

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

Changes in Intra-abdominal Pressure and Trunk Muscle Activity during Front Crawl Stroke at Different Swimming Velocities

森山進一郎 (日本女子体育大学)
北川 幸夫 (日本女子体育大学)
平野 裕一 (国立スポーツ科学センター)

金沢 翔一 (日本女子体育大学)
高橋 英幸 (国立スポーツ科学センター)
柴田 義晴 (帝京科学大学)

抄録

本研究は、よく鍛錬された大学女子競泳選手9名を対象に、最大下および最大努力の泳速 (V) によるクロール泳時の腹腔内圧 (IAP) および体幹筋活動の変化について検討することを目的とした。試技は、被検者の主観的泳速度を「とてもゆっくり」から「とても速く」までの5段階による20mクロール泳とした。測定項目は、V、IAP、腹直筋 (RA)、脊柱起立筋 (ES) および腹横筋-内腹斜筋 (TrA-IO) の筋活動量とした。分析対象は、12.5mから20m区間における2ストロークサイクルとし、その平均値を各測定項目の値とした。IAPは最小値から最大値までの変化量とし、筋活動量はRMS値とした。その結果、Vは全ての速度間で有意差が認められた。最大泳速時は、最大下の泳速時と比較して体幹筋群の活動量が有意に上昇した。また、RAは手で水を押しつつ水面上へと抜き上げるフィニッシュ局面で特に賦活化し、TrA-IOはRAに先行し、その後相補的な筋活動を行うことでフィニッシュ局面時の姿勢を安定させることに関与している可能性が示唆された。

1 緒言

水泳は、陸上での運動とは異なり、力を発揮するための固定された支持点のない環境で、水平姿勢を保持しながら上肢および下肢を動かして推進力を得る運動である。一方で、体幹部は、上肢と下肢をつなぐ部位であり水抵抗の増減がパフォーマンスに著しく影響する水泳にとってより抵抗の少ない姿勢を保持するため、延いては競技力の向上に大きく影響する重要な部位であると考えることができる。

体幹部の安定化に作用する腹腔内圧 (以下、IAPという) は、腹部筋群、横隔膜および骨盤底筋の協働的収縮によって変化し (Norris, 2000)、上肢および下肢の動作に先立って上昇する (Grillner et al., 1978; Hodges et al., 1997)。Moriyama et al., (2014) は、よく鍛錬された水泳選手を対象に、泳速度の要因 (Craig et al., 1979) となるストローク指標としてのストローク頻度 (stroke rate 以下、SRという: 腕で水をかく頻度)、およびストローク長 (stroke length 以下、SLという: 腕がひとかきする間に進む距離) とIAPとの関係を三段階の最大下の泳速度で検討しており、泳速度の増加とともにSRおよびIAPが増大し、逆にSLが減少したものの、IAPとストローク指標との間には有意な関係が認められないことを報告している。同様に、泳力レベルの異なる水泳選手を対象にした最大努力泳時のIAPと泳速度およびストローク指標との関係を検討した結果においても、IAPは泳速度およびストローク指標ともに有意な関係が認められなかったことが明らかにされている (森山ほか, 2014)。すなわち、これらの報告によると、IAPは個人内の速度変化を反映するものの、個人間の泳パフォーマンスの差異と関係しないことが指摘している。しかしながら、これらの研究では体幹部の筋がどのように活動を行っているのかについて筋電図等による調査は行われていないため、その実態は明らかにされていない。また、Moriyama et al., (2014) の実験は最大下の泳速間の変化を対象としているため、最大努力の泳速度に至るまでの最大下の各泳速度において調査した際にIAPが上昇し続けるのか、あるいは一定の速度で比例的に推移するのか、についてはまだ明らかにされていない。以上のような、最大努力の泳速度に至るまでの最大下の各泳速度におけるIAPおよび体幹部の筋活動を明らかにすることは、水泳競技の競技力向上をねらいとした体幹トレー

