

形状及び素材の異なる水着が水泳時の 推進パワーおよび腹腔内圧に及ぼす影響

東京学芸大学 森山 進一郎
(共同研究者) 鹿屋体育大学 萩田 太
同 萬久 博敏

Effects of Swimming Suits with Different Styles and Materials on Propulsive Power and Intra-abdominal Pressure during Swimming

by

Shinichiro Moriyama
Tokyo Gakugei University
Futoshi Ogita, Hirotohi Mankyu
National Institute of Fitness and Sports

ABSTRACT

Present study aimed to clarify the effects of swimming suit with different styles and materials on active drag and intra-abdominal pressure (IAP) during front crawl swimming with arm stroke only (pull) and whole-body stroke (swim). Ten well-trained male collegiate swimmers ($1.72 \pm 0.06\text{m}$; $66.6 \pm 5.9\text{kg}$; $21.3 \pm 1.7\text{yr}$) participated in this study. For this experiment, IAP was determined during both pull and swim with maximal effort, and drag-swimming velocity relationship and maximum propulsive power were determined during only pull, wearing competitive swimming suit (RS) and conventional swimming suit (CS). IAP was measured using the mean of 2 stable front crawl stroke cycles taken from the difference between minimum and maximum values in each cycle. Active drag force and maximum propulsive power were measured during pull using a system of underwater push-off pads instrumented

with a force transducer (MAD system). Maximum swimming velocities during pull and swim were significantly higher RS than CS. On the other hand, there were no significant difference in IAP between swim suits, and also between pull and swim. There were no significant difference in the estimated drag values at 1.6, 1.8, 2.0m.s⁻¹, maximum propulsive power and IAP related to swimming velocity between RS and CS. These results suggest that RS would contribute to improve swimming performance compared to CS, but that it would not be brought any influences on maximum propulsive power, drag-swimming velocity relationship and IAP.

要 旨

本研究は、形状と素材の異なる水着が泳速-抵抗関係と腹腔内圧 (Intra-abdominal pressure, 以下 IAP と略す.) に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。大学男子競泳選手 10 名に、形状と素材の異なるレース用および練習用水着を着用させ、クロール泳のアームストローク泳 (以下プルと略す.) と全身泳 (以下スイムと略す.) における最大努力時の速度と IAP を測定した。さらに、プルでは、抵抗測定装置を用いて最大下から最大努力で泳いだ際の泳速-抵抗関係、IAP および最大推進パワーを測定した。その結果、最大努力による泳速は、プルおよびスイムともに練習水着よりもレース水着の方が有意に速かったが、IAP に有意差は認められなかった。一方、泳速-抵抗関係の回帰式より推定された同一泳速での抵抗値、最大推進パワーおよびその際の IAP は、水着間で有意差は認められなかった。以上より、レース用水着の着用は、プルおよびスイム共にパフォーマンス向上に貢献するものの、IAP、泳速-抵抗関係や最大推進パワーには影響を及ぼさないことが示唆された。

緒 言

これまで、水着の違いが泳パフォーマンスに及ぼす影響は、抵抗やエネルギー消費量を指標とし

て数多く報告されている¹⁻³⁾。しかしながら、報告された結果に統一見解はなく、水着による抵抗値の変化以外にも他の要因も複雑に影響しており、結局泳者の体型や体格にあう水着を選択することが最も良いパフォーマンスを生み出すことを示唆する報告もある^{3,4)}。

近年のレース水着におけるメーカー各社の機能説明として、「摩擦抵抗を軽減する低抵抗素材の利用」に加え、「身体の動かしやすさのサポート」や「体幹部をサポートすることによる低抵抗姿勢の保持」などが共通点として挙げられている。特に体幹部のサポートや低抵抗姿勢の保持機能については、競技現場の指導者や選手も注目・実感している大きな特徴である。

腹腔内圧 (Intra-abdominal pressure, 以下 IAP と略す.) は、体幹部の活動を定量化する手段の一つであり、上肢や下肢の動作時に体幹部へ生じる負荷の大きさに依存して高まる^{5,6)}。水泳時の IAP に関しては、個人内における泳速に対する変化⁷⁾、最大努力時における個人間の比較^{8,9)}、下肢のみのキック、上肢のみのプルおよび全身泳の比較¹⁰⁾、泳法間の比較¹¹⁾などが報告されている。しかしながら、レース用水着が有するとされる動作の補助機能が、推進力や IAP に影響を及ぼすか否かに関しては、未だ検討がなされていない。

