

オープンウォータースイミング選手の生理学的特性について

Physiological characteristics of open water swimmers.

原 怜来^a・馬場 康博^b・上野 広治^a・鈴木 典^a

Reira Hara^a・Yasuhiro Baba^b・Koji Ueno^a・Tsukasa Suzuki^a

Abstract

Open water swimming is the newest swimming event in the Olympic games. After becoming an Olympic event, the physiological characteristics of open water swimmers were unclear. The purpose of this study was to determine VO₂peak, vLT, and vOBLA of Japanese elite open water swimmers and to reveal the correlation of those parameters and OWS results.

As a result, it was found that VO₂peak was 4.62~4.90 L/min for males and 3.07~3.29 L/min for females. vLT was 1.21~1.26 m/s for males and 1.16~1.22 m/s for females. vOBLA was 1.33~1.35 m/s for males and 1.25~1.30 m/s for females. The VO₂peak showed a significant correlation with OWS results in 2019.

To obtain medals in international events, competitive swimmers who have a high VO₂peak are suited to participating in OWS. Coaches need to develop not only OWS athletes but also competitive 1500m swimmers.

Key words: VO₂peak, Blood lactate concentration, swimming

ピーク酸素摂取量, 血中乳酸濃度, 水泳競技

1. はじめに

オープンウォータースイミング (Open water swimming; 以下, OWSと略す) は, 海や川, 湖などの自然環境で泳ぐ速さを競う競技である¹⁾. 2008年の北京オリンピックから10kmが正式種目として採用された. 日本人選手は, 2012年ロンドン大会で初出場を果たし, 2016年リオデジャネイロ大会では, 男子選手が8位に入賞した. しかし, この時点まで日本ではOWS選手に対する科学的データを取得するといったサポートは行っておらず, 主力選手に対する個別強化が主であった.

競技スポーツにおいて選手の最大酸素摂取量や乳酸性作業閾値 (Lactate Threshold; 以下, LTと略す) といった生理学的特性を明らかにすることは, トレーニングを立案する際の一助となる. しかし, OWSは競技としての歴史が浅いことから, 国内外を通して, OWS選手の生理学的特性を明らかにした研究は比較的少ない.

2008年に小林ら²⁾ は, OWSの競技成績と血中乳酸濃度が2mmol/L, 3mmol/L, 4mmol/L時の泳速度との間に相関関係があり, 競技中の泳速度は血中乳酸濃度が2mmol/Lの時と同等の泳速度であることを明らかにした. Vanheest JL, Mahoney CE, Herr L³⁾ は2004年にアメリカ選手を対象に, Zamparoら⁴⁾ は2005年にイタリア選手を対象に, 最大酸素摂取量 (以下, VO₂maxと略す) の測定を行った. しかし, いずれも五輪種目となった2008年より前に行われた研究であり, オリンピック出場経験のあるOWS選手の生理学的特性は明らかとなっていない.

2017年に草薙⁵⁾ は, OWS選手を対象にLTを向上させるトレーニングを行った結果, 国際大会でトップと僅差でゴールすることができたと報告し, LTの泳速度 (以下, vLTと略す) がOWSの主要な代謝的条件となることを示唆した. しかし, トレーニング内容をまとめたのみであり, どの程度のvLTが必要かなど, OWS選手の生理学的特性を明らかにするまでには至っていない.

^a 日本大学スポーツ科学部
College of Sports Sciences, Nihon University

^b 新潟医療福祉大学健康科学部
Department of Health and Sports, Niigata University of Health and Welfare

OWSの10km種目は競技時間が約2時間であることから、選手には、高い持久力が求められるが、青木ら⁶⁾によれば、試合時間が十数分から数時間に及ぶ競技では、VO₂maxよりも、vLTの高さが持久的パフォーマンスに影響すると報告しており、このことはOWSにも同様にあてはまると考えられる。