Shinichiro MORIYAMA (Japan Women's College of Physical Education)
Yukio KITAGAWA (Japan Women's College of Physical Education)
Yuichi HIRANO (Japan Institute of Sports Science)

Shoichi KANAZAWA (Japan Women's College of Physical Education)
Hideyuki TAKAHASHI (Japan Institute of Sports Science)
Yoshiharu SHIBATA (Tokyo Gakugei University)

受付日: 2015/8/22 受理日: 2016/2/16

ニングの立案に対する有用な資料となり得るだろう。

そこで、本研究では、よく鍛錬された大学女子競泳選手を対象に、最大努力の泳速度に至るまでの最大下の各泳速度におけるクロール泳時のIAPおよび体幹筋活動の変化を検討することを目的とした。

II 方法

1. 被検者

被検者は、大学競泳部に所属しており、1週間当たり8回程度の水中トレーニング(1回あたり2時間程度)に継続的に参加している大学女子競泳選手9名(20.0 ± 0.9歳, 1.61 ± 0.03 m, 54.6 ± 4.8 kg)とした。なお、本研究の被検者のうち、7名はインカレ出場経験を有しており、さらにそのうち4名は日本選手権レベルの競技会への出場経験を有していた。本研究の内容は、実験に先立ち日本女子体育大学倫理審査委員会に提出され、承認を得た(申請番号2012-14)。その後、被検者は本研究の意義、測定手順などについて十分な説明を受け、実験参加に際する危険性や参加の任意性を十分に理解した上で被検者になることに同意し、自主的に実験に参加した。

2. IAPの測定

IAPの測定には、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、肛門から約15cm内部の直腸圧を測定した(Kawabata et al., 2010; Miyamoto et al., 1999)。肛門から10cm以上内部の直腸部におけるIAPは、腹腔鏡を用いて測定されたIAPとほぼ同値となることが確認されている(MaCarthy, 1982)。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)を装着したが、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、先行研究にならぬ小さな穴を数箇所を開けた(Kawabata et al., 2010; Moriyama et al., 2014; 小川ほか, 2012)。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(Kawabata et al., 2010; Moriyama et al., 2014; 小川ほか, 2012)を参考に、最小値から最大値までの上昇量とし、1ストロークサイクル毎に算出した。クロール泳時の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、呼吸の頻度は2ストロークサイクル毎に1回と規定した。

3. 筋電図の測定

筋電図(EMG)は、皮膚表面双極誘導法により、体幹部の腹直筋(RA: Rectus abdominis)、腹横筋-内腹斜筋

(TrA-IO: Transversus abdominis-internal oblique)および脊柱起立筋(ES: Erector spinae)を被検筋として記録した。電極の貼付に先立ち、電極貼付箇所周辺を消毒用エタノールで脱脂した。筋電図の導出には、水中用に改良された電極とプリアンプの一体型(REF SX230 1000, Biometrics社製)を使用した。筋活動量は、柴田ほか(2009)の方法を参考に、RMS(root mean square)値で評価した。

クロール泳は、左右の腕および脚を交互に動かしながら進む泳法であり、腕が水面上を動きリカバリー局面に多少の左右差が見られる場合があったり、特に長距離選手では左右の腕のストロークに独特のリズムを有している場合があったりするが、基本的には左右対称の動作である。本研究に参加した被検者のクロール泳は、日本体育協会公認水泳コーチ資格などを保有する測定検者が、アームストロークの動作やリズムに明らかな左右差が認められないと判断したため、被検筋はすべて右側のみとした。腹直筋および脊柱起立筋など、表層筋群は関節運動や身体重心のコントロールに関与し、腹横筋や内腹斜筋下部などの深層筋群は主に脊柱や骨盤の安定性に関与する(Bergmark, 1989)と報告されている。本研究では、これらの筋肉の機能を参考に、クロール泳時の特に水平姿勢の保持およびストローク動作に関連すると考えられる3筋を選んだ。貼付位置は、先行研究(河端ほか, 2008; 森山ほか, 2012)にならぬ、RAはへそより約3cm外側、ESは第3腰椎棘突起より約3cm外側、TrA-IOは上前腸骨棘から約2cm内下方とした。本研究でのTrA-IOの貼付部位は、解剖学的に腹横筋と内腹斜筋が融合しており、また表面筋電図から導出可能とされている外腹斜筋に覆われていない部位とした(Marshall et al., 2003; McGill et al., 1996)。