そこで、本研究では、形状と素材の異なる水着が抵抗力、最大推進パワーおよび IAP に及ぼす

影響を明らかにすることを目的とした。

1. 方法

1.1 被検者

被検者は、某体育系大学水泳部に所属し、よく鍛錬された男子競泳選手 10 名で、その身長、体重および年齢を平均値 ± 標準偏差で表わすと、 $1.72 \pm 0.06\text{m}$, $66.6 \pm 5.9\text{kg}$, 21.3 ± 1.7 歳)であった。本研究の内容は、実験に先立ち鹿屋体育大学倫理委員会に提出され、承認を受けた。その後、被検者は実験の背景、意義と測定手順について十分な説明を受け、実験参加に際する危険性を理解した上で被検者となることに同意し、自主的に実験に参加した。

1.2 水着の種類

本研究で用いた水着は、ナイロンおよびポリ

ウレタン素材で股下 25cm 程度の形状であり、締め付けが強めな D 社の 2017 年時点最新モデルのレース用水着（スパッツタイプ）と、ポリエステル素材で股下 5cm 程度の形状の従来型練習用水着（ボックスタイプ）の 2 種類を用いた。水着のサイズは、被検者の身体に最もフィットするものを任意に選択させた。各水着の詳細は図 1 および表 1 に示した。

1.3 試技

すべての実験は、25 m の静水プールにて実施した。試技は、最大努力による上肢のみのクロール泳（以下プルと略す。）およびクロール全身泳（以下スイムと略す。）と、泳速-抵抗関係を求めるための最大下から最大努力までの漸増速度によるプルとした。いずれも端壁を蹴ってスタートし、25 m 先の端壁に手でタッチした。



図 1 レース用水着（左）と練習用水着（右）

表 1 レース用水着と練習用水着の素材と特徴

		素 材	特 徴
レース用水着	身 頃	ナイロン 66%	キックパフォーマンスをサポート 理想的なストリームラインをサポート
	股切替	ポリウレタン 34%	
		ポリウレタン 60%	
		ナイロン 40%	
練習用水着		ポリエステル 100%	

1. 4 最大努力泳における泳速測定

最大努力によるプルおよびスイムの泳速は、被検者を右斜め鉛直方向に設置したビデオカメラ（GZ-RX670, JVC 社製）を用いて 30fps でプールのセンターラインより端壁から 20m のラインまでの 7.5m 区間を撮影した映像を元に、Video Performance Monitor-Swim（VPM-D, YSDI 社製）を用いて計測した。なお、分析には同一検者によって 3 回ずつ計測された中央値を採用した。

1. 5 プルにおける泳速-抵抗関係、および最大推進パワーの測定

抵抗測定は、Toussaint ら¹²⁾によって開発され、萩田ら¹³⁾によって改良を加えた抵抗測定装置（Measurement for Active Drag: MAD システム、ヤガミ社製）（図 2）を用いて行われた。被検者は、プルにて、水深から約 0.7m の深さに設置した 23m の水平ロッドに 1.30m 間隔で計 15 枚装着された固定板を 1 かき毎に押しながら、加減速なく一定の泳速で 25m を泳いだ。一定速度で加減速なく泳いでいる時は、理論上泳者が產生する推進力と抵抗力が等しい状態と見なせるため、本実験では、MAD システムの固定板を押した力、す

なわち推進力を抵抗として用いた。測定時には、両大腿に練習用小型ビート板（以下プルブイと略す。ARN-100, デサント社製）を挟んで、被検者が下肢によるキック動作を行わないよう、すなわちキック動作による推進力が作用しないようにした。被検者が固定板を後方へ押した力は、プール壁にて水平ロッドと連結されたトランスデューサーによって測定された。力信号は、ローパスフィルター（30Hz 以上をカット）処理した後、A/D 変換器を介してデジタル信号化され、100Hz でコンピューターに取り込まれた。

