

競泳競技における種目の違いが 漸増負荷泳中の血中グルコース濃度の動態に与える影響

仙石泰雄・門田理代子・安藤邦彬・椿本昇三

Effect of difference in swimming style on blood glucose kinetics during incremental swimming test

SENGOKU Yasuo, KADOTA Riyoko,

ANDO Kuniaki and TSUBAKIMOTO Shozo

Key words: glucose threshold, energy metabolism

I 諸言

血中乳酸濃度 (Bla) は、運動強度の上昇に伴い急激に値が上昇する閾値が存在し (乳酸性作業閾値 ; LT)、持久性能力の指標となることが知られている³⁾。また近年においては、Blaと同様に血中グルコース濃度 (Glu) も運動強度の上昇に伴う血中グルコース上昇閾値 (GT) が認められることが報告されている¹²⁾。Simões et al.¹³⁾は、individual anaerobic threshold (IAT) と lactate minimum test (LM) から求めた LT は、同様に individual glucose threshold (IGT) と glucose minimum (GM) から求めた GT と有意な相関関係を示すことを報告している。さらに、GM は換気性作業閾値 (VT) や最大乳酸定常 (MLSS) とも相関関係を示すことが明らかとなっている^{13,14)}。Rocha et al.⁹⁾は、軍隊トレーニングを受けた兵士を対象に GT の変化を分析したところ、軍隊トレーニングを行うことにより GT に相当する走速度が向上することを報告しており、GT も LT と同様に持久性能力の指標となる可能性が示されている。

GT の分析は、これまでランニング運動^{9,12-14)}やサイクリング運動⁴⁾を対象に報告されてきた。我々は、持久性能力が重要とされる競泳競技に着目し、一流競泳選手において漸増負荷泳

中に GT が出現するか検証した。その結果、シーズン初期に実施した漸増負荷泳テストでは、全ての対象者において LT が出現するものの、Glu は高強度運動ステージにおいても上昇せず、GT は全ての対象者において出現しないことを明らかとした¹⁰⁾。さらに、同じ泳者を対象に 10 週間の持久期トレーニングを実施した後に漸増負荷泳テストを行ったところ、LT に相当する泳速度は有意に上昇したものの、Glu の動態は変化せず GT が出現しなかったことを報告した¹¹⁾。これらの研究により、水泳運動は陸上運動と比較して運動中のエネルギー代謝応答が異なる可能性が示された。しかしながら、これまでの研究ではクロール泳法による Glu の動態しか分析しておらず、他の近代泳法 (バタフライ、背泳ぎ、平泳ぎ) で泳いだ際も、同様の Glu 動態を示すかどうか明らかとはなっていない。泳種目の違いにより、運動中に動員される筋量に違いがあると考えられ、漸増負荷泳中の Glu の動態に種目特性が反映される可能性がある。

本研究は、クロール泳法以外の種目を用いて漸増負荷泳を実施した際の Glu の動態をそれぞれ分析し、泳種目の違いが漸増負荷泳中の Glu の動態に与える影響を調査することを目的とした。

II 方法

A. 対象者

日本選手権に出場するレベルの一流大学男子競泳選手9名が本研究に参加した。対象者は、バタフライ、背泳ぎおよび平泳ぎを専門とする者3名ずつであった。対象者の身体特性は、年齢 20 ± 1.0 歳、身長 176.2 ± 4.0 cm、体重 69.3 ± 5.7 kg であった。

B. 実験プロトコル

対象者は、間欠的漸増負荷泳テストを筑波大学回流水槽で実施した。測定概要を Fig. 1 に示す。漸増負荷泳テストは先行研究における手法を参考とし¹⁰⁾、各対象者の専門種目における200mのベストタイムの平均泳速度 (V_{200}) を基準として泳速度を設定した。60% V_{200} の泳速度で5分間のウォーミングアップを行った後、4分間の休息をはさみ、3分間の運動および2分間の休息で構成された漸増負荷泳テストを各対象者の専門種目において5ステージ実施した。第1ステージの泳速度を60% V_{200} とし、その後5%ずつ泳速度を上昇した。ウォーミングアップ実施前および漸増負荷泳中の各ステージ終了直後に指先から採血し、Bla (Lactate Pro LT-1710, Arkray 社) および Glu (グルコカード GT-1670, Arkray 社) を測定した。

