷インターバルトレーニング中のストロークレートの変化を検証した。その結果、CV の泳速度を超えるとストロークレートは急増し、この急増点が CSR に相当することを示唆している。また、Tsalis et al. (2012) は、競泳選手において、CV での 300m×5 試技もしくは 400m×5 試技のインターバルトレーニングを行った時のストロークレートは、CSR と差がなかったと報告している。

以上より、CSR は無酸素性代謝が急激に亢進する泳速度を判断するストロークレートになることから、ストロークレートに基づくトレーニング強度指標として活用できると考えられている。

第3節 問題の所在と研究の目的

競泳のトレーニングにおいて、従来から活用されてきたトレーニング強度指標を決定するためには、採血を行わなければならなかったり高価な測定機器を必要とする。また、測定時に多大な労力を要することも課題とされてきた。

こうした中、簡易的に決定できる点で、競泳の指導現場での実用性は高いと考えられるCVは、泳者の主たるトレーニング法となっているインターバルトレーニングの強度指標として活用できることが明らかにされてきた (Takahashi et al., 2009; Wakayoshi et al., 1993)。しかしながら、CVは全身泳のみで研究が進められており、競泳の重要なトレーニング法であるプル泳やキック泳では十分な検討がなされていないという問題点がある。全身泳ならびにプル泳、キック泳の各様式間では、最大および最大下運動において代謝特性は異なることが確認されており (原田ら, 1996; Holmer, 1974; Ogita et al., 1996; Ribeiro et al., 2015)、CVでも泳様式間で差異があるかどうか検討する必要がある。

また、Dekerle et al. (2002) によって、CSRはストロークレートに基づくトレーニング強度指標として妥当であることが明らかにされている。しかしながら、この先行研究では、全身泳の連続泳トレーニングでの生理学的パラメーターやストロークのパラメーターについて検証を行っているという問題点がある。松波ら (2000) は、連続泳トレーニングに用いた泳速度をインターバルトレーニングに用いると、トレーニング強度が低下する可能性を指摘している。したがって、CSRをインターバルトレーニングでも活用するためには、間欠的なテストにおいてトレーニング強度を検討することが不可欠である。こうした問題点に加え、CVと同じようにCSRも全身泳だけで検討がなされている。クロールでは、推進力に対する上肢の貢献度が90%以上と他の泳法に比べて高いとされている (Silveira et al., 2017)。

クロールにおいて上肢の貢献度が高いことは、プル泳でも全身泳と同様に CSR が活用できると考えられ、プル泳でも CSR を用いた際のトレーニング強度や泳技術について検討する余地がある。

そこで本研究では、クロールにおいて、CV や CSR をインターバルトレーニングに用いる際の具体的な資料を得ることを目的に、以下の3点について検討した。

1. 全身泳、プル泳およびキック泳の各泳様式において、CV での間欠泳中のトレーニング強度を明らかにすること、ならびに各泳様式における CV の相互関係を検証すること（第2章）。
2. 全身泳において、CSR でのインターバルトレーニング中のトレーニング強度や泳技術を明らかにすること（第3章）。
3. プル泳において、CSR と CV でのインターバルトレーニング中のトレーニング強度や泳技術について検証し、両トレーニングでの違いを明らかにすること（第4章）。

第 2 章

全身泳、プル泳およびキック泳におけるトレーニング強度指標としての **critical swimming velocity**

1. 目的
2. 方法
3. 結果
4. 考察
5. 小括

1. 目的

全身泳、プル泳およびキック泳の各泳様式において、CV での間欠泳中のトレーニング強度を明らかにすること、ならびに各泳様式における CV の相互関係を検証すること。

2. 方法

2-1. 研究対象者

研究対象者は、クロールを専門種目とする男子大学競泳選手 14 名（中長距離泳者が 10 名、短距離泳者が 4 名）で、いずれも日本学生選手権に出場するレベルの泳者であった。研究対象者の年齢は 19.8 ± 0.8 歳、身長は 176.0 ± 5.8 cm、体重は 67.6 ± 6.9 kg であった。研究対象者には事前に実験の内容、考えられるリスクについて詳細な説明を行い、その結果、研究対象者は本研究の趣旨および内容を理解した上で書面によって実験に参加することを承諾した。なお、本研究は中京大学体育学研究科倫理委員会の承認を得て行った（2005 年 7 月 12 日承認）。

2-2. プル泳とキック泳の規定

本研究におけるプル泳とキック泳は、競泳のトレーニング法として一般的に用いられている形式と同様とした。すなわち、プル泳ではトレーニング用ブイ（ARN-100, アリーナ社製）を股に挟むことで下肢筋活動を制限し、キック泳ではトレーニング用ブイ（83PE-40, スピード社製）の上に両腕をおき上肢筋活動を制限した。なお、研究対象者はこれらのブイの利用には習熟しており、その浮力を利用し安易に水平姿勢を保つことができた。

2-3. 測定手順

2-3-1. 最大酸素摂取量の推定

Rinehardt et al. (1991) の方法に基づき、クロールでの全身泳、プル泳およびキック泳の最大酸素摂取量（以下、 $\dot{V}O_{2max}$ ）を推定した。この先行研究では、183～457mの全力泳直後の呼気ガスから推定した $\dot{V}O_{2max}$ が、漸増負荷法によって決定した $\dot{V}O_{2max}$ と差異がなかったことを明らかにしている。研究対象者は、25mプールにてすべての泳様式で200m全力泳を行い、その直後に検者がプールサイドから研究対象者の顔にマスク（Series 7910, ルドルフ社製）をあて、20秒間の呼気をダグラスバックに採取した。この測定にあたって、研究対象者には195m地点から全力泳終了後にマスクが装着されるまでの間は呼吸をしないように指示した。測定姿勢は、水中での立位とした。採取した呼気中の酸素濃度、二酸化炭素濃度は呼気ガス分析器（AE-300S, ミナト医科学社製）を用いて、また換気量の測定は流量計（DC-5, 品川精機社製）を用いて行った。これらの結果から求めた値を $\dot{V}O_{2max}$ とした。なお、プールの水温は $30.0 \pm 0.5^{\circ}C$ であった。

2-3-2. CVの決定

Wakayoshi et al. (1992) の方法に基づき、クロールにおいて、全力泳タイムと泳距離との回帰直線の傾きによって三つの泳様式のCVを決定した（Figure 1）。CVの決定は、研究対象者に定められた負荷を与えるため垂直循環型回流水槽（AQUAGYM, 石川島播磨重工業社製）にて行った。全力泳タイムの目安が30秒、60秒、120秒、240秒、360秒となる5つの泳速度（泳速度は1.2～1.7 m/s、キックは0.8～1.25 m/sの範囲）を設定し、それらの泳速度で研究対象者に疲労困憊まで泳ぎ続けるように指示した。合計15回の測定は順不同で行った。測定の際、研究対象者は開始の合図まで水流に流されないように検者が持つロープに

つかまり泳ぐ姿勢を保った。研究対象者の身体の位置は回流水槽のほぼ中間になるように、ロープを持つ検者に指示した。全力泳タイムの判断は、研究対象者が疲労困憊で泳ぎきれなくなり身体の位置が測定開始時から 1m 後方に下がるまでの時間とした。また、泳距離は全力泳タイムと泳速度を乗じて求めた。なお、回流水槽の水温は $28.0 \pm 1.4^{\circ}\text{C}$ であった。

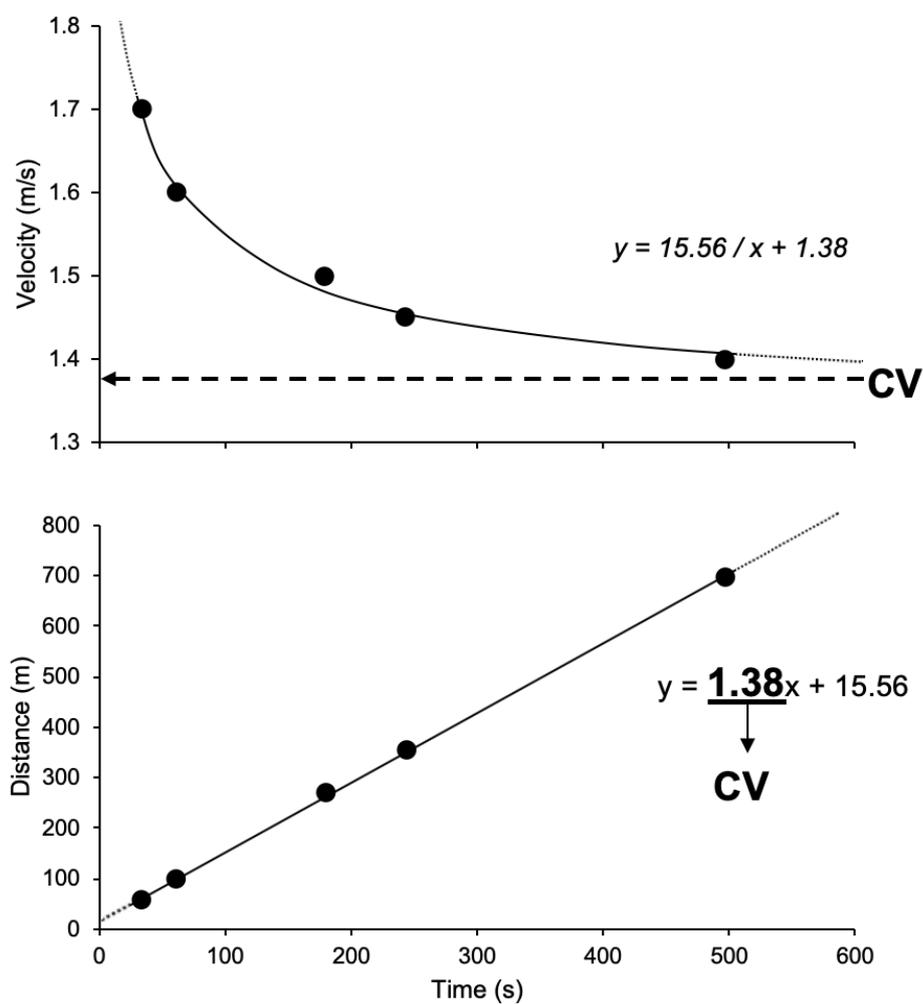


Figure 1. Method for determining critical swimming velocity (CV).