競泳のトレーニング実践現場では、血中乳酸濃度が4mmol/Lの強度 (Onset of blood lactate accumulation ; 以下、OBLAと記載) が頻繁に使用されている。OBLAはLTと同様に、選手の有酸素能力を評価することができ⁷⁾、OBLAが出現する泳速度でトレーニングを行うことで、持久的能力を効果的に高められると報告されている⁸⁾。世界のOWSトップ選手は、競泳のトレーニングを行いながらOWSに出場していることから、vLTだけでなく、OBLAも評価していくことが重要であると考えられる。また、ピーク酸素摂取量 (以下、VO₂peakと略す)、vLT、OBLA時の泳速度 (以下、vOBLAと略す) と競技成績の関係を明らかにすることは、OWSトップ選手育成のためのトレーニングを立案する際の一助となり、今後の強化施策検討の際の基礎資料となりうると考える。

そこで、本研究ではOWSトップ選手のVO₂peak、vLT、vOBLAを明らかにし、各項目と競技成績との関係を調べることで、どの測定項目が競技成績に影響を与えているかについて示すことを目的とした。

2. 方法

2.1. 被験者

被験者は、2018年度ナショナルチーム男子8名、女子7名と2019年度ナショナルチーム男子10名、女子9名とした。この被験者にはOWS東京五輪代表選手を含む。被験者属性は表1に示した。

研究に先立ち、各被験者に対して研究の目的、及び内容、個人情報と調査結果の匿名化などを口頭で十分に説明し、インフォームドコンセントを行った後、被験者が自主的に参加することの同意を文書で得た。なお、男子選手1名は血中乳酸濃度の測定を拒んだため、vLTおよびvOBLAの測定は実施しなかった。

本研究は日本大学の「人を対象とする研究倫理審査委員会」(承認番号2017-005, 2017-010) の承認を得ている。

2.2. 分析項目、測定方法

測定項目は、競技成績、VO₂peak、vLT、vOBLAとした。

競技成績は第94回、及び第95回日本選手権水泳競技大会OWS競技10kmにおけるレース距離10kmをレース時間で除し平均泳速度を求めた。

VO₂maxの測定は、レベリングオフを確認する必要があるが、今回はレベリングオフを確認できなかった選手が若干名いたため、測定項目はVO₂peakとした。また、VO₂peakは筋肉量に依存することから体重で除することで、示されることが多い。一方で水泳やボート、自転車など、自身の体重を直接運ばないような種目は絶対値で示す方が良くとされている⁹⁾。このことから、絶対値 (L/min) と体重当たりのVO₂peak (ml/kg/min) を求めた。

スポーツ選手のVO₂peakの測定は、競技種目の運動形態で測定するのが望ましいとされている¹⁰⁾。そこで、本研究では流水プール (株式会社ジャパンアクアテック社製) でクロール泳動作中のVO₂peakを測定した。測定前のウォーミングアップは、先行研究³⁾ では10分間を行わせていたが、流水プールに不慣れな被験者であったことから、30分間行わせた。ウォーミ

表1 OWSナショナルチームの被験者属性

| | 男子 | | 女子 | |
|----------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| | 2018年 (n = 8) | 2019年 (n = 10) | 2018年 (n = 7) | 2019年 (n = 9) |
| 年齢 (歳) | 21.8 ± 3.0 | 19.4 ± 3.2 | 23.3 ± 5.3 | 21.0 ± 4.8 |
| 身長 (cm) | 177.6 ± 5.5 | 172.0 ± 5.8 | 162.4 ± 4.7 | 162.6 ± 4.5 |
| 体重 (kg) | 76.3 ± 3.0 | 70.7 ± 6.4 | 56.2 ± 2.6 | 57.2 ± 4.3 |
| 体脂肪率 (%) | 14.1 ± 3.0 | 15.5 ± 4.5 | 18.3 ± 2.2 | 19.7 ± 3.0 |