漸増負荷泳テスト中の LT および GT は、Blood Lactate Endurance Marker Software (Lactate-E)⁶⁾ を用いて LT と GT に相当する泳速度 (VLT, VGT) を log-log 法¹⁾ により解析した。また、上記ソフトウェアによる数学的モデリングにより変換点が求められなかった場合

(ソフトウェア上ではエラーとして出力)、もしくは Glu が下降する強度が変換点として算出された場合には GT が存在しないものと定義した。

III 結果

全対象におけるウォーミングアップ前の Bla および Glu の平均値はそれぞれ 1.4 ± 0.3 mmol/l、 5.3 ± 1.0 mmol/l であった。全ての対象者は、5ステージの漸増負荷泳テストを完泳した。漸増負荷泳テストにおける全対象者の Bla および Glu の測定結果を Table 1, 2 に、各専門種目における Bla および Glu の平均値の推移を Fig. 2, 3 に示す。全ての対象者において LT が出現し、各種目における LT に相当する平均泳速度は 1.05 ± 0.09 m/sec であった。バタフライと背泳ぎを専門とする対象者の Glu は試技を通して一定の値を保ち、GT は出現しなかった。一方で、平泳ぎを専門とする対象者の Glu はステージの進行に伴い上昇する傾向を示し、3名中2名の対象者において GT が認められた。

IV 考察

本研究は、クロール泳法以外の種目を用いて漸増負荷泳を実施した際の Glu の動態をそれぞれ分析し、泳種目の違いが漸増負荷泳中の Glu の動態に与える影響を調査することを目的とした。本研究の主たる発見は、クロール泳を対象とした先行研究^{10,11)}と同様にバタフライおよび背泳ぎの種目において漸増負荷泳中に GT は認められないものの、平泳ぎにおいては漸増負荷泳テストを実施した際に運動強度の上昇に伴

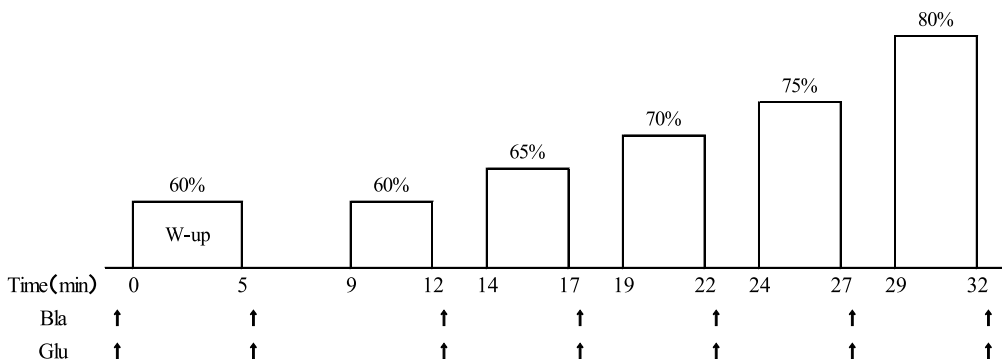


Fig. 1. Schematic representation of the testing sequence.

い Glu が全対象者において上昇し、3 名中 2 名の対象者において GT が認められたことである。

Sengoku et al.¹¹⁾ は、クロール泳を対象とし 10 週間のトレーニング前後に漸増負荷泳テストを実施したところ、LT に有意な改善が認め

られたものの、Glu の動態は変化せず GT が認められなかったことを報告しており、水泳運動と陸上運動では運動中のエネルギー代謝応答が異なる可能性を示唆している。漸増負荷泳テスト中に Glu が上昇しない要因として上肢と下肢における代謝応答の違い²⁾、運動中の姿勢の違

Table 1. Result of blood lactate measurement in each subject.