2-3-3. 間欠泳テスト

垂直循環型回流水槽において、すべての泳様式で CV を泳速度とした 5 分間泳を 4 試技繰り返す間欠泳テストを行った (Figure 2)。各試行間の休息では、回流水槽を一旦停止させ水槽内で立位姿勢を保たせた。休息時間は 60 秒間とし、この時間内に回流水槽の停止や開始、血中乳酸濃度測定のための採血を行った。測定項目は、酸素摂取量 (以下、 $\dot{V}O_2$)、心拍数 (以下、HR)、血中乳酸濃度 (以下、BLa)、酸素摂取水準 (以下、 $\% \dot{V}O_{2max}$) とした。採血は毛細管 (20 μ L) を用いて各試技直後に行った。BLa の測定には、乳酸分析器 (BIOSEN5030, Envitec 社製) を用いた。 $\dot{V}O_2$ および HR は、各試技において定常状態と考えられる 4 分から 5 分までの測定値を各試技の値とした。 $\dot{V}O_2$ の測定には、マウスピース型マスクを用いて採気し、 $\dot{V}O_{2max}$ の推定時と同じ装置を用いて測定した。また、HR はハートレートモニター (ACCUREX PLUS, Polar 社製) を用いて測定した。なお、回流水槽の水温は $28.1 \pm 1.4^\circ\text{C}$ であった。

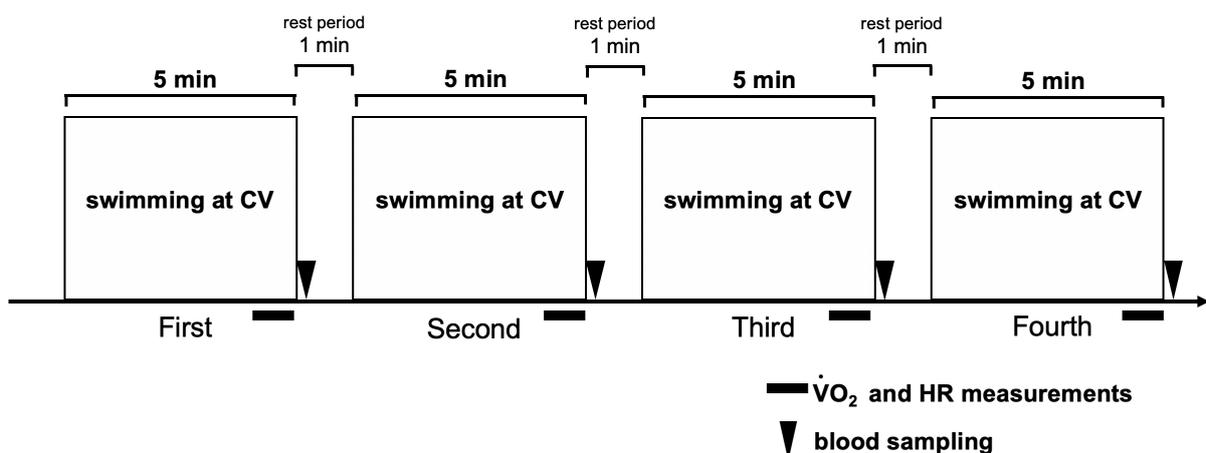


Figure 2. The experimental design of intermittent swimming test at critical swimming velocity (CV).

2-4. 統計処理

本研究で得られたすべての測定データは、平均±標準偏差（mean±SD）で示した。各泳様式間の $\dot{V}O_2\text{max}$ の差の検定には、繰り返しのある一元配置分散分析を用いた。間欠泳テストでの各測定項目の結果は、繰り返しのある二元配置分散分析（泳様式×試技回数）を行い、Tukey法による多重比較を用いて有意性を検討した。また、それぞれの泳様式間のCVの関係性については、ピアソンの相関係数を用いて有意性を検定した。なお、有意水準は危険率5%未満（ $P < 0.05$ ）とした。

3. 結果

3-1. 三つの泳様式の $\dot{V}O_2\text{max}$

全身泳、プル泳、キック泳の $\dot{V}O_2\text{max}$ は、それぞれ 58.5 ± 6.1 ml/kg/min、 51.8 ± 6.0 ml/kg/min、 53.7 ± 5.6 ml/kg/min となり、全身泳とプル泳間で有意差があった ($P < 0.05$)。

3-2. 間欠泳テスト

間欠泳テストで得られた結果を Table 1 に示した。Table 1 での whole-body、arm stroke、leg kick は、それぞれ全身泳、プル泳、キック泳のことである。 $\dot{V}O_2$ は、全身泳において 2 試技目と 4 試技目の値が 1 試技目よりも有意に上昇した ($P < 0.05$)。プル泳では 3 試技目と 4 試技目の値が 1、2 試技目よりも有意に上昇した ($P < 0.05$)。一方、キック泳では試技間で有意な変化は認められなかった ($P > 0.05$)。また、 $\% \dot{V}O_2\text{max}$ は、それぞれの泳様式において試技間の差異は、 $\dot{V}O_2$ と同様であった。HR については、全身泳とプル泳で 2 試技目以降の値が 1 試技目よりも有意に上昇し ($P < 0.05$)、さらに 4 試技目は 2 試技目よりも有意に高かった ($P < 0.05$)。また、キック泳では 1 試技目よりも 2 試技目で ($P < 0.05$)、4 試技目では 1~3 試技目よりも有意に上昇した ($P < 0.05$)。また、BLa では、全身泳とキック泳において、3 試技目以降で有意に低下した ($P < 0.05$)。

各測定項目を泳様式間で比較したところ、 $\dot{V}O_2$ と HR は、すべての試技において、全身泳がプル泳とキック泳よりも有意に高かった ($P < 0.05$)。BLa はすべての試技において、キック泳が全身泳とプル泳よりも有意に高かった ($P < 0.05$)。また、 $\% \dot{V}O_2\text{max}$ は、1 試技目では全身泳がプル泳よりも、2 試技目では全身泳がプル泳、キック泳よりも有意に高かった

($P < 0.05$)。4 試技目においては、全身泳、プル泳がキック泳より有意に高い値となった

($P < 0.05$)。

3-3. 三つの泳様式の CV

全身泳、プル泳、キック泳の CV は、それぞれ 1.30 ± 0.07 m/s、 1.32 ± 0.08 m/s、 0.92 ± 0.04 m/s であった。すべての泳者において、CV を決定する際の全力泳タイムと泳距離との相関係数は 0.997 以上であった。

Figure 3 には、泳様式間での CV の関係性を示した。Figure 3 での whole-body、arm stroke、leg kick は、それぞれ全身泳、プル泳、キック泳のことである。全身泳とプル泳との間で有意な相関関係が確認されたが (Figure 3-A, $r = 0.892$, $P < 0.05$)、全身泳とキック泳間、ならびにプル泳とキック泳間では関係性はなかった (Figure 3-B と Figure 3-C, $P > 0.05$)。

Table 1. Physiological variables during intermittent swimming test.

		First	Second	Third	Fourth
$\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)	whole-body	50.0 ± 7.1	52.1 ± 7.3 ^a	51.3 ± 6.5	52.0 ± 6.1 ^a
	arm stroke	41.8 ± 6.0	42.4 ± 5.3	44.8 ± 8.3 ^{a, b}	44.7 ± 6.1 ^{a, b}
	leg kick	44.2 ± 5.8	45.0 ± 5.5	45.1 ± 6.2	43.8 ± 5.8
HR (beat/min)	whole-body	157.0 ± 11.0	161.7 ± 11.1 ^a	163.4 ± 12.5 ^a	165.6 ± 11.1 ^{a, b}
	arm stroke	144.6 ± 10.4	150.3 ± 12.1 ^a	151.9 ± 12.6 ^a	152.9 ± 13.0 ^{a, b}
	leg kick	149.9 ± 9.3	153.7 ± 11.6 ^a	151.6 ± 10.8	156.8 ± 13.0 ^{a, b, c}
BLa (mmol/L)	whole-body	5.1 ± 1.8	4.8 ± 2.0	4.3 ± 1.9 ^{a, b}	4.4 ± 1.9 ^a
	arm stroke	4.6 ± 1.8	4.9 ± 2.0	4.8 ± 2.2	4.7 ± 2.3
	leg kick	6.8 ± 2.0	6.8 ± 2.3	6.1 ± 2.3 ^{a, b}	5.5 ± 1.9 ^{a, b, c}
$\% \dot{V}O_2 \max$	whole-body	85.4 ± 7.4	89.0 ± 7.3 ^a	87.8 ± 7.0	89.0 ± 6.4 ^a
	arm stroke	80.6 ± 6.7	82.1 ± 8.1	86.6 ± 8.0 ^{a, b}	86.4 ± 6.9 ^{a, b}
	leg kick	82.7 ± 10.2	84.0 ± 8.7	84.4 ± 10.0	81.9 ± 10.6

$\dot{V}O_2$: oxygen uptake; HR: heart rate; BLa: blood lactate concentration; $\% \dot{V}O_2 \max$: % of the maximal oxygen uptake.

* $P < 0.05$, significant differences among the swimming style.

^a $P < 0.05$, significantly different from the first bout; ^b $P < 0.05$, significantly different from the second bout; ^c $P < 0.05$, significantly different from the third bout.

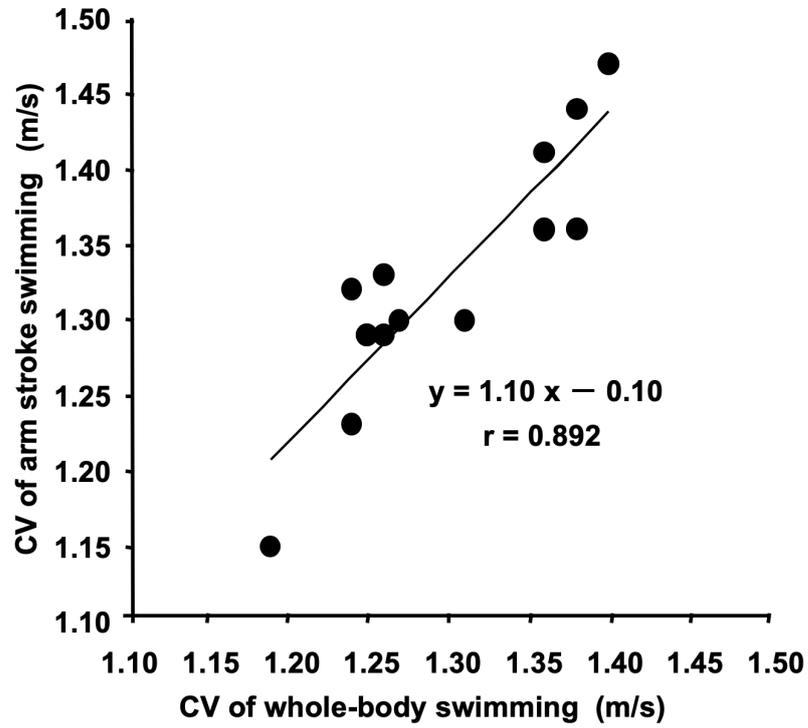


Figure 3-A. Relationship between CV of whole-body swimming and CV of arm stroke swimming. CV: critical swimming velocity.

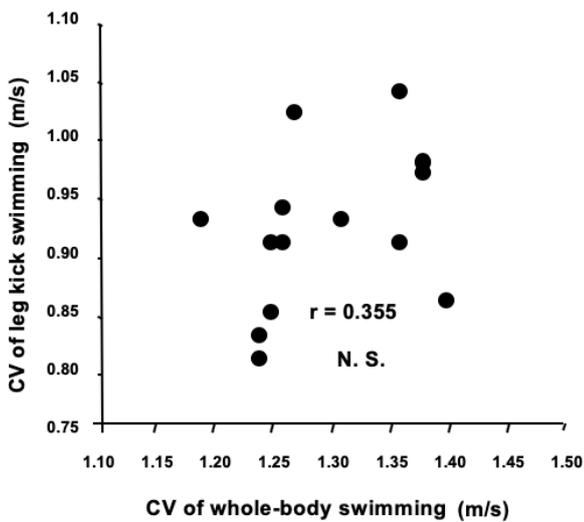


Figure 3-B. Relationship between CV of whole-body swimming and CV of leg kick swimming. CV: critical swimming velocity.