平均値 ± 標準偏差

ングアップは測定の最初の泳速度とした。男子は1.30m/s、女子は1.25m/sの速度で15分間泳動作を行い、それ以外の15分間は自由な泳速度で実施させた。

流水プールの流速を、男子は1.30m/sから、女子は1.25m/sの流速からスタートし、1分ごとに0.05m/sずつ3分まで増速させ、それ以後は1分毎に0.02～0.03m/sずつ増速してオールアウトまで泳がせた。オールアウトの判定は、設定した泳速度を維持できなくなり、測定開始時よりも身体が1m後方に下がった時とした。被験者は呼気ガス採取用シュノーケルを装着し、ダグラスバック法を用いてVO₂peakを測定した。その際、選手の鼻から呼気がでないように、防水テープ（日本光電工業株式会社製：フォームパッド75A）で鼻を塞ぎ、口呼吸のみで行わせた。換気量は乾式ガスメーター（品川製作所社製）で測定し、呼気ガスの分析には自動呼気ガス分析装置（ミナト医科学社製：AE-310S）を用いた。採気は運動開始から30秒ごとに運動終了まで連続して行った。

vLT、vOBLaは、椿本ら¹¹⁾が行った先行研究と同様に、流水プールにおいて、3分間のクロール泳による運動と5分間の休息を挟んだ乳酸カーブテストを実施した。また、開始の流速は、VO₂peak測定時にVO₂peakが出現した速度を100%とした時の60%を1セット目とし、1セットごとに5%ずつ速度を増加させ9セット行った。

血中乳酸濃度は測定前、各セット終了直後の計10回測定した。測定に伴い、穿孔部位をアルコール綿で消毒し、十分に乾かした後に被験者自身で指先を穿孔させた。穿孔後は、少量の血液を出し、その後ガーゼで一度血液をふき取り、再度5μl程度の血液を出させ、携帯型簡易血中乳酸濃度測定器（アークレイ社

製：Lactate Pro2）を用いて測定した。

vLTは、先行研究^{2), 3), 12)}と同様に、泳速度と血中乳酸濃度の値を指数変換してから近似直線を用いて、2本の近似曲線の交点をLTとし、その時の泳速度とした。

vOBLaは先行研究^{3), 12)}と同様に、泳速度と血中乳酸濃度の値を指数変換してから近似直線を用いて、血中乳酸濃度が4mmol/Lに相当する泳速度とした。

2.3. 統計処理

各測定項目については、平均値と標準偏差を求めた。競技成績と各測定項目との関係は、正規性の検定を行った後に、Pearsonの積率相関分析を用いて検討した。なお有意水準の判定は5%未満とした。データはSPSS Statistics Ver.24 (IBM社製)を用いて検定を行った。

3. 結果

3.1. 競技成績、および生理学的特性

競技成績、およびVO₂peak、vLT、vOBLaの結果を表2に示す。

男子は、2018年度において、競技成績が1.42 ± 0.03m/s、VO₂peakが4.90 ± 0.51L/min、体重当たりのVO₂peakが64.37 ± 6.21ml/kg/min、vLTが1.26 ± 0.05m/s、vOBLaが1.35 ± 0.05m/sであった。2019年度においては、競技成績が1.35 ± 0.05m/s、VO₂peakが4.62 ± 0.48L/min、体重当たりのVO₂peakが66.17 ± 6.42ml/kg/min、vLTが1.21 ± 0.05m/s、vOBLaが1.33 ± 0.03m/sであった。

女子は、2018年度において、競技成績が1.28 ± 0.02m/s、VO₂peakが3.07 ± 0.42L/min、体重当たりの

表2 OWS選手のVO₂peak, vLT, vOBLa

| | 男子 | | 女子 | |
|---------------------------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| | 2018年 (n = 8) | 2019年 (n = 10) | 2018年 (n = 7) | 2019年 (n = 9) |
| 競技成績(m/s) | 1.42 ± 0.03 | 1.35 ± 0.05 | 1.28 ± 0.02 | 1.29 ± 0.03 |
| VO ₂ peak(L/min) | 4.90 ± 0.51 | 4.62 ± 0.48 | 3.07 ± 0.42 | 3.29 ± 0.60 |
| 体重あたりのVO ₂ peak(ml/kg/min) | 64.37 ± 6.21 | 66.17 ± 6.42 | 54.41 ± 5.74 | 57.99 ± 6.25 |
| vLT(m/s) | 1.26 ± 0.05 | 1.21 ± 0.05 | 1.16 ± 0.03 | 1.22 ± 0.06 |
| vOBLa(m/s) | 1.35 ± 0.05 | 1.33 ± 0.03 | 1.25 ± 0.05 | 1.30 ± 0.05 |