抵抗測定に際し、被検者は MAD システムを用いて最大下から最大努力まで、9～10 回泳いだ。各試泳の平均推進力（= 抵抗力）を求めるために、最初の第 1 固定板にかかった力は壁を蹴ってスタートしたときの推進力の影響を除くために、最後の第 15 固定板にかかった力は壁際の減速の影響を避けるために、それぞれ分析対象外とした。そのため、分析では 13 枚の固定板より得られた力信号をすべて積分し、13 枚の固定板を通過するための所要時間で除すことで平均推進力を算出した。なお、各試泳時の平均泳速は、第 2 固定板に手が触れた時点から第 15 固定板に手が触れた

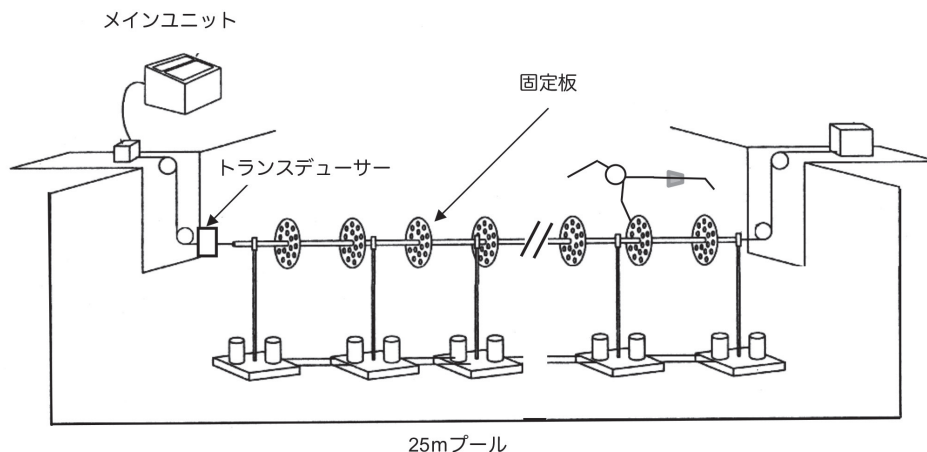


図2 MADシステムの概要図

時までの泳距離 (15.6m) を当該区間に要した時間で除して算出した。各試泳における泳速と抵抗値より、最小二乗法を用いて以下のような泳速-抵抗関係を求めた。

$$F_d = A \cdot v^n$$

ここで、 F_d は抵抗力、 v は泳速、 A (抵抗係数) と n (抵抗指数) は、各被検者の泳速と抵抗値より算出した回帰式の比例定数である。また、最大推進パワーは、MAD システムを用いて泳いだ最後の試技における推進力と平均泳速とを乗じることで算出した。

1. 6 IAP の測定

直径約 1.6mm のカテーテル型圧力センサー (MPC-500, Millar Instruments 社製) を用いて、腹腔鏡による測定値とほぼ同じになる¹⁴⁾ 肛門から約 15cm 内部の直腸圧を IAP として測定した^{7, 15)}。圧力センサーの汚染防止のため、ゴム製のプローブカバー (P249, Nikkiso-YSI 社製) を装着し、プローブカバー内に残った空気が圧力を緩衝しないように、先行研究^{7, 15)} にならい小さな穴を数箇所を開けた。被検者への圧力センサーの挿入は被検者自らがを行い、咳などで顕著に IAP が上昇することを確認した。

本研究で用いる IAP は、先行研究^{7, 15)} を参考に、プルおよびスイム共に最小値から最大値までの上昇量とし、1 かき毎に算出した。1 ストロークサイクルの定義は、右手の入水から左手のかきを介して再度右手が入水するまでとした。

IAP は、A/D 変換器 (Power-Lab 8sp, AD Instrument 社製) を介し、サンプリング周波数 1kHz にて

コンピューターに取り込み、専用ソフト (Lab chart, AD Instrument 社製) を用いて分析した。IAP は、被検者の頭部がプールのセンターラインを越えてからの視覚的に見て明らかなノイズの含まれない 2 ストロークサイクル分の平均値とした。また、トリガースイッチを手動にて被検者の手の入水時に押し、その際に生じる電気信号を IAP と併せて記録することで、ストローク動作の周期点を検出した。