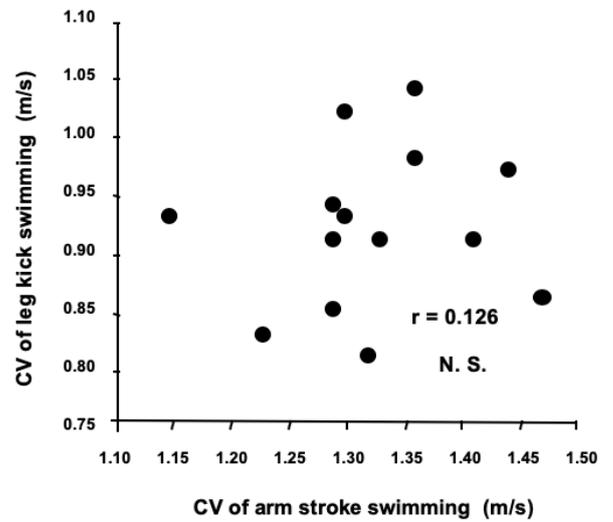


Figure 3-C. Relationship between CV of arm stroke swimming and CV of leg kick swimming. CV: critical swimming velocity.

4. 考察

本研究の目的は、全身泳、プル泳およびキック泳の各泳様式において、CV での間欠泳中のトレーニング強度を明らかにすること、ならびに各泳様式における CV の相互関係を検証することであった。

間欠泳テストでの測定項目について、4 回の試技間で比較したところ、 $\dot{V}O_2$ と $\% \dot{V}O_{2max}$ は全身泳とプル泳で、また HR はすべての泳様式で有意に上昇した ($P < 0.05$)。Dekerle et al. (2010) は、全身泳において CV を泳速度とした連続泳トレーニングでは、 $\% \dot{V}O_{2max}$ が $95 \pm 8\% \dot{V}O_{2max}$ まで増加したうえ、BLa は 7.0 ± 3.1 mmol/L まで上昇し、 24.3 ± 7.7 min しか泳ぎ続けることができなかったことを報告している。このことから、CV を連続泳トレーニングに用いると、無酸素性代謝への依存度が高まり運動の継続が困難になると考えられている。一方、全身泳において CV をインターバルトレーニングの泳速度として用いた先行研究では、 $\dot{V}O_2$ や HR は上昇することが示されているが (Dekerle et al., 2010; Toubekis et al., 2011-B)、BLa は試技間で変化しなかったことが報告されている (Dekerle et al., 2010; Takahashi et al., 2009; Toubekis et al., 2011-B; Wakayoshi et al., 1992)。本研究での BLa は、プル泳では 4 回の試技間に有意差はなかったが、全身泳とキック泳では 1 試技目の値がもっとも高く、試技間で有意に低下した ($P < 0.05$)。こうしたことが起こった一つの要因として、全身泳とキック泳では、運動初期での無酸素性代謝によるエネルギー供給量がプル泳よりも高いとされ、全身泳とキック泳の代謝特性として短時間で BLa が蓄積しやすいことが考えられる (荻田ら, 1998)。実際、競泳選手が OBLA で $400m \times 6$ 試技のインターバルトレーニングを行った時の BLa は 1 試技目がもっとも高く、運動中に BLa が有意に低下したことが報告されている (Olbrecht et al., 1985)。こうしたことに加え、間欠泳テスト中にエ

エネルギー供給動態が変化したことによって乳酸の酸化が促進したことにより、全身泳とキック泳において試技間で BLa が低下したと考えられた。このように、全身泳とキック泳の代謝特性が BLa に影響を与えたと考えられるものの、三つの泳様式において BLa は蓄積しない強度になることが示唆された。

間欠泳テストでの各測定項目の結果について、泳様式間で比較を行ったところ、 $\dot{V}O_2$ と HR はすべての試技において全身泳とプル泳間、ならびに全身泳とキック泳間で有意差が確認された ($P < 0.05$)。最大運動 (Reybrouck et al., 1975; Rodriguez et al., 2016) および最大下運動 (Adrian et al., 1966; Davis et al., 1976; Holmér, 1974) において、運動様式の違いによる $\dot{V}O_2$ や HR の差は活動筋量が影響を与えているとされており、本研究におけるこれらの測定項目の差も泳様式間での活動筋量の違いによるものと推察された。一方、プル泳とキック泳間での $\dot{V}O_2$ と HR については、すべての試技で有意差がなかった。一般的に、上肢筋活動と下肢筋活動時の $\dot{V}O_2$ と HR を比較した場合、下肢筋活動時の方が高いことが報告されている (Davis et al., 1976)。これに対し、上肢筋力が競技成績を左右する競泳選手は、下肢と上肢の $\dot{V}O_2$ と HR の相違は一般的な数値よりも小さくなることが報告されている (Seals and Mullin, 1982)。したがって、プル泳とキック泳との間で $\dot{V}O_2$ と HR に違いがなかったことは、競泳選手の競技特性として理解できると考えられる。しかしながら、BLa では、すべての試技においてキック泳とプル泳間ならびにキック泳と全身泳間でも有意差が確認された ($P < 0.05$)。Rodriguez et al. (2016) は、全身泳、プル泳、キック泳での全力泳後の BLa を測定し、キック泳の BLa は他の二つの泳法よりも高かったことを報告している。また、Beneke et al. (2001) は、ボート漕ぎ運動と自転車こぎ運動での最大乳酸定常の値は、それぞれ 2.7mmol/L と 4.5mmol/L であったことを報告している。このように、上肢よりも下肢筋活

動での BLa が高いことは、活動する筋の代謝特性の違いと考えられている (Beneke et al., 2001)。

三つの泳様式間で CV の関係性をみたところ、全身泳とプル泳との間にだけ有意な相関関係が認められた (Figure 3-A, $r=0.892$, $P<0.05$)。Mosterd and Jongbloed (1964) は、競泳の 4 泳法での全身泳、プル泳、キック泳での全力泳時の牽引力を測定した結果、全身泳に対するプル泳の牽引力は、クロールで 80%以上となり、この値は他の 3 泳法と顕著な差があったと報告している。したがって、クロールにおいて推進力の大部分は上肢に依存することから、本研究において全身泳の CV とプル泳の CV との間に有意な相関関係が認められたと考えられる。一方、全身泳の CV とキック泳の CV との間には相関関係はなかった (Figure 3-B, $P>0.05$)。クロールの全身泳における下肢筋活動の重要な役割としては、下肢の安定性を高め、水中姿勢を維持することとされている (Sortwell, 2011; Yanai, 2001)。また、全身泳の推進力に対する下肢の貢献率は、わずか 10%程度と報告されており (Deschodt et al., 1999; Silveira et al., 2017)、熟練した泳者であるほど下肢の貢献率は低くなる (原田ら, 1996)。こうしたことから、全身泳での下肢筋活動とキック泳とでは動作の関連性が低く、キック泳の持続的パフォーマンスが高い泳者であっても、必ずしもそれが全身泳の持続的パフォーマンスに貢献しないと考えられた。さらに、プル泳の CV とキック泳の CV との間にも関係性はなかったが (Figure 3-C, $P>0.05$)、このことは、本研究において全身泳とプル泳との間に高い関係性があったことの傍証であるとも言えよう。以上のことから、プル泳の CV は全身泳の持続的パフォーマンスを反映する指標として活用できることが示唆された。

本研究では、以上のような知見が得られた。しかしながら、本研究では CV の決定と間欠泳テストは回流水槽で行ったため泳者はターンを行う必要がなく、このことが本研究結果に影響を与えた可能性は否定できない。実際、25m プールと 50m プールでの全力泳では、

25m プールでの BLa の値の方が低いことが明らかにされており、これには筋活動が減少する局面であるターンの数が影響を与えていることが指摘されている (Keskinen et al., 2007)。

さらに、本研究の間欠泳では酸素摂取量の測定も行ったことから、採気用のマスクを装着することにより、研究対象者の泳技術が通常のトレーニング時と異なっていた可能性も考えられる。その一方で、最大酸素摂取量の測定だけは通常のプールで行ったことから、 $\dot{V}O_{2max}$ については改めて検討する必要がある。したがって、本研究では、三つの泳様式における CV でのトレーニング強度に関する基礎的データは得られたと考えられるものの、トレーニングで CV を活用するためには通常のプールにて同様の研究を行う必要がある。また、本研究は全国大会に出場する大学競泳選手を対象に実験を行ったため、測定結果がジュニアの選手やマスターズスイマーでも活用できるかは不明なままである。CV は疲労することなく泳ぎ続けることのできる最大の泳速度と定義されているものの、CV をトレーニングで活用できるのは、少なくとも本研究のような長時間の持久的トレーニングを行う泳力があることは大前提であると考えられる。

5. 小括

本研究では、全身泳、プル泳およびキック泳の各泳様式における CV での間欠泳中のトレーニング強度と、三つの泳様式間での CV の相互関係を検証し、次のことが明らかになった。

- (1) 間欠泳テストでの HR は、全身泳で $157.0 \pm 11.0 \sim 165.6 \pm 11.1$ beat/min、プル泳で $144.6 \pm 10.4 \sim 152.9 \pm 13.0$ beat/min、キック泳で $149.9 \pm 9.3 \sim 156.8 \pm 13.0$ beat/min となり、すべての泳様式において試技間で有意に上昇した。しかしながら、BLa は、すべての泳様式において試技間で上昇しなかった。
- (2) 間欠泳テストでの $\dot{V}O_2$ と HR は、すべての試技において全身泳がプル泳、キック泳よりも有意に高く、BLa はすべての試技においてキック泳が全身泳、プル泳よりも有意に高かった。
- (3) 全身泳の CV とプル泳の CV との間に高い相関関係があった ($r = 0.892$)。

以上より、三つの泳様式における CV での間欠泳では、泳様式間で生理学的反応には違いがあるものの、CV はすべての泳様式において持久的能力の改善を目的とする場合のトレーニング強度指標として基準の泳速度になることが明らかになった。また、クロールにおいてプル泳の CV を高めることは、全身泳の持久的パフォーマンス向上のための重要な要因であることが示唆された。

第3章

全身泳におけるトレーニング強度指標としての **critical stroke rate**

1. 目的
2. 方法
3. 結果
4. 考察
5. 小括

1. 目的

全身泳において、CSR でのインターバルトレーニング中のトレーニング強度や泳技術を明らかにすること。

2. 方法

2-1. 研究対象者

研究対象者は、クロールの中距離および長距離を専門種目とする大学競泳選手 7 名（男子 6 名、女子 1 名）で、いずれも日本学生選手権に出場するレベルの泳者であった。研究対象者の年齢は 19.4 ± 0.8 歳、身長は 170.8 ± 6.2 cm、体重は 64.5 ± 4.9 kg であった。研究対象者には事前に実験の目的や内容、考えられるリスクについて詳細な説明を行い、その結果、研究対象者は本研究の趣旨および内容を理解したうえで書面によって実験に参加することを承諾した。なお、本研究のすべての測定は、研究対象者の安全面に十分配慮して実施した。

2-2. 測定手順

2-2-1. CSR の決定

50m プールにおいて、クロールの全身泳で 200m および 400m 全力泳を行い、Dekerle et al. (2002) と同様の方法によって泳タイムと総ストローク数との直線を求め、その傾きを CSR とした (Figure 4)。各全力泳は、競技会と同様に飛び込み台からのスタートとした。また、それぞれの全力泳は順不同で行った。なお、水温は $29.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ であった。

全力泳での泳タイムは、デジタルストップウォッチ (SVAS003, SEIKO 社製) を用いて測定した。また、50m 毎のラップタイムも測定した。総ストローク数は、日本水泳連盟医科学委員会 (野村ら, 2000) がレース分析時に採用している方法で算出した。すなわち、各 50m での 7.5m~45m 間において、できるだけ多くのストロークから平均ストロークタイムを求め、この値でラップタイムを除した値の総和とした。この時の 1 ストロークは、右手もしくは左手の入水から次の同側の手の入水までの時間として規定した。なお、各測定は総ストローク数を算出するためにデジタルムービーカメラ (HX-WA20-W, Panasonic 社製) を用いて陸上から撮影した。こうした方法によって算出された直線の傾きは、1 秒あたりのストローク数 (cycle/s) として算出されることから、CSR (cycles/min) に換算した。