平均値 ± 標準偏差

VO₂peakが 54.41 ± 5.74 ml/kg/min, vLTが 1.16 ± 0.03 m/s, vOBLAが 1.25 ± 0.05 m/sであった。2019年度においては、競技成績が 1.29 ± 0.03 m/s, VO₂peakが 3.29 ± 0.60 L/min, 体重当たりのVO₂peakが 57.99 ± 6.25 ml/kg/min, vLTが 1.22 ± 0.06 m/s, vOBLAが 1.30 ± 0.05 m/sであった。

3.2. 競技成績と各測定項目の関係

競技成績と各測定項目の関係について、2018年度OWSナショナルチームの結果を図1に、2019年度OWSナショナルチームの結果を図2に示す。

2019年度の男子において、VO₂peakの絶対値と競技成績に有意な相関関係が認められた ($r = 0.739$, $p < 0.05$) (図2)。

4. 考察

本研究では、東京五輪日本代表選手も含む2018年度、2019年度OWSナショナルチームに所属していた日本トップOWS選手を対象に、VO₂peak, vLT, vOBLAといった生理学的特性を明らかにし、各測定項目と競技成績の関連を示すことを目的とした。

VO₂peakについて、本研究では長距離種目であるトライアスロンやマラソン選手との比較も行いたかったため、絶対値と体重当たりのVO₂peakを求めた。その結果、日本のOWSトップ選手は、男子で $4.62 \sim 4.90$ L/min, 女子で $3.07 \sim 3.29$ L/min程度のVO₂peakが必要であることが明らかとなった。男子の平均値を、OWS選手を対象とした先行研究^{3), 4)}と比較すると、イタリア選手は 5.2 ± 0.7 L/min, アメリカ選手は 5.51 ± 0.96 L/minであり、日本人選手の方が低い値であった。女子についても、イタリア選手は 3.6 ± 0.71 L/min, アメリカ選手は 5.06 ± 0.57 L/minであり、男子と同様に他国の選手よりVO₂peakが低いことが明らかとなった。イタリアやアメリカはOWS強豪国であり、日本人OWS選手はVO₂peakを向上させる必要が示唆された。実際に、本研究において2019年度の男子選手はOWSの競技成績が良いほど、高いVO₂peakを有しておいた。女子については、絶対値のVO₂peakと競技成績において有意な相関関係が認められなかった。これは、国内大会でも優勝を果たしたロンドン・リオデジャネイロ・東京五輪の3大会で五輪代表と

なった一名の女子選手が、高いVO₂peakを有していなかったことが影響していると考えられる。この選手は、レース経験値が他の選手よりも高く、OWSの戦略・戦術作りに優れている。レースにおけるスパートをかけるタイミング等に長けていると、VO₂peakが低くても国内大会では優勝できたが、国際大会で上位入賞を果たすためには、より高いVO₂peakを有している必要があると考える。

体重当たりのVO₂peakは、男子が $64.37 \sim 66.17$ ml/kg/minで、女子は $54.41 \sim 57.99$ ml/kg/minであった。他種目の選手と比較すると、男子において、マラソン選手は 70 ml/kg/min以上、トライアスロン選手は 84.5 ml/kg/min, 自転車選手は 74 ml/kg/minを示し^{3), 10)}, 女子はマラソン選手で 66 ml/kg/min程度、クロスカントリーの選手で 64 ml/kg/min程度を示す¹⁰⁾ことから、日本人OWS選手は他種目の長距離種目選手と比較しても低いことが明らかとなった。

vLTについて、男子は $1.21 \sim 1.26$ m/s, 女子は $1.16 \sim 1.22$ m/s程度のvLTが必要であることが明らかとなった。Vanheest JL, Mahoney CE, Herr Lら³⁾は、アメリカ選手を対象に測定を行い、男子は 1.34 ± 0.23 m/s, 女子は 1.32 ± 0.21 m/sであることを報告している。このことから、アメリカ選手よりも遅いことが明らかとなった。東京五輪では、アメリカ選手やイタリア選手が日本人選手よりも上位の成績を収めていたことから、日本人選手はvLTやVO₂maxの向上が必要であることが示唆された。