1. 7 統計処理

すべての測定値は、平均値 ± 標準偏差で示した。得られた値の水着間における差の検定には、対応のある t 検定を行った。統計的有意水準は、危険率 5% とした。

2. 結果

2. 1 最大努力泳における泳速と IAP

最大努力のプルおよびスイムにおける泳速は、レース用水着と比較して練習用水着の方がプルおよびスイムともに $0.03\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (プルは 1.9%, スイムは 1.7% に相当) 低く、いずれも統計的に有意な差が認められた (表 2)。一方、IAP は、レース用水着と比較して練習用水着の方が低い傾向を示したものの、統計的な有意差は認められなかった。

2. 2 泳速-抵抗関係と抵抗指標

泳速-抵抗関係より算出された抵抗係数および抵抗指数をレース用水着と練習用水着条件間で比較すると、両条件間に有意差は認められなかった

表 2 最大努力泳における泳速と IAP

試技	泳速 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)				p 値	IAP (mmHg)				p 値
	レース用水着		練習用水着			レース用水着		練習用水着		
	平均	標準偏差	平均	標準偏差		平均	標準偏差	平均	標準偏差	
プル	1.59	0.14	1.56	0.15	0.010	19.3	13.0	18.8	9.1	0.845
スイム	1.78	0.11	1.75	0.10	0.027	30.5	11.5	27.6	6.4	0.319

表3 レース用水着および練習用水着を着用したときに得られた抵抗係数と抵抗指数

被検者	抵抗係数		抵抗指数	
	レース用水着	練習用水着	レース用水着	練習用水着
A	23.9	27.8	2.13	2.11
B	27.4	29.1	1.92	1.86
C	24.7	22.7	2.00	2.11
D	23.7	26.2	2.08	1.88
E	26.5	32.9	1.99	1.65
F	23.5	30.1	1.86	1.75
G	26.8	26.4	2.11	2.17
H	29.9	25.1	1.82	2.07
I	19.8	21.3	2.30	2.17
J	23.3	23.5	2.04	1.98
平均	25.0	26.5	2.02	1.98
標準偏差	2.8	3.6	0.14	0.18
p 値	0.200		0.367	

(表3). また, 得られた抵抗係数と抵抗指数より算出したレース用および練習用水着着用時の泳速-抵抗関係をみると, 泳速が高まるほど, 練習用水着の方が大きな抵抗となることが示された(図3). そこで, 各被検者の泳速-抵抗関係の回帰式を利用して, 1.6, 1.8 および 2.0m.s⁻¹ 時の推定抵抗値(表4)を算出して比較したところ, レース用

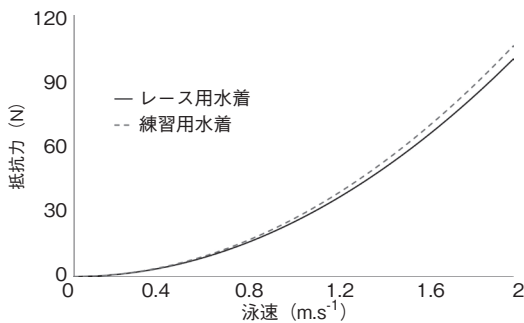


図3 レース用水着と練習用水着を着用した際の泳速-抵抗関係の比較

水着と練習用水着との間には 2.3 から 2.4N (2 ~ 4%) の差が推定されたものの, 有意差は認められなかった.

2. 3 最大推進パワーおよび IAP

MAD システムを用いた最大努力泳時の泳速にその時の推進力を乗じて算出した最大推進パワーは, レース用水着よりも練習用水着の方が 0.7W (0.4%) 高かったが, 有意差は認められなかった(表5). また, 最大推進パワーの得られた際の推進力および IAP は, いずれも有意差は認められなかった.

3. 考 察

本研究は, 形状および素材の異なるレース用, および練習用水着の着用が, 抵抗力や最大推進パ

表4 泳速 1.6, 1.8 および 2.0m.s⁻¹ 時の推定抵抗値

	抵抗力 @ 1.6m.s ⁻¹ (N)		抵抗力 @ 1.8m.s ⁻¹ (N)		抵抗力 @ 2.0m.s ⁻¹ (N)	
	レース用水着	練習用水着	レース用水着	練習用水着	レース用水着	練習用水着
平均値	64.5	66.8	81.8	84.3	101.3	103.8
標準偏差	5.1	5.7	6.2	7.2	7.8	9.3
p 値	0.189		0.228		0.303	

