

論文要旨

研究の背景

競泳にはクロール、背泳ぎ、平泳ぎ、バタフライの4泳法があり、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る。この推進力に対する上肢と下肢の貢献度は、泳法や泳距離によって異なるとされている。

競泳選手のトレーニングでは、全身泳だけでなく、上肢のみで泳ぐプル泳や下肢のみで泳ぐキック泳が行われている。プル泳やキック泳を導入する目的は、局所的に代謝能力や泳技術の改善を図ることである。また、競泳のトレーニングは、休息の有無によりインターバルトレーニングと連続泳トレーニングに大別されるが、現在の競泳の指導現場では強化する目的に応じて泳距離、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が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。

アスリートのトレーニング強度を設定するにあたり、その基準として広く知られているのが乳酸蓄積開始点 (OBLA: onset of blood lactate accumulation) や無酸素性作業閾値 (AT: anaerobic threshold) などである。これらのトレーニング強度指標は、決定するために採血や呼気ガスの測定を行う必要があることから、競泳の指導現場で決定するのは容易なことではない。こうした中、クロールの全身泳において、全力泳の泳タイムと泳時間の関係から簡単に算出できる critical swimming velocity (CV) をインターバルトレーニングに用いたところ、最大乳酸定常の泳速度になることが明らかにされた。したがって、CV は全身泳のインターバルトレーニングにおける強度指標として活用できるとされている。しかしながら、CV はプル泳やキック泳で検討されていないという問題点がある。また、CV の概念を応用した critical stroke rate (CSR) が、ストロークレートに基づくトレーニング強度指標になることが明らかにされたが、CSR は全身泳の連続泳トレーニングだけでしかトレーニング強度指標としての妥当性が検討されていないという問題点がある。

研究の目的

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とし、以下の3つの研究課題を設定した。

研究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。

研究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。

研究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。

研究1 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 CV

【方法】 研究対象者 (男子大学競泳選手14名) は、25m プールにおいて全身泳、プル泳、キック泳の三つの泳様式で200m 全力泳を行った。この全力泳直後の20秒間の呼気をダグラスバッグに採取し、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) を推定した。次に、研究対象者は、回流水槽において、それぞれの泳様式で5つの泳速度での全力泳を行った。全力泳の泳タイムは、スタートから身体位置が1m 後方に下がるまでの時間とした。これらの泳タイムと泳距離との回帰直線の傾きを CV として決定した (Figure 1)。その後、研究対

象者は各泳様式で決定された CV でインターバルトレーニングを模擬した 5 分間 × 4 試技の間欠泳テストを回流水槽で行い、それぞれのテスト中の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)、心拍数 (HR)、血中乳酸濃度 (BLa) を測定し、かつ酸素摂取水準 ($\% \dot{V}O_{2max}$) を算出した。間欠泳テストでの各測定項目は、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、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% 未満とした。

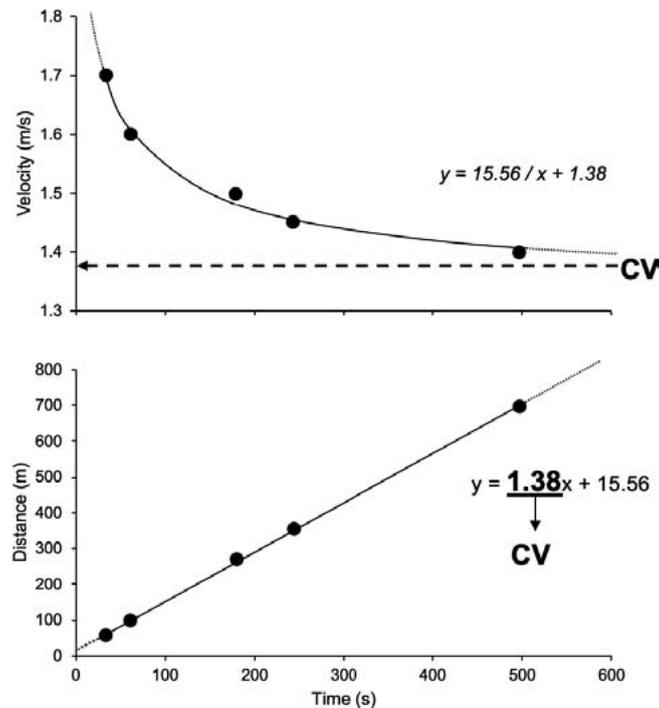


Figure 1. Method for determining critical swimming velocity (CV).