一方で、国内レベルにおいては、vLTと競技成績の関連について、男子は2018年度に、女子は2018年度、2019年度共に逆相関であった。OWSは泳ぐ速さ以外にコース取りやブイ回り等OWS特有の技術も競技成績に影響する。本研究でvLTが低いにも関わらず競技成績が良かった選手は、OWS歴が長かった。一方で、vLTが高かったにも関わらず、競技成績が悪かった選手は、競泳歴は長いものの、OWS歴は浅かった。このようにOWSは、vLTが高いだけでは競技力が優れているとは言えず、OWS指導教本¹⁴⁾においても、競泳で速い選手がOWSで必ず速いわけではないと記されている。OWS10kmレースは競技時間が約2時間であり、競泳の長距離種目の8倍程度の時間を必要とされている。これは、競泳選手にとって経験

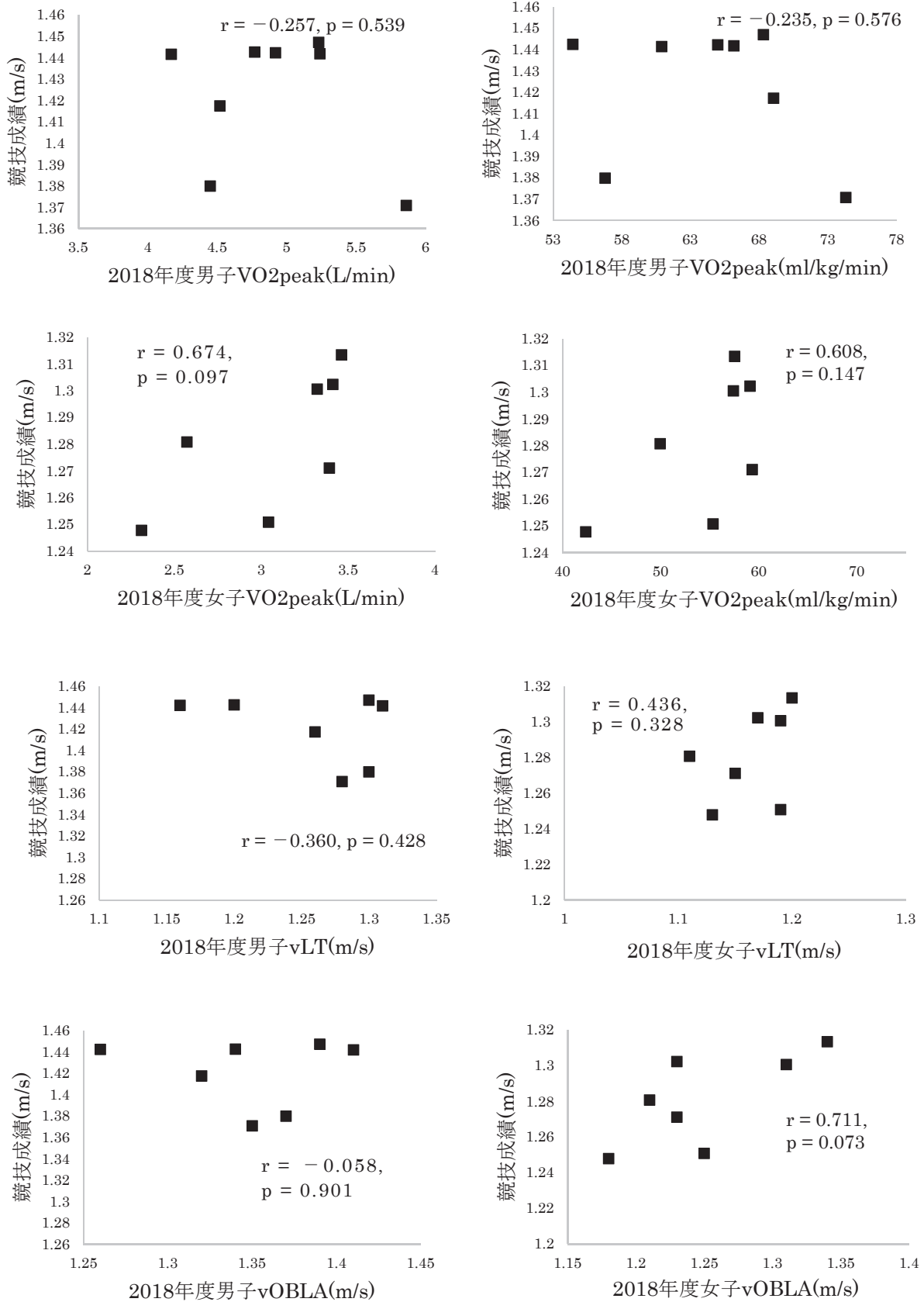
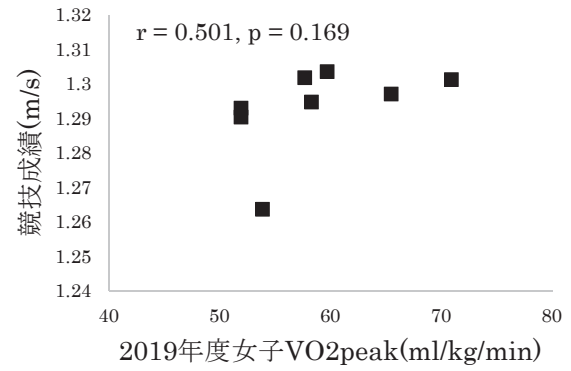
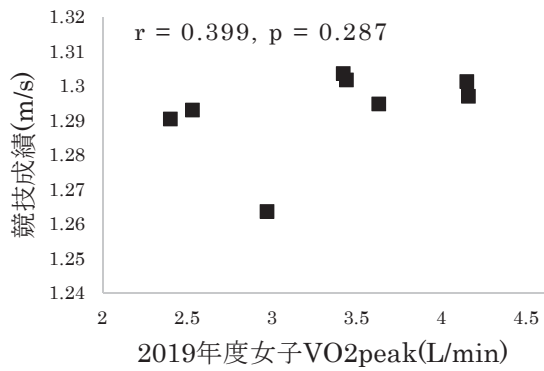
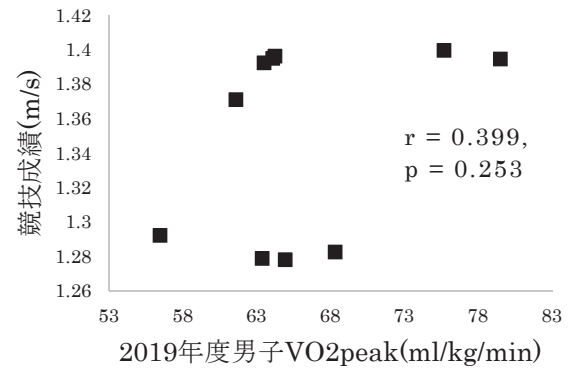
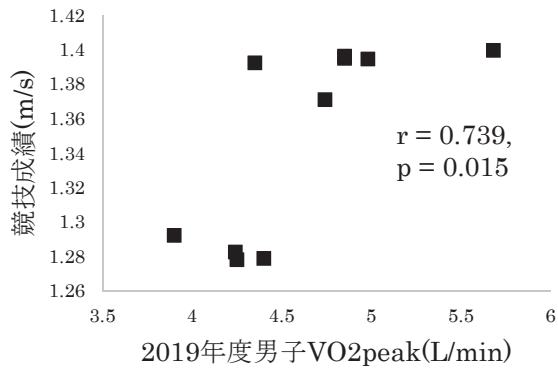