Subject	Style	Blood Lactate (mmol/l)					LT (m/sec)
		60	65	70	75	80	
1	Fly	1.3	1.4	1.7	4.6	7.8	1.09
2	Fly	1.4	1.3	2.2	3.6	6.3	1.05
3	Fly	4.1	4.6	5.6	7.8	10.2	1.13
4	Ba	1.7	1.8	2.7	4.4	8.6	1.11
5	Ba	2.0	1.8	2.6	3.8	6.8	1.07
6	Ba	1.8	1.7	2.4	5.0	11.1	1.13
7	Br	1.6	2.0	3.8	6.1	9.6	0.97
8	Br	1.8	2.3	4.0	5.3	7.9	0.88
9	Br	1.6	1.4	2.1	3.3	5.7	0.98
Ave. All		1.9 ± 0.8	2.0 ± 1.0	3.0 ± 1.2	4.9 ± 1.4	8.2 ± 1.8	1.05 ± 0.09
Ave. Fly		2.3 ± 1.6	2.4 ± 1.9	3.2 ± 2.1	5.3 ± 2.2	8.1 ± 2.0	1.09 ± 0.04
Ave. Ba		1.8 ± 0.2	1.8 ± 0.1	2.6 ± 0.2	4.4 ± 0.6	8.8 ± 2.2	1.10 ± 0.03
Ave. Br		1.7 ± 0.1	1.9 ± 0.5	3.3 ± 1.0	4.9 ± 1.4	7.7 ± 2.0	0.94 ± 0.06

Fly=Butterfly stroke, Ba=Backstroke, Br=Breast stroke, LT=lactate threshold

Table 2. Result of blood glucose measurement in each subject.

Subject	Style	Blood Glucose (mmol/l)					GT (m/sec)
		60	65	70	75	80	
1	Fly	5.4	4.8	5.2	5.1	5.1	-
2	Fly	4.8	4.8	4.9	4.6	5.0	-
3	Fly	4.3	4.6	4.6	5.1	5.0	-
4	Ba	5.5	5.3	6.1	5.5	5.1	-
5	Ba	5.4	4.8	5.0	4.8	4.8	-
6	Ba	4.4	4.2	4.2	4.8	4.8	-
7	Br	4.8	4.8	4.9	5.2	5.7	1.11
8	Br	4.1	4.4	4.8	5.1	6.1	1.12
9	Br	3.8	4.2	4.9	5.2	5.3	-
Ave. All		4.7 ± 0.6	4.7 ± 0.4	5.0 ± 0.5	5.0 ± 0.3	5.2 ± 0.4	-
Ave. Fly		4.9 ± 0.6	4.7 ± 0.1	4.9 ± 0.3	4.9 ± 0.3	5.0 ± 0.0	-
Ave. Ba		5.1 ± 0.6	4.8 ± 0.6	5.1 ± 0.9	5.0 ± 0.4	4.9 ± 0.1	-
Ave. Br		4.2 ± 0.5	4.5 ± 0.3	4.9 ± 0.1	5.1 ± 0.0	5.7 ± 1.0	-

Fly=Butterfly stroke, Ba=Backstroke, Br=Breast stroke, GT=glucose threshold

い（水平位もしくは垂直位）⁷⁾、水浸による脂質代謝応答の変化¹⁵⁾もしくは運動中における筋活動量の違い⁸⁾が関与している可能性が示されている。しかしながら、本研究においてクロールと同じ水平位で運動する平泳ぎにおいて漸増負荷運動中にGluが上昇する可能性が示されたことから、運動中の姿勢の違いがGluの動態に影響している可能性は低いことが示唆された。