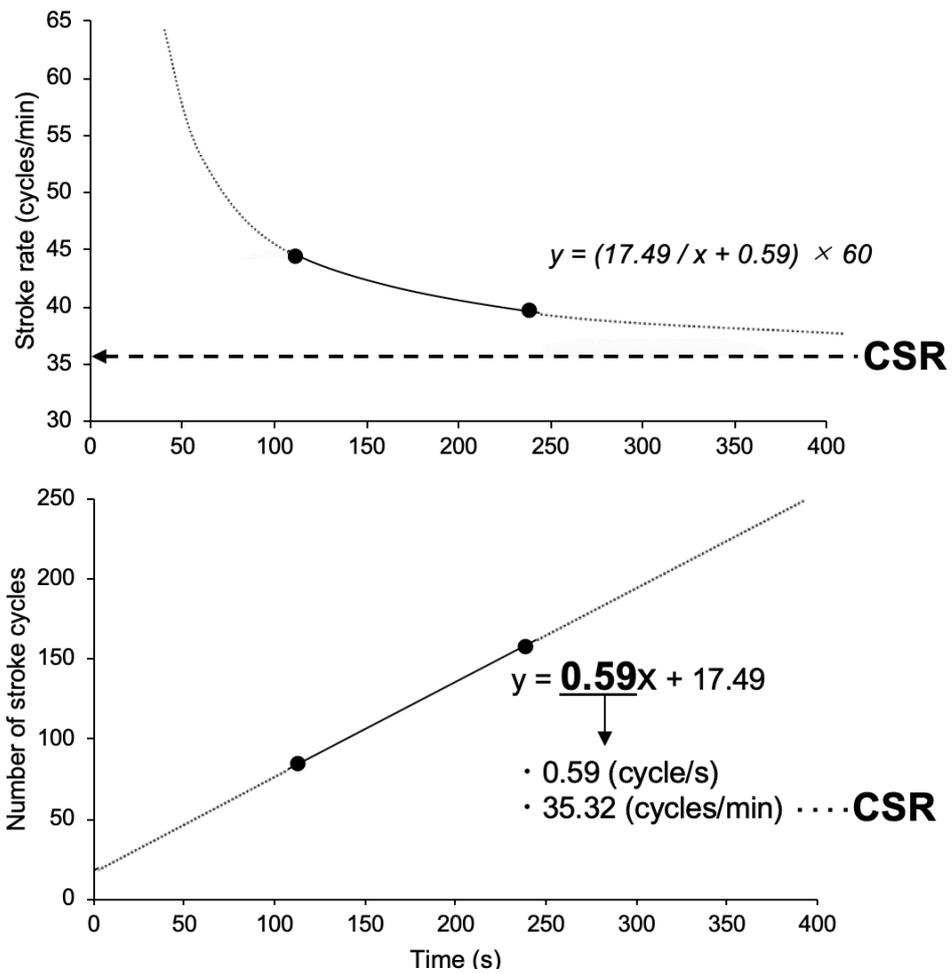


Figure 4. Method for determining critical stroke rate (CSR).

2-2-2. CV の決定

200m および 400m 全力泳を用いて、Wakayoshi et al. (1993) と同様の方法によって泳時間と泳距離との直線を求め、この傾きを CV とした。

2-2-3. インターバルテスト

50m プールにおいて、クロールの全身泳で CSR を用いた 400m×4 試技（試技間の休息は 90 秒）のインターバルテストを行った。このテストにおいて、研究対象者は、設定したストロークレートを電子音で刻む水中運動対応型メトロノーム（Tempo Trainer Pro, Finis 社製, Figure 5）をゴーグルに装着し、その上からスイミングキャップを被った。また、テスト中には、右手もしくは左手指先の入水から次の同側の指先入水までを 1 ストロークとし、電子音に合わせてストロークを行った。なお、このテストでは、具体的なタイムの指示は一切行わなかったが、CSR でできる限り速く泳ぐように指示した。各試技では、デジタルストップウォッチを用いて泳タイムを測定した。また、生理学的パラメーターについては、各試技直後の HR、BLa、主観的運動強度（以下、RPE）を測定した。HR はハートレートモニター（RS400, Polar 社製）を用いて、BLa は簡易型血中乳酸濃度測定器（ラクテートプロ, アークレイ社製）を用いて測定した。また、RPE は Borg スケール（小野寺と宮下, 1976）を用いて研究対象者に対して口頭で尋ねた。ストロークのパラメーターとして、各試技中のストロークレート（以下、SR）とストローク長（以下、SL）を算出した。SR は、CSR を算出した際と同様の方法で平均ストロークタイムを求め、この値から算出した数値（ $=60/\text{平均ストロークタイム}$ ）の平均値とした。SL は、50m 毎のラップタイムと平均ストロークタイムからストローク数（ $=50\text{m のラップタイム}/\text{ストロークタイム}$ ）を求めた後に算出し（ $=50/\text{ストローク数}$ ）、これらの値の平均値とした。なお、SR と SL については、デジタルムービー

一カメラによって陸上から撮影を行い、テスト後に算出した。なお、水温は $29.0 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ であった。



Figure 5. Tempo Trainer Pro
(Approximately 4.8 cm in width, 1.4 cm in thickness and 19.5 g in weight)

2-3. 統計処理

本研究で得られたすべての測定データは、平均±標準偏差 (mean±SD) で示した。インターバルテストにおける泳タイム、HR、BLa、RPE、SR、SL は、繰り返しのある各試技間の一元配置分散分析を行い、Bonferroni 法による多重比較を用いて有意性を検討した。また、インターバルテストにおけるすべての試技での泳タイムを平均した値と、CV から推定した400m の泳タイムの比較には、対応のある t 検定を用いた。なお、有意水準は危険率 5%未満 ($P < 0.05$) とした。

3. 結果

3-1. 全力泳での泳タイムと CSR および CV

本研究における 200m および 400m 全力泳の泳タイムは、それぞれ 118.65 ± 2.28 s、 251.76 ± 6.37 s となり、これらの全力泳から算出した CSR および CV は、それぞれ 35.01 ± 1.49 cycles/min と 1.52 ± 0.05 m/s であった。また、CV から推定した 400m の泳タイムは、 265.70 ± 24.21 s であった。

3-2. インターバルテスト

インターバルテストで得られた結果を Table 2 に示した。インターバルテストにおける泳タイムは、1 試技目と比較して 4 試技目で有意に上昇した。HR はテスト中に変化しなかったが ($P > 0.05$)、BLa は 1 および 2 試技目よりも 4 試技目で有意に増加した ($P < 0.05$)。また、RPE は BLa と同様の変化をしたことに加え、1 試技目よりも 3 試技目で有意に高かった ($P < 0.05$)。ストロークのパラメーターである SR は、試技間で有意差はなく ($P > 0.05$) ほぼ一定とみなされたが、SL は 1 試技目よりも 4 試技目で有意に上昇した ($P < 0.05$)。

インターバルテストでのすべての試技での泳タイムを平均した値は、 275.20 ± 11.68 s であった。このタイムと CV から推定した 400m の泳タイムを比較したところ、有意差はなかった (Figure 6, $P > 0.05$)。

Table 2. Changes of swimming time, HR, BLA, RPE, SR and SL during the interval test.

	First	Second	Third	Fourth
Swimming time (s)	276.86±10.60	275.75±11.37	274.99 ±11.44	273.21±13.53 ^a
HR (beat/min)	156.9±10.7	160.9±5.1	164.4±10.5	167.1±9.2
BLa (mmol/L)	3.1±1.0	3.2±1.1	3.8±1.1	4.8±1.8 ^{a, b}
RPE	13.6±0.8	14.4±0.8	15.4±1.1 ^a	16.7±1.8 ^{a, b}
SR (cycles/min)	34.91±3.94	34.87±3.95	34.97±3.05	34.99±3.92
SL (m/stroke)	2.51±0.27	2.53±0.27	2.53±0.28	2.55±0.30 ^a

^a P < 0.05, significantly different from the first bout; ^b P < 0.05, significantly different from the second bout.

HR: heart rate; BLa: blood lactate concentration; RPE: rated perceived exertion; SR: stroke rate; SL: stroke length.

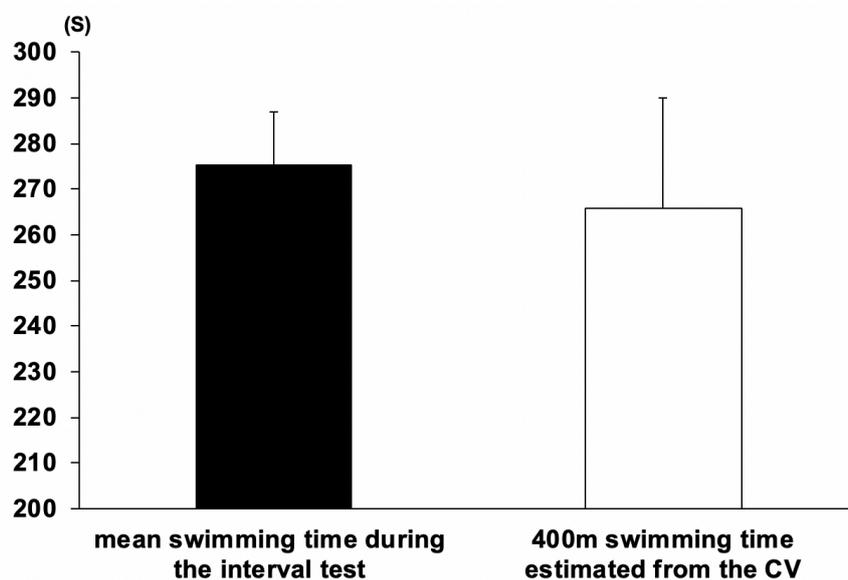


Figure 6. Mean swimming time during the interval test and 400m swimming time estimated from the CV.

CV: critical swimming velocity.