図1 2018年度競技成績とVO₂peak, vLT, vOBLAの相関関係について



29

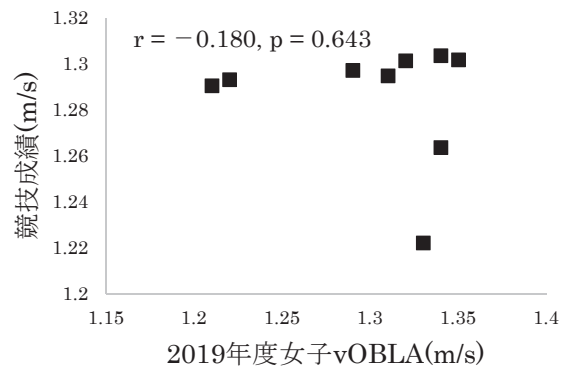
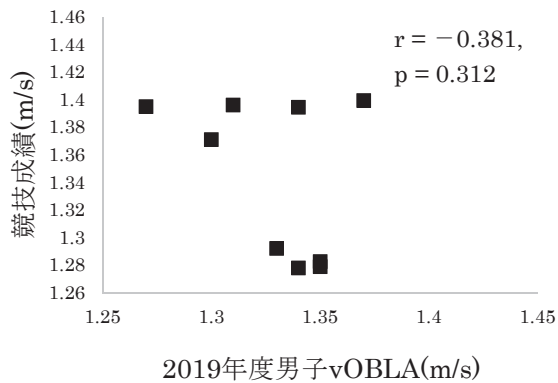
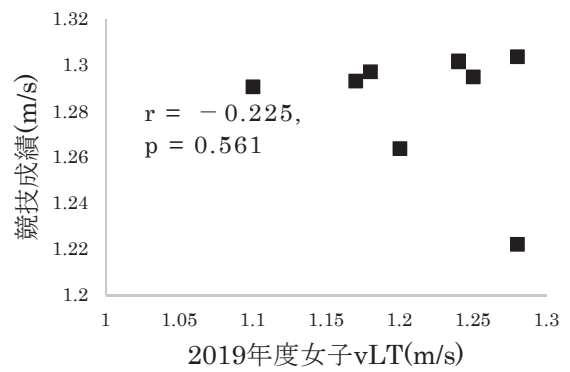
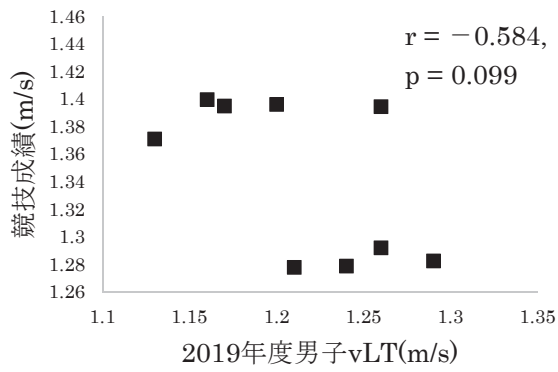


図2 2019年度競技成績とVO₂peak, vLT, vOBLAの相関関係について

したことの無い競技時間であり、レースペースをつかむのが難しい。vLTが高い選手はOWSのレース経験を積み、自身がどのレースペースまで耐えうるかを把握し、的確なコース取りができれば、OWSの競技成績も向上することが示唆された。

vOBLAについて、本研究により、国内レースにおいて上位の成績を収めるためには、男子は1.33~1.35 m/s、女子は1.25~1.30 m/s程度のvOBLAを有していることが望ましいことが明らかとなった。

vOBLAと競技成績の関連では、男女共に逆相関を示したが、これはばらつきが大きかったことが影響していると考えられる。OWSのラストスパートでは血中乳酸濃度が4 mmol/Lを超えると考えられる。また、OWSのリレー種目の導入により1,500 mという短い距離がOWS種目に組み込まれてきたことから、4 mmol/L、もしくはそれ以上の値の時にどの程度の泳速度を出せるかは重要になってくることが推察される。本研究の被験者のうち国際大会において入賞経験がある女子選手2名はvOBLAも高かったことから、国際レースにおいて上位に入るためには、高いvOBLAを有している必要が示唆される。