【結果】 Table 1 には全身泳、プル泳およびキック泳における間欠泳テストでの生理学的反応を示した (それぞれ whole-body、arm stroke および leg kick と表記)。HR は、すべての泳様式において試技間で有意に上昇した。一方で、BLa はプル泳において試技間で変化せず、全身泳とキック泳では有意に低下した。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。また、CV の相互関係を確認したところ、全身泳の CV とプル泳の CV との間にだけ、高い相関関係が認められた ($r = 0.892$, Figure 2)。

【まとめ】 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、全身泳の持続のパフォーマンス向上のための重要な要因になると考えられた。

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 ^a	4.7±2.3 ^{a,b}
	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 ^a	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

* 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.

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

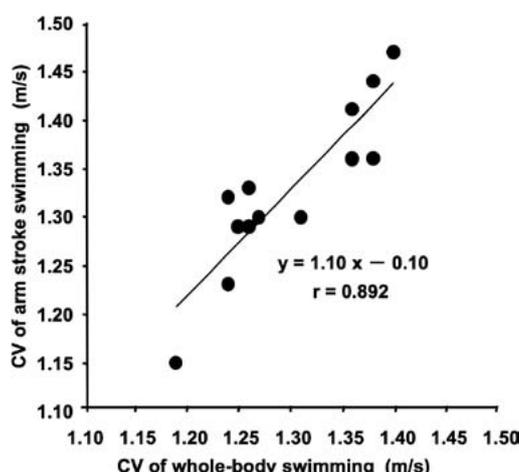


Figure 2. Method for determining critical stroke rate (CSR).

研究2 全身泳におけるトレーニング強度指標としてのCSR

【方法】 研究対象者（大学競泳選手男子6名、女子1名）は、50m プールにおいて全身泳で200m と400m の全力泳を行った。CSR は2つの全力泳での泳タイムと総ストローク数との直線の傾きとし（Figure 3）、CV は泳タイムと泳距離の直線の傾きとした。次に、研究対象者は全身泳のCSR でインターバルトレーニングを模擬した400m × 4 試技のインターバルテストを行った。なお、ストロークレートのコントロールは、水中運動対応型メトロノームを用いて行った。このテストでは、生理学的パラメーターとして各試技でのHR、BLa、主観的運動強度（RPE）を測定し、ストロークのパラメーターとして各試技でのストロークレート（SR）とストローク長（SL）を測定した。インターバルテストでの各測定項目の試技間の検定は、繰り返しのある一元配置分散分析を用いて有意性を検定した。また、インターバルテストにおけるすべての試技での平均泳タイムと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%未満とした。

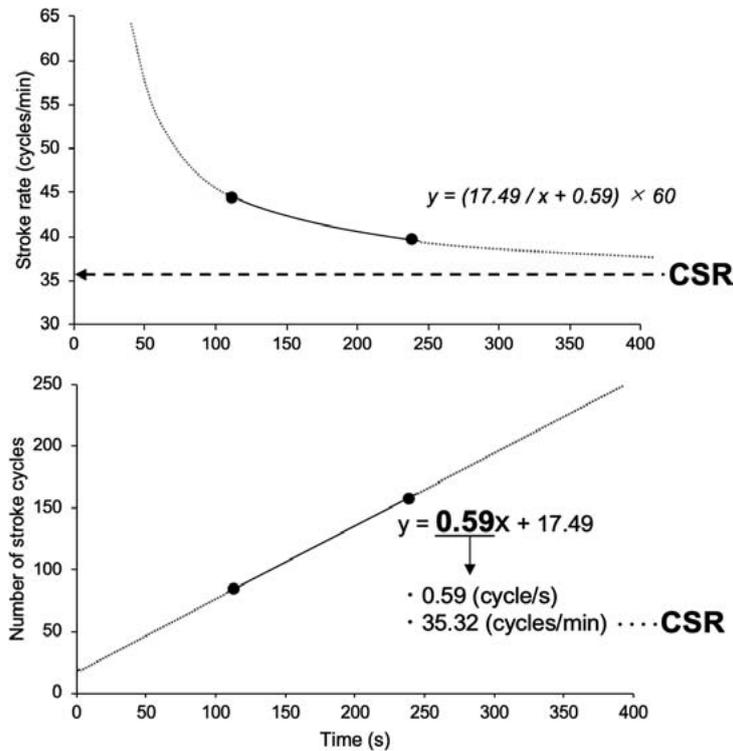


Figure 3. Method for determining critical stroke rate (CSR).