4. 考察

本研究の目的は、全身泳において CSR でのインターバルトレーニング中のトレーニング強度や泳技術を明らかにすることであった。

インターバルテストにおけるすべての試技での泳タイムを平均した値は、 275.20 ± 11.68 s であった。このタイムと CV から推定した 400m の泳タイムを比較したところ、有意差はないことが分かった (Figure 6, $P > 0.05$)。このことから、インターバルテストでは、泳タイムを指示していないにも関わらず、CSR を用いてストロークレートをコントロールするだけで CV に相当する泳タイムで泳ぐことができることが明らかになった。全力泳タイムと泳距離との回帰直線の傾きとして決定される CV は、理論的には疲労困憊に至ることなく泳ぎ続けることのできる最大の泳速度と定義されている (Wakayoshi et al., 1992)。実際には、CV はインターバルトレーニングにおいて、乳酸が蓄積することなく泳ぎ続けることができる最大の泳速度になると報告されている (Wakayoshi et al., 1993; Takahashi et al., 2009)。こうしたことから、CSR は泳速度に基づく指標である CV と同様に、競泳のインターバルトレーニングにおいてストロークレートに基づく強度指標としてコーチングの現場で活用できると考えられる。なお、CSR であっても、研究対象者自身で SL を短縮させることにより遅い泳速度で泳ぐことは可能であると考えられる。したがって、本研究では、CSR でできる限り速く泳ぐように指示したことから、研究対象者は CSR で持続可能な最長の SL で泳いだ可能性がある。

このように、インターバルテストでのすべての試技での泳タイムを平均した値と CV から推定した泳タイムに差はないことが明らかになったが、インターバルテスト中の泳タイムは有意に短縮した ($P < 0.05$)。また、インターバルテスト中の生理学的パラメーターの

変化に着目すると、BLa と RPE はテスト中に有意に上昇した ($P < 0.05$)。この BLa と RPE の変化は、泳タイムの短縮に伴って起こったと考えられ、インターバルテスト中に無酸素性代謝が亢進したことが推察される。しかしながら、Maglischo (2003) は、BLa が 3~5mmol/L の範囲を示した場合、トレーニング強度は Threshold Endurance Training のカテゴリーに分類されると述べている。また、このカテゴリーでの HR は 160~180 beat/min、RPE は 14~16 になることが示されており、本研究における CSR テストでの HR、BLa、RPE の結果は、これらのガイドラインとやや違いがあったものの、その範囲に極めて近い値であった。このトレーニングカテゴリーでは、主に速筋線維における酸素摂取能や乳酸酸化能力の改善、および最大酸素摂取量を改善するトレーニング強度になると考えられている (Maglischo, 2003)。こうしたことから、CSR テスト中のトレーニング強度は Threshold Endurance Training に相当したとみなされ、CSR はインターバルトレーニングにおいて持続的能力の改善を目的としたトレーニング強度になると考えられた。

松波ら (2000) は、トレーニング強度指標としての妥当性が示されている T-30 の測定を行い、テスト後の BLa は 5.33 ± 1.58 mmol/L であったものの、T-30 から算出された泳速度でインターバルトレーニングを行った後の BLa は、 2.33 ± 0.65 mmol/L であったことを報告している。これより、T-30 によって決定した泳速度をインターバルトレーニングに用いると、トレーニング強度が低下することを指摘している。一方、CSR で 30 分間の連続泳トレーニングを行った後の BLa は 3.73 ± 0.96 mmol/L となり (Dekerle et al., 2002)、CSR でインターバルトレーニングを行った本研究では、BLa が $3.1 \pm 0.4 \sim 4.8 \pm 0.7$ mmol/L であった。このことから、CSR は本研究で行った 400m×4 試技というインターバルトレーニングに用いてもトレーニング強度は低下することなく、Threshold Endurance Training の強度になると考えられた。したがって、中長距離泳者において CSR は T-30 のフィールドテストによって得ら

れた泳速度よりも、インターバルトレーニングにおいて活用しやすいトレーニング強度指標であることが示唆された。

インターバルテスト中の SR は、試技間で有意差はなかった。Dekerle et al. (2002) は、CSR を用いた 30 分間の連続泳トレーニングにおいて、SR は変化せず安定したことを報告しており、本研究結果は CSR をインターバルトレーニングに用いても安定した SR になることが確認できた。一方、テスト中の SL は、1 試技目と比較して 4 試技目で有意に延伸したが、これに伴って泳タイムは有意に短縮した。McLean et al. (2010) は、テンポトレーナーを用いていくつかの SR で泳ぐテストを行った時、SR の増加に伴って泳タイムが短縮することを明らかにした。これは、SR の増加に伴いキック数が高まり、結果的にキックの影響によって泳タイムが短縮したと指摘されている。これに対して、本研究では SR が一定の状況下でのインターバルテスト中に SL が上昇した。Bassan et al. (2016) は、クロールでは、上肢筋の力発揮が大きい場合に、SL が高い値を示すことを指摘している。したがって、本研究でも上肢筋の力発揮が増大したことにより、1 かきで進む距離が延伸した可能性が考えられる。以上のことから、本研究のプロトコールに局限すれば、CSR をインターバルトレーニングに用いることで、泳タイムの変化から SL をモニタリングできるトレーニングが可能になると考えられた。しかしながら、本研究ではキック数を測定していないことから、SL の上昇に対する単位時間当たりのキック数の増加の影響は否定できない。今後は、CSR を用いたトレーニング中のストロークを力学的な観点から検討することが必要であると考えられる。

本研究では、以上のような知見が得られたが、いくつかの研究の限界がある。一点目は、休息時間の影響が明らかでない点である。CV での 400m×4 試技もしくは 5 試技のインターバルトレーニング中のトレーニング強度を明らかにした先行研究では、30～45 秒

(Wakayoshi et al., 1993; Takahashi et al., 2009) の休息时间か、90 秒 (Ribeiro et al., 2010) の休息時間を挟んで実施している。これらの研究でのトレーニング強度は同一の様相を示していることから、本研究では BLa の測定時間を勘案して休息時間を 90 秒とした。しかしながら、本研究ではインターバルテスト中に SL が延伸するなど、90 秒の休息時間が測定結果に影響を与えた可能性は否定できない。今後は、休息时间や泳距離を変えて同様の検証をする必要があると考えられる。二点目は、CSR がジュニア選手やマスターズスイマーのトレーニングでも活用できるかどうか明らかになっていない点である。本研究のプロトコールは、競技レベルが高くかつ日常的にトレーニングを積んでいる競泳選手のインターバルトレーニングを想定しており、本研究の対象者に相当するレベル以外の泳者で CSR を用いるためには改めて検討を行う必要があると考えられる。三点目は、従来から行われているタイムを指示するトレーニングとの比較は行っていないことから、SR をコントロールすることがトレーニング強度や泳技術に与える影響は明らかになっていない点である。競泳のトレーニングにおいて、CSR を活用するうえではこうした点も明らかにする必要があると考えられる。

5. 小括

本研究では、全身泳において、CSR でのインターバルトレーニング中のトレーニング強度や泳技術について検討したところ、次のことが明らかになった。

- (1) インターバルテストにおけるすべての試技での泳タイムを平均した値と、CV から推定した 400m の泳タイムとの間には有意差はなかった。
- (2) インターバルテストでの HR、BLa、RPE の測定結果から、CSR は Threshold Endurance Training のトレーニング強度に相当すると考えられた。
- (3) インターバルテストでの SR は一定であったが、テスト後半に SL が延伸したことに伴って泳タイムは短縮した。

以上より、全身泳の CSR は、インターバルトレーニングにおいて持久的能力の改善を目的とする場合のトレーニング強度指標として基準の SR になることが明らかになった。また、CSR のインターバルトレーニングでは、泳タイムの変化によって SL をモニタリングできることが示唆された。

第 4 章

プル泳におけるトレーニング強度指標としての **critical stroke rate**

1. 目的
2. 方法
3. 結果
4. 考察
5. 小括

1. 目的

プル泳において、CSR と CV でのインターバルトレーニング中のトレーニング強度や泳技術について検証し、両トレーニング間での違いを明らかにすること。

2. 方法

2-1. 研究対象者

研究対象者は、クロールの中距離および長距離を専門種目とする男子大学競泳選手 7 名で、いずれも日本学生選手権に出場するレベルの泳者であった。研究対象者の年齢は 19.9 ± 1.4 歳、身長は 1.69 ± 0.06 m、体重は 65.2 ± 4.7 kg であった。研究対象者には、事前に実験の目的や内容、考えられるリスクについて詳細な説明を行い、その結果、研究対象者は本研究の趣旨および内容を理解したうえで書面によって実験に参加することを承諾した。なお、本研究は熊本学園大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の承認を得て行った（2016 年 10 月 12 日承認）。

2-2. プル泳の規定

本研究におけるプル泳は、競泳のトレーニング法として一般的に用いられている形式と同様とした。すなわち、プル泳ではトレーニング用ブイ（ARN-100, アリーナ社製）を股に挟むことで下肢筋活動を制限した。なお、研究対象者はこれらのブイの利用には習熟しており、その浮力を利用し安易に水平姿勢を保つことができた。

2-3. 測定手順

2-3-1. CSR の決定

50m プールにおいて、クロールのプル泳で 200m および 400m 全力泳を行い、Dekerle et al. (2002) と同様の方法によって泳時間と総ストローク数との直線を求め、この傾きを CSR とした。各全力泳は、練習時と同様に壁を蹴ってからのスタートとした。また、それぞれの全力泳は順不同で行った。なお、水温は $29.0 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ であった。

全力泳での泳タイムは、デジタルストップウォッチ (SVAS003, SEIKO 社製) を用いて測定した。また、50m 毎のラップタイムも測定した。総ストローク数の算出方法は、50m 毎の 15~35m 間において、できるだけ多くのストロークから平均ストロークタイムを求め、この値でラップタイムを除した値の総和とした。この時の 1 ストロークは、右手もしくは左手の入水から次の同側の手の入水までの時間として規定した。なお、各測定は総ストローク数を算出するためにデジタルムービーカメラ (HX-WA20-W, Panasonic 社製) を用いて陸上から撮影した。こうした方法によって算出された直線の傾きは 1 秒あたりのストローク数 (cycle/s) として算出されることから、CSR (cycles/min) に換算した。

2-3-2. CV の決定

200m および 400m 全力泳を用いて、Wakayoshi et al. (1993) と同様の方法によって泳タイムと泳距離との直線を求め、この傾きをプル泳の CV とした。

2-3-3. CSR テスト

50m プールにおいて、クロールのプル泳で CSR を用いた 400m×4 試技 (試技間の休息は 40 秒) のインターバルテストを行った。このテストにおいて、研究対象者は、設定したス

トロークレートを電子音で刻む水中運動対応型メトロノーム (Tempo Trainer Pro, Finis 社製, Figure 5) をゴーグルに装着し、その上からスイミングキャップを被った。また、テスト中には、右手もしくは左手指先の入水から次の同側の指先入水までを 1 ストロークとし、電子音に合わせてストロークを行った。なお、CSR テストでは、具体的なタイムの指示は一切行わなかったが、CSR でできる限り速く泳ぐように指示した。各試技では、泳タイムを測定した。生理学的パラメーターについては、各試技直後の HR、RPE と、テスト終了直後の BLa を測定した。HR はハートレートモニター (RS400, Polar 社製) を用いて測定した。また、RPE は Borg スケール (小野寺と宮下, 1976) を用いて研究対象者に対して口頭で尋ねた。BLa は簡易型血中乳酸濃度測定器 (ラクテートプロ, アークレイ社製) を用いて測定した。採血はテスト終了から 1、3、5 分後に行い、このうち最も高い BLa の値を採用した。ストロークのパラメーターとして、各試技中の SR と SL を算出した。SR は、CSR 算出の際と同様の方法で平均ストロークタイムを求め、この値から算出した数値 ($=60/\text{平均ストロークタイム}$) の平均値とした。SL は、50m 毎のラップタイムと平均ストロークタイムからストローク数 ($=50\text{m}$ のラップタイム/ストロークタイム) を求めた後に算出し ($=50/\text{ストローク数}$)、これらの値の平均値とした。なお、SR と SL については、デジタルムービーカメラによって陸上から撮影を行い、テスト後に算出した。なお、水温は $29.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ であった。

2-3-4. CV テスト

研究対象者は、クロールのプル泳において、CV を用いた 400m×4 試技 (試技間の休息は 40 秒) のインターバルテストを行った。研究対象者には、プールサイドを歩く検者の速度に合わせて泳ぐように指示し、泳速度をコントロールした。なお、CV テストでは、ストロ

ークレートの指示は一切行わなかった。CVテストでの生理学的パラメーターとストロークのパラメーターの測定は、CSRテストと同様の方法で行った。なお、水温は $29.0 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ であった。