2008年に小林ら²⁾は、OWS競技中の泳速度は血中乳酸濃度が2 mmol/Lの時と同速度であると報告しているが、現在では2008年よりOWS競技のスピード化が進んでいることも考慮すべきである。実際に本研究で対象とした2019年度のレース泳速度は男子で1.35 m/s、女子で1.29 m/sであり、vOBLAと近似している泳速度となっていた(表2)。OWSは潮流があるため、プールでの速度との比較が妥当かの議論はあるものの、今後はvLTだけでなく、vOBLAも測定していくべきであることが示唆された。

このように、OWSは今後、高スピード化が進む可能性が高く、vLTのみにとらわれず、vOBLA等も引き続き評価し強化していく必要があることが示唆された。また、今回の結果から高いVO2peakを有する競泳選手が、積極的にOWSに出場することで競技力が向上すると考え、すでに海外では競泳とOWS両方でメダルを獲得している選手が増えており、今後はOWSと競泳を分けて強化するよりも、両立できる選手の育成が望ましいと考える。

5. まとめ

本研究は日本トップOWS選手を対象に、VO2peak、vLT、vOBLAを測定し、VO2peakは、男子が4.62~4.90 L/minで、女子は3.07~3.29 L/minであった。また、vLTは男子が1.21~1.26 m/sで、女子が1.16~1.22 m/s、vOBLAは男子が1.33~1.35 m/sで、女子は1.25~1.30 m/sであった。2019年度のナショナルチームに所属している男子選手において、VO2peakと競技成績で有意な強い相関関係が認められた。このことから、高いVO2peakを有する競泳選手が、積極的にOWSに出場することで競技力が向上することが示唆された。

利益相反

本研究に関する開示すべき利益相反状態はない。

文献

- 1) 公益財団法人日本水泳連盟編：オープンウォータースイミング教本改訂版。大修館書店：東京，2-32，2014。
- 2) 小林生海，綾部誠也，鈴木大地，他：オープンウォータ水泳の競技記録と有酸素性作業能の関連性。体力科学，2008，57：443-452。
- 3) Vanheest, JL. Mahoney, CE. Herr L.: Characteristics of Elite Open Water Swimmers. Journal of strength and conditioning research. 2004; 18(2): 302-305.
- 4) Zamparo, P. Bonifazi, M. Faina, M. et al. : Energy cost of swimming of elite long-distance swimmers. European journal of applied physiology. 2005; 94(5-6): 697-704.
- 5) 草薙健太：エリートオープンウォーター選手のコーチング事例—オープンウォータースイミングのコーチングの展望—，コーチング学研究，2017，31(1)：115-125。
- 6) 青木純一郎，佐藤 佑，村岡 功：スポーツ生理学。市村出版：東京，30-39，2001。
- 7) Maglischo, EW. : Swimming fastest. Human Kinetics. In State of Illinois: 541-592.

- 8) 八田秀雄：乳酸をどう活かすかⅡ. 杏林書院：東京, 114-129, 2016.
- 9) Holmer, I. Kundin, A. Eriksson, BO : Maximum oxygen uptake during swimming and running. *Journal of Applied Physiology*. 1974 ; 36(6): 711-714.
- 10) 山地啓司：改訂最大酸素摂取量の科学. 杏林書院, 東京, 74-101, 2001.
- 11) 椿本昇三, 小島勝徳, 下山好充, 他：競泳コーチングにおける持久期トレーニングの評価—乳酸カーブテストを用いて—. *水泳水中運動科学*, 2006, 9 (1) : 1-8.
- 12) 吉田敬義：運動の指標としてのAT, LT, OBLAの持つ意味, *体力科学*, 1993, 42 : 406-414.
- 13) Davis, CT. Thompson, MW. : Aerobic Performance of female marathon and male ultramarathon athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1979; 41(4): 233-245.
- 14) 公益財団法人日本水泳連盟編：水泳競技教本 三訂版. 大修館書店：東京, 184, 20122.