我々の先行研究^{10,11)}と本研究において漸増負荷泳中にGluの上昇が観察されなかったク

ロール、バタフライおよび背泳ぎは上肢動作によって多くの推進力を発揮する特徴がある泳法であるのに対し、Gluの上昇が認められた平泳ぎは下肢のキック動作によって多くの推進力が発揮される特徴をもつ泳法である。中村ほか⁵⁾は、長距離ランナーを対象として、ランニング運動とサイクリング運動の運動種目の違いが漸増負荷運動時のGlu変動に与える影響を分析した。その結果、ランニング運動では全対象者でGTが認められたものの、サイクリング運動ではGluが上昇せずGTが認められなかったこと

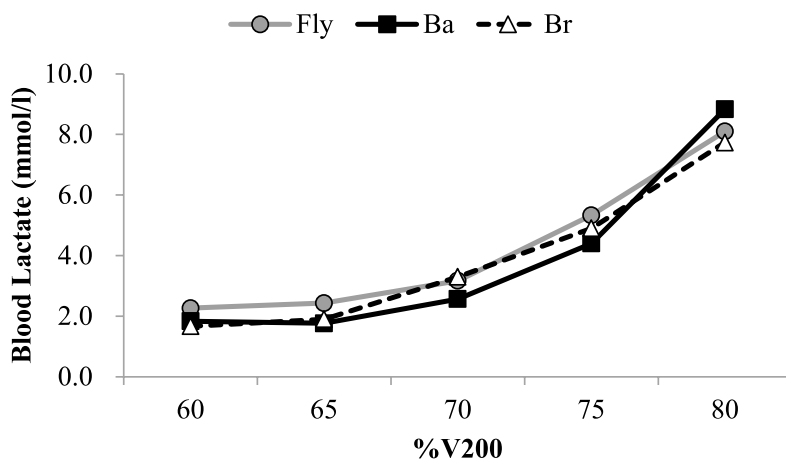


Fig. 2. Average blood lactate response during the incremental swimming test for each swimming style. Standard deviation is demonstrated in Table 1. Fly=Butterfly stroke, Ba=Backstroke, Br=Breast stroke.

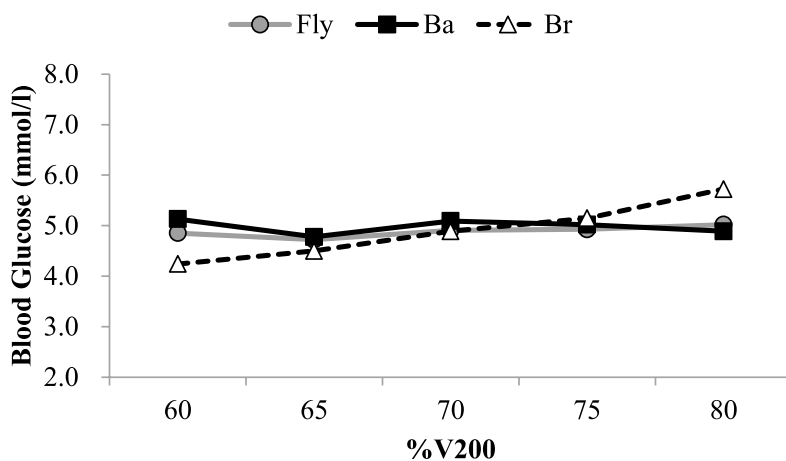


Fig. 3. Average blood glucose response during the incremental swimming test for each swimming style. Standard deviation is demonstrated in Table 1. Fly=Butterfly stroke, Ba=Backstroke, Br=Breast stroke.