表5 レース用水着と練習用水着における最大推進パワー, およびそれらが得られた泳速, 推進力と IAP

	最大推進パワー (W)		最大泳速 (m.s ⁻¹)		最大推進力 (N)		最大 IAP (mmHg)	
	レース用水着	練習用水着	レース用水着	練習用水着	レース用水着	練習用水着	レース用水着	練習用水着
平均値	163.1	163.8	1.80	1.77	90.1	91.8	14.5	16.3
標準偏差	34.8	36.1	0.08	0.09	15.4	15.4	4.0	4.8
p 値	0.873		0.049		0.438		0.165	

ワーなどの力学的な指標と、体幹安定化能力の指標である IAP に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。本研究の主たる知見として、レース用水着の着用は、泳速-抵抗関係、最大推進パワーやその際の IAP に統計的な有意差をもたらさないものの、最大努力泳における泳速を有意に高めることが明らかとなったことが挙げられる。この知見は、数種類のレース用水着と練習用水着における力学的指標に関する報告⁴⁾を支持するものであった。

3. 1 水着の違いが泳速、抵抗および力学的指標に及ぼす影響

水泳時の泳速は、水泳中のエネルギー供給率、抵抗および水泳効率（推進効率と機械的効率）の関数によって決定される¹⁶⁾。エネルギー供給率と水泳効率は泳者そのものの資質によって決定されるが、抵抗は水着によっても変化し得ることから、水着の開発は抵抗を軽減することに重きを置かれてきた。水泳中の抵抗は、水の流れによって身体の前面と後面に生じる圧力差による圧抵抗、水と皮膚もしくは皮膚と水着の表面との摩擦によって生じる摩擦抵抗、そして身体が水と空気の間界面付近を進む際の波によって生じる造波抵抗などがあり、これら3つの総和によって決定される¹⁶⁾。近年のレース用水着の着用により、泳者の発揮できる推進力が高まるのであれば、最大推進パワーが高まるのが予想され、逆に抵抗力を減少させるのであれば、泳速-抵抗関係に何らかの変化が見られるはずである。本研究では、プルおよびスイムともに、レース用水着着用の方が最大泳速は高かった。このことは、レース用水着が、推進力、抵抗力のいずれか、または双方に影響を及ぼしていることを示唆している。

推進時には水面下の前方投影面積が増すほど圧抵抗が大きくなる¹⁷⁾。しかしながら、本研究ではプルブイの利用によって、下肢への浮力は統一

されたことから、前方投影面積が水着間で大きく異なるとは考えにくい。それにもかかわらず、レース用水着着用時のプルにおける泳速が有意に高まった。この事実は、レース用水着による泳速の上昇は、圧抵抗の軽減以外の要因に起因していることを示唆するものといえる。

荻田ら¹⁸⁾は泳速-抵抗関係に見られる水着間の差について、水着の形状と素材による摩擦抵抗の軽減による影響を挙げている。すなわち、低抵抗素材を用いる面積が増えるほど抵抗が軽減することで泳速が高まること¹⁾に加え、着圧の高いレース用水着で大腿部までを覆うことで、キック動作時の皮膚の振動を軽減できる可能性もある¹⁸⁾。

造波抵抗は、圧抵抗と並んで全抵抗に占める割合が大きい¹⁹⁾。加えて、水面が歪んだ結果生じ、高い泳速ほど水泳時の抵抗を高める要因になる²⁰⁾。よって、より速く泳げるレース用水着の方が練習用水着よりも造波抵抗の影響を受けられるかもしれないが、この点については検討できていないため、不明である。

最大努力プル時の推進力と推進パワーを見てみると、共に水着間で有意差は認められなかった。この結果は荻田ら⁴⁾の下腿まで覆う複数のレース用水着と練習用水着の比較より得た最大推進力と最大推進パワーを比較した報告を支持するものであった。これらのことは、同一個人が最大努力時に発揮する力学的パワーは水着によって影響を受けないことを示唆している。この一方で、水着による抵抗に個人差が見られる意見²¹⁾もある。また、荻田ら³⁾は、水着の選択は水着の素材以上に体型やサイズを考慮して最もフィットするものを選択する重要性を述べている。総合的に鑑みると、レース用水着による泳パフォーマンスへの影響は、個人の発揮できる推進力を高めるのではなく、主に抵抗の軽減に起因すると考えられる。さらに、実際に水着を選択する際には、選手個人