2-4. 統計処理

本研究における測定結果は、平均±標準偏差 (mean±SD) で示した。泳タイム、HR、RPE、SR、SL は、各テストと試技間の二要因における繰り返しのある二元配置分散分析を行い、主効果が認められた場合は Bonferroni 法による多重比較を用いて有意性を検討した。また、両テスト間の BLa の比較には対応のある t 検定を用いた。なお、有意水準は危険率 5%未満 ($P < 0.05$) とした。

3. 結果

3-1. 全力泳および CSR、CV

本研究における 200m および 400m 全力泳の泳タイムは、それぞれ 128.27 ± 1.71 s と 264.98 ± 3.38 s となり、これらの全力泳から算出した CSR と CV は、それぞれ 39.49 ± 1.23 cycles/min、 1.46 ± 0.02 m/s であった。

3-2. CSR テストと CV テスト

CSR テストと CV テストで得られた結果を Table 3 に示した。泳タイムは、CSR テストにおいて 1 試技目よりも 3 試技目で有意に低下したが ($P < 0.05$)、CV テストでは試技間に有意差はなかった ($P > 0.05$)。HR は、両テストにおいて、2 試技目以降で有意に上昇した ($P < 0.05$)。また、RPE は、CSR テストで 2 試技目以降、CV テストでは 3 試技目以降で有意に変化した ($P < 0.05$)。泳タイム、HR、RPE を両テスト間で比較したところ、各項目ともすべての試技で有意差はなかった ($P > 0.05$)。一方、テスト終了後の BLa は Figure 7 に示したように、CSR テストで 3.16 ± 1.43 mmol/L、CV テストで 3.77 ± 1.52 mmol/L となり、両テスト間に有意差があった ($P < 0.05$)。

ストロークのパラメーターを試技間で比較したところ、SR は Figure 8 に示したように、CSR テストで 39.13 ± 1.28 cycles/min、 39.55 ± 1.24 cycles/min、 39.41 ± 1.35 cycles/min、 39.27 ± 1.22 cycles/min となり、有意差はなかった ($P > 0.05$)。一方、CV テストでは 40.87 ± 1.60 cycles/min、 40.75 ± 1.21 cycles/min、 41.07 ± 1.23 cycles/min、 41.47 ± 1.22 cycles/min となり、2 試技目よりも 4 試技目で有意に増加した ($P < 0.05$)。また、SL は Figure 9 で示したように、CSR テストにおいて 2.20 ± 0.07 m/stroke、 2.19 ± 0.07 m/stroke、 2.20 ± 0.07 m/stroke、 2.20 ± 0.06

m/stroke となり、試技間で変化せず安定していたが ($P > 0.05$)、CV テストでは 2.14 ± 0.07 m/stroke、 2.15 ± 0.05 m/stroke、 2.12 ± 0.05 m/stroke、 2.10 ± 0.04 m/stroke となり 1、2 試技目よりも 4 試技目で有意に低下した ($P < 0.05$)。また、SR と SL を両テスト間で比較したところ、4 試技目において有意差が認められた ($P < 0.05$)。

Table 3. Changes of swimming time, HR, RPE during the CSR and CV tests.

		First	Second	Third	Fourth
Swimming time (s)	CSR test	280.87 ± 6.80	279.27 ± 7.00	278.96 ± 7.16^a	279.28 ± 7.57
	CV test	276.82 ± 9.78	276.17 ± 8.89	277.04 ± 9.24	277.06 ± 9.62
HR (beat/min)	CSR test	128.71 ± 11.69	138.71 ± 6.87^a	142.43 ± 7.11^a	$147.00 \pm 10.76^{a,b}$
	CV test	134.43 ± 12.54	143.57 ± 7.25^a	148.14 ± 9.10^a	$151.43 \pm 8.89^{a,b}$
RPE	CSR test	14.3 ± 2.1	15.3 ± 2.1^a	16.1 ± 2.0^a	16.0 ± 2.3^a
	CV test	15.1 ± 1.7	15.9 ± 1.7	16.6 ± 2.0^a	16.7 ± 1.9^a

^a $P < 0.05$, significantly different from the first bout; ^b $P < 0.05$, significantly different from the second bout.

HR: heart rate; BLA: blood lactate concentration; RPE: rated perceived exertion.

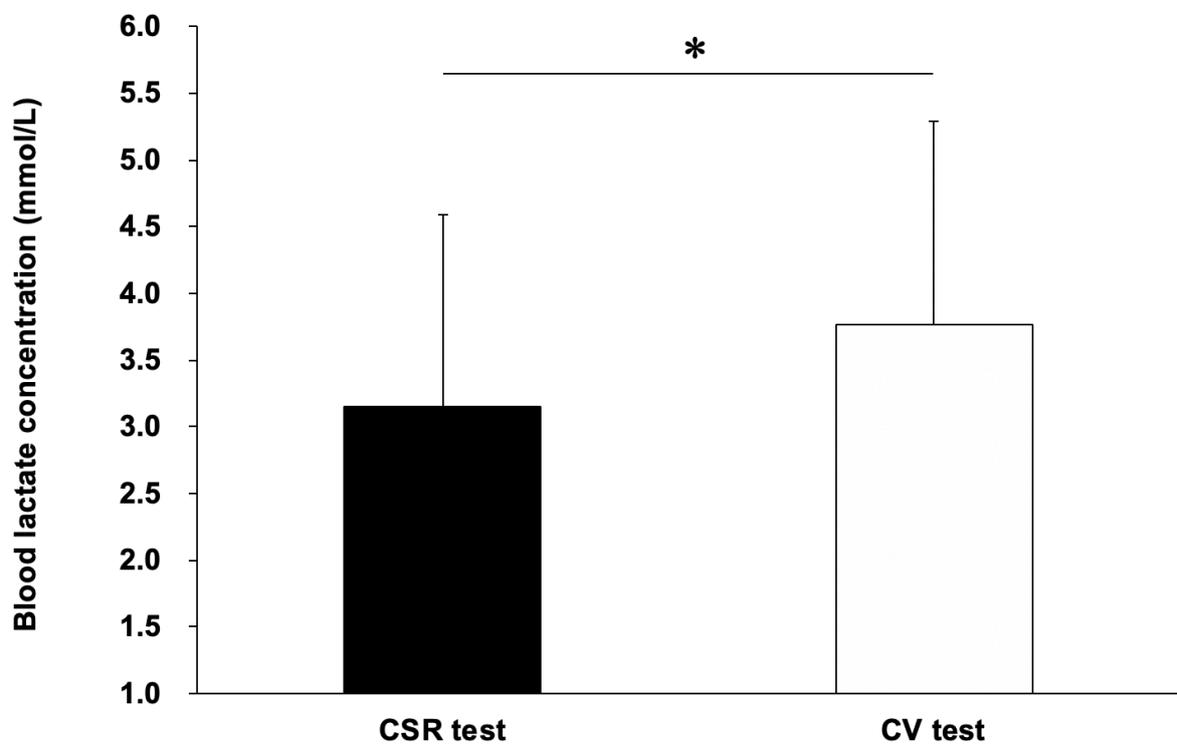


Figure 7. Blood lactate concentration obtained at the end of the CSR and CV tests.

* $P < 0.05$, significant difference between the CSR and CV tests.

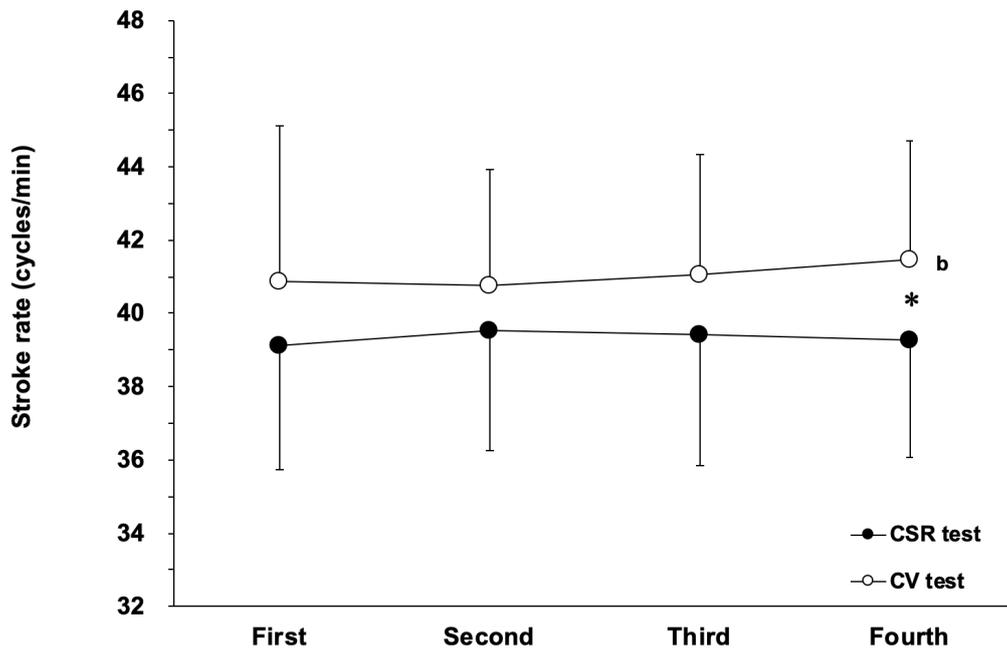


Figure 8. Stroke rate in the CSR and CV tests.

^b $P < 0.05$, significantly different from the second bout; * $P < 0.05$, significant difference between the CSR and CV tests.

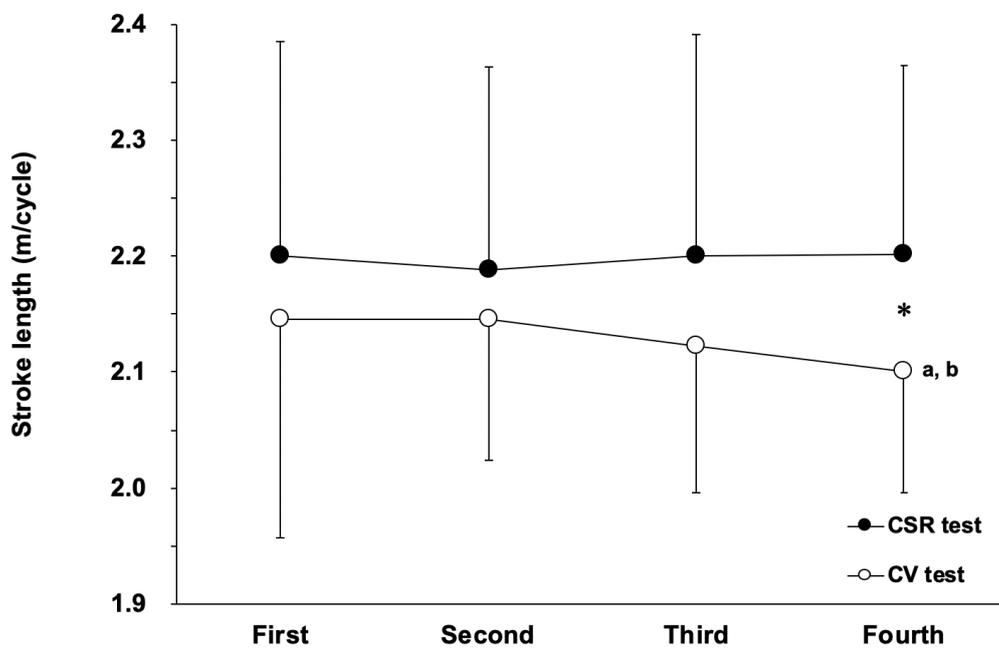


Figure 9. Stroke length in the CSR and CV tests.