を報告しており、ランニング運動とサイクリング運動において運動中に動員された筋量の違いが血中から筋への Glu の取り込み量に影響を及ぼした可能性を示唆している。泳法の違いによる運動中に動員される筋活動量の違いは明らかとなっていないものの、本研究においても下肢のより大きい筋を動員して推進する平泳ぎにおいて運動中に活動する筋量が増大し、運動中の Glu の動態に影響を及ぼした可能性が推察される。

今後は、さらに対象者の人数を増やし、平泳ぎにおける Glu の動態が他の泳法と有意に異なるのか分析することが望まれる。さらに、漸増負荷泳中の代謝応答やホルモン応答をより詳細に分析することにより、各泳法の生理応答の特徴を明らかにできると考えられる。

謝 辞

本研究は平成 22 年度学内プロジェクトの支援のもと実施された研究であり、ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ (1985): Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J Appl Physiol* 59: 1936-1940.
- 2) Helge JW (2010): Arm and leg substrate utilization and muscle adaptation after prolonged low-intensity training. *Acta Physiol* 199: 519-528.
- 3) Hollman LH (1985): Historical remarks on the development of the aerobic-anaerobic threshold up to 1966. *Int J Sports Med* 6: 109-116.
- 4) Júnior PB, Neiva CM, Denadai BS (2001): Effect of an acute beta-adrenergic blockade on the blood glucose response during lactate minimum test. *J Sci Med Sport* 4: 257-265
- 5) 中村和照, 仙石泰雄, 緒形ひとみ, 白井祐介, 鍋倉賢治 (2011): 運動種目の違いが漸増負荷運動時の長距離ランナーの血糖変動に与える影響. *ランニング学研究*, 22(2), 13-23.
- 6) Newell J, Higgins D, Madden N, Cruickshank J, Einbeck J, McMillan K, McDonald R(2007): Software for calculating blood lactate endurance markers. *J Sports Sci*, 25: 1403-1409.
- 7) Pluto R, Cruze SA, Weiss M, Hotz T, Mandel P, Weicker H (1988): Cardiocirculatory, hormonal, and metabolic reactions to various forms of ergometric tests. *Int J Sports Med* 9: S79-88.
- 8) Richter EA, Kiens B, Saltin B, Christensen NJ, Savard G (1988): Skeletal muscle glucose uptake during dynamic exercise in humans: role of muscle mass. *Am J Physiol* 254(5 Pt 1): E555-61.
- 9) Rocha C, Canellas D, Monteiro D, Antoniazzi M, Azevedo PHSM (2010): Changes in individual glucose threshold during military training. *Int J Sports Med* 31: 482-485.
- 10) Sengoku Y, Nakamura K, Takeda T, Nabekura Y, Tsubakimoto S (2010): Can blood glucose threshold be determined in swimmers early in the swimming season?. In: K Pre-Ludvik, RK Stallman, J Carbi (eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming XI*, Norwegian School of Sports Science, 224-225.
- 11) Sengoku Y, Nakamura K, Takeda T, Nabekura Y, Tsubakimoto S (2011): Glucose response after ten-week training in swimming. *Int J Sports Med* 32: 835-838.
- 12) Simões HG, Campbell CSG, Kokubun E, Denadai BS, Baldissera V (1999): Blood glucose responses in humans mirror lactate responses for individual anaerobic threshold and for lactate minimum in track tests. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 80: 34-40.
- 13) Simões HG, Campbell CSCG, Kushnick MR, Nakamura A, Katsanos CS, Baldissera V, Moffatt RJ (2003): Blood glucose threshold and the metabolic responses to incremental exercise tests with and without prior lactic acidosis induction. *Eur J Appl Physiol* 89: 603-611.
- 14) Sotero RC, Pardon E, Landwehr R, Campbell CSG, Simoes HG (2009): Blood glucose minimum predicts maximal lactate steady state on running. *Int J Sports Med* 30: 643-646.

15) Wiesner S, Birkenfeld AL, Engeli S, Haufe S, Brechtel L, Wein J, Hermsdorf M, Karnahl B, Berlan M, Lafontan M, Sweep FCGJ, Luft FC,

Jordan J (2010): Neurohumoral and metabolic response to exercise in water. *Horm Metab Res* 42: 334-339.