の体型や体格に配慮するなどの個別対応が必要かもしれない。

3. 2 水着の違いが IAP に及ぼす影響

水泳時の IAP は泳速とともに高まること⁷⁾、²²⁾、活動肢の異なるキック、プルとスイムの比較¹⁰⁾では、活動肢(筋量)の大きなスイム、キック、プルの順で高いことが明らかにされている。これらのことは、水泳時の IAP は強度や動作様式(筋活動量)の影響を受けることを示唆するものである。また、IAP を高めて身体を剛体化させることで抵抗の少ない姿勢を保つことが期待されており²³⁾、水泳の競技現場においても IAP を高める重要性は注目を集めている。

仮に、レース用水着の着用が、メーカーの機能説明にある「姿勢へのサポート」を高めるならば、姿勢保持の負担が軽減されることによって水泳時の IAP に差が生じることが考えられる。しかしながら、プルにおいてもスイムにおいても最大努力泳時の IAP は、水着間で有意な差が認められなかった。我々は、競技レベルの異なる水泳選手の最大努力時の IAP と泳速との間に有意な相関関係が認められなかったこと⁸⁾、さらには、水泳時の水平保持姿勢が異なるであろう競泳選手と一般大学生において最大努力クロール泳における IAP に有意な差が認められなかったこと⁹⁾を報告している。これらの結果は、クロール泳時の IAP は、個人間の身体水平保持を含んだ泳技術すなわち泳パフォーマンスとは関係しないことを示唆している。今日の水着が進歩し、様々な機能を持つ事でパフォーマンスが向上したとしても、IAP がそれに関与していることはなく、その点では、最大推進パワーと同様の結果となった。

4. まとめ

本研究は、レース用および練習用といった形状と素材の異なる水着の着用が、最大努力による

プルおよびスイムにおける泳速と抵抗測定装置 MAD システムを用いた泳速-抵抗関係、最大推進パワーおよびその際の IAP に及ぼす影響について比較および検討した。

その結果、

- 1) 最大努力泳における泳速は、プルおよびスイム共に練習用水着よりも抵抗の低いレース用水着着用時の方が有意に高かった。
- 2) 最大推進パワーは、水着の違いによる有意差が認められなかった。
- 3) プル、スイム問わず、最大下から最大泳速まで、IAP は水着による影響を受けないことが示唆された。

以上の結果より、水泳時の力学的指標と IAP は、共に水着の違いによる統計上の有意差が認められないものの、最大努力における泳速をプルおよびスイムともに短距離であっても有意に高めることが示唆された。統計上有意ではないが、抵抗の減少が水着間の泳速に反映しているならば、水泳時のエネルギー消費量と泳速、抵抗や効率との関係からレース距離が長くなるほどに、水着によるパフォーマンスへの影響は大きくなるかもしれない。ただし、このパフォーマンスの向上が、水着機能のサポートによる IAP の変化によって達成されるということは支持されなかった。

謝 辞

本研究の実施にあたり、助成を賜った公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に心より御礼申し上げます。また、実験環境の準備や測定検者としてお力添えをいただいた鹿屋体育大学スポーツ・武道実践科学系角川隆明講師、被検者や測定検者としてご協力いただいた鹿屋体育大学と東京学芸大学の学生に深く感謝致します。