^a $P < 0.05$, significantly different from the first bout; ^b $P < 0.05$, significantly different from the second bout; * $P < 0.05$, significant difference between the CSR and CV tests.

4. 考察

本研究の目的は、プル泳において、CSR と CV でのインターバルトレーニング中のトレーニング強度や泳技術について検討し、両トレーニング間での違いを明らかにすることであった。

泳タイムおよび HR、RPE を両テスト間で比較したところ、すべての試技において有意差はなかった (Table 3, $P > 0.05$)。一方、テスト終了後の BLa は CSR テストで 3.16 ± 1.43 mmol/L、CV テストで 3.77 ± 1.52 mmol/L となり、両テスト間に有意差が認められた (Figure 7, $P < 0.05$)。Maglischo (1993) は、持久的トレーニングのうち、BLa が 3~5mmol/L であれば Threshold Endurance Training のカテゴリーに分類されると述べており、このカテゴリーでは酸素摂取能や乳酸酸化能力を改善するトレーニング強度になると述べている。したがって、BLa は両テスト間に有意差があったものの、両テストはほぼ同一の強度であったと考えられた。全力泳タイムと泳距離との回帰直線として決定される CV は、インターバルトレーニングの強度指標として活用されている。また、競泳のインターバルトレーニングにおいて、持久的能力を高めるうえで適切なトレーニング強度になることが示されており、コーチングの現場で広く活用されている。以上のことから、プル泳による CSR は、インターバルトレーニングにおいてストロークレートに基づく新たな指標として、従来のトレーニング指標と同様に活用できると考えられる。

ストロークのパラメーターである SR は、CSR テストにおいて試技間で有意差はなかった (Figure 8, $P > 0.05$)。全身泳において、CSR をトレーニング強度とした先行研究でも SR は安定したことが示されており (Dekerle et al., 2002)、本研究の CSR テストは適切に行われたことが確認できた。また、SL についても試技間に有意差はなく、CSR テスト中の泳技術

は終始安定していたと考えられた (Figure 9, $P > 0.05$)。一方、CV テストでは、SR はテスト中に有意に上昇し (Figure 8, $P < 0.05$)、SL はテスト中に有意に低下した (Figure 9, $P < 0.05$)。Ribeiro et al. (2010) や Tsalis et al. (2012) は、クロールの全身泳において CV の泳速度で 400m×5 試技のインターバルトレーニングを行った際、SR と SL は本研究の CV テストと同様の変化を示したことを報告している。そのうえ、Alberty et al. (2008) は、一定のタイムで泳ぐように指示したトレーニングにおいて、SR を一定にコントロールした条件では泳者の SL は変化せず、一方で SR をコントロールしなかった条件において SR は上昇し、SL は低下したことを示している。このことは、SR をコントロールしないトレーニングでは、泳技術の低下を招きながらトレーニングを実施していることを示していると考えられる。Alberty et al. (2009) と Bassan et al. (2016) は、競泳選手が全力泳を行った際の 4 つのストローク局面 (グライダーキャッチ局面、プル局面、プッシュ局面、リカバリー局面) の変化について検討した。その結果、SR が上昇する際には、非推進局面であるグライダーキャッチ局面とリカバリー局面に要する時間が低下し、これに伴って推進局面であるプル局面とプッシュ局面に要する時間の延伸が起こることを明らかにした。こうした局面の変化により、泳者は 1 ストロークあたりの推進力の低下を引き起こすことが指摘されている (Alberty et al., 2009)。また、1 ストロークあたりの推進力の低下は SR の上昇をもたらし、BLa の蓄積 (Dekerle et al., 2005; Figueredo et al., 2013) や上肢筋の疲労 (Bassan et al., 2016) を引き起こすと考えられている。実際、本研究では Figure 7 に示したように、BLa は CV テストの方が高く、CV テストでは泳技術の乱れが起こっていた可能性がある。以上のことから、CSR テストではストローク局面の変化が起こらなかった可能性があるが、CV テストでは 1 ストロークあたりの推進力の低下を補うために SR が上昇したことによって、疲労の蓄積が起こった可能性が示唆された。

このように、本研究において CSR はプル泳のインターバルトレーニングの強度指標として活用できるうえ、CSR を用いたトレーニングでは泳技術を安定させることが明らかになった。クロールでは、全身泳の推進力のほとんどが上肢に依存するとされており、特に長距離泳者においては上肢への依存率は高いとされている (Silveira et al., 2017)。つまり、クロールの長距離泳者にとって、プル泳による推進力を向上させることは、全身泳での持続的パフォーマンスを高めるうえで極めて重要であると考えられる。また、Costill et al. (1985) は、持続的パフォーマンスの改善のためには代謝能の改善だけでなく、泳技術の改善も重要であることを指摘している。こうしたことから、プル泳において CSR を用いてトレーニングを行うことは、長距離泳者のトレーニングにおいて上肢による推進効率を維持できることから、従来のトレーニングと比較して持続的パフォーマンスを改善するうえで有効であると考えられた。

長距離泳者にとって、CSR や CV に相当する Threshold Endurance Training のカテゴリー (BLa が 3~5mmol/L) での持続的トレーニングは極めて重要であり、このカテゴリーのトレーニング効果を高めるためには、総泳距離が 2000~4000 ヤード (1828.8~3657.6 m) となるプログラムが推奨されている (Maglischo, 2003)。本研究では、CSR を用いることによって、総泳距離が 1200m 以上のプログラムにおいて、CV よりも泳技術を安定させる点で有効であることが明らかになった。以上のことから、長距離泳者にとって、Threshold Endurance Training の強度のトレーニングを推奨されている総泳距離の範囲で行う際には、CV よりも CSR を用いる方が泳技術の安定化に役立つ点で有効であると考えられた。

このように、プル泳のインターバルトレーニングにおいて、CSR を用いることで SR や SL が安定したことから、CV よりも CSR の方が有効である可能性が示唆された。しかしながら、テスト間に有意差こそなかったものの、すべての試技において CV の方が泳タイムは

速く、HR と RPE は高い値であった。また、BLa は CV テストの方が有意に高い値であった。したがって、トレーニング強度はわずかに CV の方が高かった可能性があり、こうした結果が CV での SR の上昇と SL の低下を招いた可能性は否定できない。こうしたことから、インターバルトレーニングでの構成要素である泳距離や休息时间によっては、本研究のような結果が得られない可能性があり、今後はインターバルトレーニングの構成要素を変えて検討する必要があると考えられる。

5. 小括

本研究では、プル泳において CSR と CV でのインターバルトレーニング中のトレーニング強度や泳技術について両トレーニング間での違いを検証し、次のことが明らかになった。

- (1) CSR テストと CV テストにおいて、泳タイム、HR、RPE はすべての試技で両テスト間に有意差はなかった。
- (2) 両テストでの泳タイムは一定であったが、CSR テストでは SR と SL は一定であったのに対し、CV テストでは SL の低下に伴って SR は上昇した。さらに、最終試技での SR と SL は、両テスト間で有意差があった。

以上より、プル泳の CSR は、インターバルトレーニングにおいて持久的能力の改善を目的とする場合のトレーニング強度指標として基準の SR になることが明らかになった。また、インターバルトレーニングにおいて、CSR は CV よりも泳技術を安定させることに役立つことが示唆された。

第5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、クロールにおいて、critical swimming velocity (CV) や critical stroke rate (CSR) をインターバルトレーニングに用いる際の具体的な資料を得ることを目的に 3 つの課題について検討し、以下を明らかにした。

第1点目の課題は、全身泳、プル泳およびキック泳の各泳様式において、CV での間欠泳中のトレーニング強度を明らかにすること、ならびに各泳様式における CV の相互関係を検証することであった。その結果、CV での間欠泳において、酸素摂取量、心拍数は全身泳がプル泳とキック泳よりも高く、血中乳酸濃度はキック泳が全身泳とプル泳法よりも高いことを明らかにした。また、心拍数は、全身泳で $157.0 \pm 11.0 \sim 165.6 \pm 11.1$ beat/min、プル泳で $144.6 \pm 10.4 \sim 152.9 \pm 13.0$ beat/min、キック泳で $149.9 \pm 9.3 \sim 156.8 \pm 13.0$ beat/min となり、すべての泳様式において試技間で有意に上昇したが、血中乳酸濃度はすべての泳様式において試技間で上昇しないことを明らかにした。各泳様式の CV の関係性をみたところ、全身泳とプル泳との間に高い相関関係 ($r=0.892$) があることを明らかにした。したがって、CV を用いた間欠泳では、三つの泳様式間で生理学的反応には違いがあるものの、CV はすべての泳様式において持続的能力の改善を目的とする場合のトレーニング強度指標として基準の泳速度になる。また、プル泳の CV を高めることが、全身泳の持続的パフォーマンスを改善するために重要である。

第2点目の課題は、全身泳において、CSR でのインターバルトレーニング中のトレーニング強度や泳技術を明らかにすることであった。その結果、CSR でインターバルトレーニングを行った時の平均泳タイムと、CV から推定した泳タイムに差異はないことを明らかにした。さらに、CSR でのインターバルトレーニングにおいてストロークレートは一定であ

ったにもかかわらず、ストローク長は上昇した。これに伴って泳タイムは短縮することを明らかにした。したがって、全身泳の CSR は、インターバルトレーニングにおいて持続的能力の改善を目的とする場合のトレーニング強度指標として基準のストロークレートになる。また、CSR のインターバルトレーニングでは泳タイムの変化により泳技術をモニタリングできる。

第3点目の課題は、プル泳において、CSR と CV でのインターバルトレーニング中のトレーニング強度や泳技術について検証し、両トレーニング間での違いを明らかにすることであった。その結果、CSR あるいは CV を用いたインターバルトレーニングにおいて、両トレーニング間で泳タイムや心拍数、主観的運動強度に差はないことを明らかにした。また、両トレーニング中の泳タイムは一定となったが、CSR を用いた場合にはストローク長が一定であったのに対し、CV を用いた場合にはストローク長が低下することを明らかにした。したがって、プル泳の CSR は、インターバルトレーニングにおいて持続的能力の改善を目的とする場合のトレーニング強度指標として基準のストロークレートになる。また、インターバルトレーニングにおいて CSR を用いる方が CV よりも泳技術が安定する。

以上のことから、クロールにおいて、全身泳のみならずプル泳やキック泳でも、CV はインターバルトレーニングの強度指標として強度設定を行う際の基準の泳速度になると考えられた。また、全身泳とプル泳における CSR のトレーニング強度は CV と差異はなかったことから、CSR はインターバルトレーニングの強度指標として強度設定を行う際の基準のストロークレートになると考えられた。さらに、クロールにおいて CV や CSR を用いてインターバルトレーニングを行う際、その総泳距離が長い場合には、CSR の方がトレーニング中の上肢ストロークの安定化に役立つ点で有効である可能性が示唆された。

第2節 体育学への貢献および今後の展望

アスリートにとって、トレーニング強度を適切に設定することは、その効果を左右する最も重要な課題である。本研究において、簡易決定できる CV と CSR が、全身泳だけでなくプル泳でもインターバルトレーニングの強度指標として活用できることが明らかになった。これより、プル泳でも厳密な強度設定が簡単にできるようになり、効率的に上肢の泳力強化を行うことができると考えられる。また、CV はキック泳でもトレーニング強度指標として活用できるものの、全身泳とキック泳の CV に関係性はなかった。したがって、キック泳の CV が高い泳者であっても、全身泳のパフォーマンスが高いとは限らないと考えられる。