【結果】 インターバルテストでのSRはCSRでコントロールしたために一定であったが、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(Table 2)。また、HR、BLa、RPEも試技間で有意に上昇した。インターバルテストにおけるすべての試技での平均泳タイムと、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 (275.20 ± 11.68 s vs 265.70 ± 24.21 s)。

【まとめ】 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。

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.

研究3 プル泳におけるトレーニング強度指標としてのCSR

【方法】 研究対象者（男子大学競泳選手7名）は、50m プールにおいてプル泳で200mと400mの全力泳を行った。CSRは、2つの全力泳での泳タイムと総ストローク数との直線の傾きとし、CVは泳タイムと泳距離の直線の傾きとした。次に、研究対象者はプル泳のCSRとCVでインターバルトレーニングを模擬した400m×4試技のインターバルテスト（それぞれ、CSRテストとCVテスト）を行った。CSRテストでは、水中運動対応型メトロノームを用いてSRをコントロールした。また、CVテストでは、プールサイドを歩く検者を目視しながら泳ぐことで泳速度をコントロールした。これらのテストでは、各試技中の泳タイムに加え生理学的パラメーターとしてHRとRPE、テスト終了後のBLaを測定した。また、ストロークのパラメーターとして各試技中のSRとSLを測定した。両テストでの各測定項目は、繰り返しのある二元配置分散分析（テスト×試技回数）を用い、また両テスト間のBLaの比較には、対応のあるt検定を用いて有意性を検定した。なお、有意水準は危険率5%未満とした。

【結果】 泳タイム、HRおよびRPEはすべての試技で両テスト間に有意差はなかった（Table 3）。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あった。また、両テストでの泳タイムは試技間で有意差がなかったが、CSRテストでは、SRとSLは変化しなかったのに対し、CVテストではSLの低下に伴ってSRが上昇した（Figure 4）。さらに、CSRテストとCVテストでの4試技目のSRは、それぞれ 39.27 ± 1.22 cycles/minと 41.47 ± 1.22 cycles/min、SLはそれぞれ 2.20 ± 0.06 m/strokeと 2.10 ± 0.04 m/strokeとなり、両項目においてテスト間に有意差があった（Figure 4）。

【まとめ】 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と考えられた。

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 ± 10.76 ^{a, b}
	CV test	134.43 ± 12.54	143.57 ± 7.25 ^a	148.14 ± 9.10 ^a	151.43 ± 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.

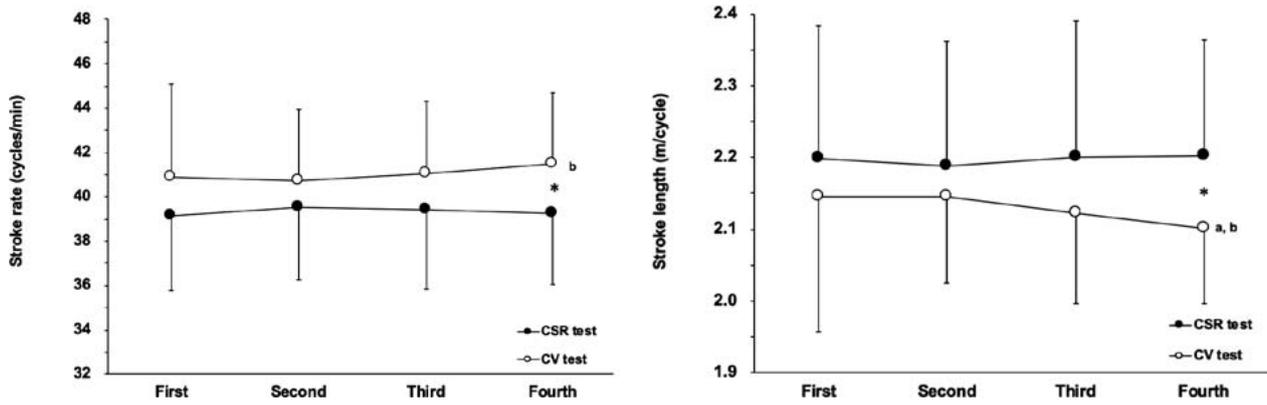


Figure 4. Stroke rate (left) and stroke length (right) in the CSR and CV tests.

^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.

総括

本研究の結果から、クロールの全身泳のみならずプル泳、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SR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。