文 献

- 1) Benjanuvatra N., Dawson G., Blanksby B.A., Elliott B.C. Comparison of buoyancy, passive and net active drag forces between fastskin and standard swimsuits, *J. Sci. Med. Sports.*, **5**: 115-123 (2002)
- 2) Chatard J.C., Wilson B., Effect of fastskin suits on performance, drag, and energy cost of swimming, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **40**: 1149-54 (2008)
- 3) 荻田太, 田中孝夫, 田口信教. 競泳用水着の材質, サイズ, カットの違いが水泳中のエネルギー消費量に与える影響, *デサントスポーツ科学*, **17**: 101-112 (1996)
- 4) 荻田太, 田中孝夫, 田口信教. 競泳用水着の材質・機能の違いが水泳中の抵抗, エネルギー消費量に与える影響, *デサントスポーツ科学*, **31**: 32-41 (2010)
- 5) Cresswell A.G., Thorstensson A., Changes in intra-abdominal pressure, trunk muscle activation and force during isokinetic lifting and lowering, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, **68**: 315-321 (1994)
- 6) Grillner S., Nilsson J., Thorstensson A., Intra-abdominal pressure changes during natural movements in man, *Acta. Physiol. Scand.*, **103**: 275-283 (1978)
- 7) Moriyama S., Ogita F., Huang Z., Kurobe K., Nagira A., Tanaka T., Takahashi H., Hirano Y., Intra-abdominal pressure during swimming, *Int. J. Sports Med.*, **35**: 159-63
- 8) 森山進一郎, 金沢翔一, 山縣慧子, 北川幸夫, 荻田太, 高橋英幸, 平野裕一. クロール全力泳における泳速度およびストローク指標と腹腔内圧の関係, *日本運動生理学雑誌*, **21**: 9-15 (2014)
- 9) Moriyama S., Kanazawa S., Yamagata K., Kitagawa Y., Ogita F., Comparison of intra-abdominal pressure between trained and recreational swimmers during maximal front crawl swimming. XIIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming Handbook, 139-140 (2014)
- 10) Moriyama, S., Kanazawa, S., Kitagawa, Y., Nagano, Y., Shibata, Y., Ogita, F., Comparison of intra-abdominal pressure in maximal arm stroke, leg kick and whole body swimming, 21st Annual Congress of the European College of Sport Science, Book of Abstracts 219 (2016)
- 11) 神川菜穂, 森山進一郎, 金沢翔一, 永野康治, 沢井史穂, 北川幸夫. 異なる泳速度によるクロール泳及び背泳における腹腔内圧の比較. *日本水泳・水中運動学会 2015年次大会論文集*, 24-29 (2015)
- 12) Toussaint, H.M., Beeken A., Rodenburg A., Sargeant A.J., Groot G.D, Hollander A.P., Van Ingen Schenau G.J. Propelling efficiency of front-crawl swimming, *J. Appl. Physiol.*, **65**: 2506-2512 (1998)
- 13) 荻田太, 田巻弘之, 前田明, 我妻玲. 競泳パフォーマンスの限定要因に関する検討 - MADシステムを用いた力学的・代謝的解析より -, *デサントスポーツ科学* **25**: 122-130 (2004)
- 14) McCarthy T.A., Validity of rectal pressure measurements as indication of intra-abdominal pressure changes during urodynamic evaluation, *Urology*, **20**: 657-660 (1982)
- 15) Kawabata M., Shima N., Hamada H., Nakamura I., Nishizono H., Changes in intra-abdominal pressure and spontaneous breath volume by magnitude of lifting effort: highly trained athletes versus healthy men, *Eur. J. Appl. Physiol.*,
- 16) Toussaint H.M., Hollander A.P. Energetics of competitive swimming, Implications for training programmes, *Sports Med.*, **18**: 384-405 (1994)
- 17) Capelli C., Zamparo P., Cigalotto A., Francescato M.P., Soule R.G., Termin B., Pendergast D.R., Di Prampero P.E. Bioenergetics and biomechanics of front crawl swimming, *J. Appl. Physiol.*, **78**: 674-679 (1995)
- 18) 荻田太, 黄忠, 黒部一道, 西脇雅人, 小澤源太郎, 田中孝夫, 田口信教. 新型競泳用水着が水泳運動中の抵抗指標に及ぼす影響, *スポーツパフォーマンス研究*, **1**: 238-250 (2009)
- 19) 高木英樹. 抵抗を制する者, 勝負を制す, *水泳水中運動科学*, **4**: 5-10 (2001)
- 20) Miller D.I. Biomechanics of swimming. In Wilmore & Keogh (Eds), *Exercise and Sports Sciences Reviews*, pp.219-248, Academic Press, New York (1975)
- 21) Toussaint H.M. Truijens M., Elzinga M.J., van de Ven A., de Best H., Snabel B., de Groot G., Effect of a Fast-skin 'body' suit on drag during front crawl swimming, *Sports Biomech.*, **1**: 1-10 (2002)
- 22) 森山進一郎, 金沢翔一, 北川幸夫, 高橋英幸, 平野裕一, 柴田義晴. 異なる泳速度におけるクロール泳時の腹腔内圧および体幹筋活動の変化, *東京体育学研究* **7**: 13-18, 2016
- 23) 金岡恒治, 小泉圭介. 『体が生まれ変わる「ローカル筋」トレーニング』. 東京: マキノ出版(2013)