また、本研究結果から、CV と CSR でインターバルトレーニングを行うことで、最大酸素摂取量の向上や乳酸酸化能力の改善を目的とした適切な負荷でトレーニングを行うことができることが明らかになった。最大酸素摂取量の向上や乳酸酸化能力の改善を図ることは、中長距離泳者のパフォーマンス高めるうえで極めて重要であることから、競泳のトレーニングの現場での CV や CSR の活用度は高いと考えられる。従来のトレーニング強度指標では問題となっていた測定上の困難を軽減できる点でも、CV と CSR の実用性は高いと考えられる。

このように、CV や CSR はインターバルトレーニングで活用できるものの、全身泳およびプル泳のインターバルトレーニングでは、特に総泳距離が 1200m よりも長いプログラムにおいて、CSR の方が上肢の泳技術の安定化に役立つと考えられる。しかしながら、CSR でトレーニングを行うためには水中運動対応型メトロノームを使用しなければならず、全身泳およびプル泳においてより簡易的にトレーニングで活用できるのは CV である。したが

って、CV や CSR を全身泳とプル泳のインターバルトレーニングに用いる際には、そのプログラムの総泳距離に応じてCV か CSR を使い分けると良いと考えられる。

以上が、本研究結果から得られた新たな知見であるが、競泳選手のインターバルトレーニングは、強化する目的に応じて泳距離、強度、反復回数、休息時間の組み合わせを変えて構成される。したがって、CV や CSR を基準にトレーニング強度を増減させた場合の生理学的パラメーターや、ストロークのパラメーターを検証しなければ、トレーニング強度指標としてのCV や CSR の活用の幅は広がらない。今後は、CV や CSR に基づいて強度設定を行った際のトレーニングの有効性を検証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いただいた中京大学大学院体育学研究科 高橋 繁浩 教授に心から深謝いたします。また、学生時代からこれまで、心強い励ましと丁寧なご指導をいただいた梅村学園学事顧問 北川 薫 先生に深く感謝いたします。

さらに、研究計画から論文投稿に際して、貴重なご意見をいただいた聖カタリナ大学人間健康福祉学部 松波 勝 教授、福岡大学スポーツ科学部 田場 昭一郎 准教授に、ここに記して感謝の意を表します。また、研究対象者の方々、実験に協力してくださったみなさまに心より感謝申し上げます。

最後に、陰ながら支えてくれた妻の志穂、息子の李樹と杜樹、娘の花穂に感謝します。

参考文献

- Adrian M.J., Singh M., Karpovich P.V. (1966) Energy cost of leg kick, arm stroke, and whole crawl stroke. *J. Appl. Physiol.* 21: 1763–1766.
- Alberty M., Potdevin F., Dekerle J., Pelayo P., Gorce P., Sidney N. (2008) Changes in swimming technique during time to exhaustion at freely chosen and controlled stroke rates. *J. Sports Sci.* 26: 1191–1200.
- Alberty M., Sidney M., Pelayo P., Toussaint H.M. (2009) Stroking characteristics during time to exhaustion tests. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41: 637–644.
- Barden J.M., Kell R.T. (2009) Relationships between stroke parameters and critical swimming speed in a sprint interval training set. *J. Sports Sci.* 27: 227–235.
- Bassan N.M., César T.E., Denadai B.S., Greco C.C. (2016) Relationship between fatigue and changes in swim technique during an exhaustive swim exercise. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 11: 33–39.
- Beneke R., Leithäuser R.M., Hütler M. (2001) Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. *Br. J. Sports med.* 35: 192–196.
- Bucher W. (1975) The influence of the leg kick and arm stroke on the total speed during the crawl stroke. *Swimming II* (pp. 180–187). Baltimore: University Park Press.
- Costill D.L., Kovaleski J., Porter D., Kirwan J., Fielding R., King D. (1985) Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle distance events. *Int. J. Sports Med.* 6: 266–270.

- Davis J.A., Vodak P., Wilmore J.A., Vodak J., Kurtz P. (1976) Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J. Appl. Physiol.* 41: 544–550.
- Dekerle J., Brickley G., Alberty M., Pelayo P. (2010) Characterising the slope of the distance-time relationship in swimming. *J. Sci. Med. Sport.* 13: 365–370.
- Dekerle J., Pelayo P., Clipet B., Depretz S., Lefevre T., Sidney M. (2005) Critical swimming speed does not represent the speed at maximal lactate steady state. *Int. J. Sports Med.* 26: 524–530.
- Dekerle J., Sidney M., Hespel J.M., Pelayo P. (2002) Validity and reliability of critical speed, critical stroke rate, and anaerobic capacity in relation to front crawl swimming performances. *Int. J. Sports Med.* 23: 93–98.
- Deschodt V.J., Arzac L.M., Rouard A.H. (1999) Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 80: 192–199.
- Figueiredo P., Morais P., Vilas-Boas J.P., Fernandes R.J. (2013) Changes in arm coordination and stroke parameters on transition through the lactate threshold. *Eur. J. Appl. Physiol.* 113: 1957–1964.
- Gullstrand L., Lawrence S. (1987) Heart rate and blood lactate response to short intermittent work at race pace in highly trained swimmers. *Aus. J. Sci. Med. Sport.* 19: 10–14.
- 原田 隆, 北川 薫, 高橋 繁浩, 松井 健, 松井 信夫, 石河 利寛 (1996) クロール泳におけるプル泳とキック泳からみた小学生スイマーの特徴～大学生スイマーとの比較において～. *体力科学.* 45 : 83–90.

- Holmér I. (1974) Energy cost of arm stroke, leg stroke, and the whole stroke in competitive swimming style. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 33: 105–118.
- Keskinen O.P., Keskinen K. J., Mero A. A. (2007) Effect of pool length on blood lactate, heart rate, and velocity in swimming. *Int. J. Sports Med.* 28: 407–413.
- Machado M.V., Júnior O.A., Marques A.C., Colantonio E., Cyrino E.S., De Mello M.T. (2011) Effect of 12 weeks of training on critical velocity and maximal lactate steady state in swimmers. *Eur. J. Sport Sci.* 11: 165–170.
- Maglischo E.W. (2003) *Swimming fastest* (pp. 398 and 424–428). Leeds: Human Kinetics.
- 松波 勝, 田井村 明博, 洲 雅明, 田口 正公 (2000) 競泳における持久的トレーニング強度の設定に有効なフィールドテストの検討. *デサントスポーツ科学.* 21 : 221–229.
- McLean S.P., Palmer D., Ice G., Truijens M., Smith J.C. (2010) Oxygen uptake response to stroke rate manipulation in freestyle swimming. *Med. Sci. Sports Exerc.* 42: 1909–1913.
- Monod H., Scherrer J. (1965) The work capacity of a synergy muscular group. *Ergonomics.* 8: 329–337.
- Monsterd W. L., Jongbloed J. (1964) Analysis of the stroke of highly trained swimmers. *Int. Z. Angew. Physiol.* 20: 288–293.
- Ogita F., Hara M., Tabata I. (1996) Anaerobic capacity and maximal oxygen uptake during arm stroke, leg kicking and whole body swimming. *Acta. Physiol. Scand.* 157: 435–441.
- 荻田 太, 小野寺 丈晴, 若吉 浩二 (1998) 超最大強度におけるプル、キック、スイム中の代謝特性. *水泳水中運動科学.* 1 : 13–18.

- Olbrecht J., Madsen O., Mader A., Liesen H., Hollmann W. (1985) Relationship between swimming velocity and lactic concentration during continuous and intermittent training exercise. *Int. J. Sports Med.* 6: 74–77.
- 小野寺 孝一, 宮下 充正 (1976) 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性. *体育学研究*. 21 : 191–203.
- Pelarigo J.G., Denadai B.S., Greco C.C. (2011) Stroke phases responses around maximal lactate steady state in front crawl. *J. Sci Med Sport*. 14: 168.e1–168.e5.
- Reybrouck T., Heigenhauser G.F., Faulkner J.A. (1975) Limitation of maximum oxygen uptake in arm-leg ergometry. *J. Appl. Physiol.* 38: 774–779.
- Ribeiro J., Figueiredo P., Sousa J., Monteiro J., Pelarigo J., Vilas-Boas J.P., Toussaint H.M., Fernandes R.F. (2015) $\dot{V}O_2$ kinetics and metabolic contributions during full and upper body extreme swimming intensity. *Eur. J. Appl. Physiol.* 115: 1117–1124.
- Ribeiro L.F., Lima M.C., Gobatto C.A (2010) Changes in physiological and stroking parameters during interval swims at the slope of the d-t relationship. *J. Sci. Med. Sport*. 13: 141–145.
- Rinehardt K.F., Kraemar R.R., Gormely S., Colan S. (1991) Comparison of maximal oxygen uptakes from the tethered, the 183- and 457- meter unimpeded supramaximal freestyle swims. *Int. J. Sports Med.* 12: 6–9.
- Rodríguez F.A., Lätt E., Jürimäe J., Maestu J., Purge P., Rämson R., Haljaste K., Keskinen K.L., Jürimäe T. (2016) VO_2 kinetics in all-out arm stroke, leg kick and whole stroke front crawl 100-m swimming. *Int. J. Sports Med.* 37: 191–196.

- Seals D.R., Mullin J.P. (1982) $\dot{V}O_2$ max in variable type exercises among well trained upper body athletes. *Res. Quart. Exerc. Sport.* 53: 58–63.
- Silveira R.P., de Souza Castro F.A., Figueiredo P., Vilas-Boas J.P., Zamparo P. (2017) The effects of leg kick on swimming speed and arm-stroke efficiency in the front crawl. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 12: 728–735.
- Sortwell A.D. (2011) Relationship between stroking parameters and leg movement quantity in 100 metre front crawl. *Int. J. Exerc. Sci.* 4: 22–29.
- Takahashi S., Wakayoshi K., Hayashi A., Sakaguchi Y., Kitagawa K. (2009) A method for determining critical swimming velocity. *Int. J. Sports Med.* 30: 119–123.
- Toubekis A.G., Tokmakidis S.P. (2013) Metabolic responses at various intensities relative to critical swimming velocity. *J. Strength Cond. Res.* 27: 1731–1741.
- Toubekis A.G., Tsami A.P., Smilios I.G., Douda H.T., Tokmakidis S.P. (2011-A) Training-induced changes on blood lactate profile and critical velocity in young swimmers. *J. Strength Cond. Res.* 25: 1563–1570.
- Toubekis A.G., Vasilaki A., Douda H., Gourgoulis V., Tokmakidis S. (2011-B) Physiological responses during interval training at relative to critical velocity intensity in young swimmers. *J. Sci. Med. Sport.* 14: 363–368.
- Tsalis G., Toubekis A.G., Michailidou D., Gourgoulis V., Douda H., Tokmakidis S. (2012) Physiological responses and stroke-parameter changes during interval swimming in different age-group female swimmers. *J. Strength Cond. Res.* 26: 3312–3319.

- Wakayoshi K., Ikuta K., Yoshida T., Udo M., Moritani T., Mutoh Y., Miyashita M. (1992) Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 64: 153–157.
- Wakayoshi K., Yoshida T., Udo M., Harada T., Moritani T., Mutoh Y., Miyashita M. (1993) Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 66: 90–95.
- Yanai T. (2001) Rotational effect of buoyancy in frontcrawl: Does it really cause the legs to sink? *J. Biomech.* 34: 235–243.