4. 試技

実験はすべて静水プールにて実施し、試技は端壁から5m離れたライン上より20m先の端壁までを5段階の泳速度による20mクロール泳とした。泳速度の範囲は4段階の最大下および最大努力とし、最大下内の変化では1ストロークあたりのキック数を変えることのないように指示した。加えて、できる限り被検者自身の自然な泳ぎで泳速度を変化させるために、泳速度は被検者の主観的努力度によって「V1: とてもゆっくり」、「V2: ゆっくり」、「V3: ふつう」、「V4: 速く」、および「V5: とても速く」という5段階に設定した。なお、V5に関しては、最大努力泳とするように指示し、被検者自身の主観および測定検者から見た泳ぎの外観より最大努力と判断した試技を分析対象とした。

5. データの収集方法および分析方法

IAPおよびEMG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、分析ソフト (Chart, AD Instrument社製) を用いて算出した。IAP及び各筋のEMGのRMS値は、プールのセンターラインを越えてから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、ストローク動作の周期点を検出するために、トリガースイッチを使用して被検者の手が入水する際に手動でIAPおよびEMGと併せて記録した。

泳速度測定用の映像は、プールサイドに設置したビデオカメラ (HDR-CX700, SONY社製) を用い、30fpsでプール中央のラインより端壁から5mのラインまでの7.5m区間を、被検者の側面より撮影された。映像はVideo Performance Monitor-Swim (VPM-II Swim, YSDI社製) を用いて同一検者によって三回ずつ計測され、中央値を分析対象値として採用した。

6. 統計処理

測定値は、すべて平均値±標準偏差で示した。泳速度、IAPおよびEMGの泳速度間の比較には、繰り返しのあ一元配置分散分析を用い、主効果が見られた場合にはボンフェローニ法を用いて多重比較を行った。統計には、SPSS 20.0 (IBM SPSS社製) を使用した。統計的有意水準は、5% ($p < 0.05$) とした。

III 結果

1. 各努力度における泳速度、IAPおよびEMGの変化

表1に各努力度における泳速度、IAPおよびEMGの値を示した。泳速度は、全ての努力度の間で有意差が認められた。IAPは、V5がV4を除くすべての努力度と比較して、V4がV1およびV2と比較して、そしてV3がV1と比較して、それぞれ有意に高い値を示した。RAは、V5がすべての努力度と比較して、V4がV1と比較してそれぞれ有意に高い値を示した。TrA-IOは、V5がすべての努力度と比較して、V4がV1およびV2と比較してそれぞれ有意に高い値を示した。ESは、V5が全ての努力度と比較して有意に高い値を示した。

2. 各泳速度におけるIAPおよびEMG波形の変化

図1は、5段階の泳速度における2ストロークサイクル中のIAPおよびEMGの波形について、代表的な被検者1名の例を示したものである。IAPおよびEMGともに波形の様相には被検者毎に多少の差異が見られるものの、すべての被検者においてストロークサイクルに対して同様の波形の繰り返しが見られた。RAの活動量は、全ての被検者で左手の入水時付近に賦活化が確認された。TrA-IOの活動量は、左手入水時にRAに先立つように賦活化した被検者が7名で、RAの活動とほぼ同時に賦活化した被検者が2名であった。さらに、8名の被検者において、左手入水後に一度活動がほぼなくなった後、再度右手の

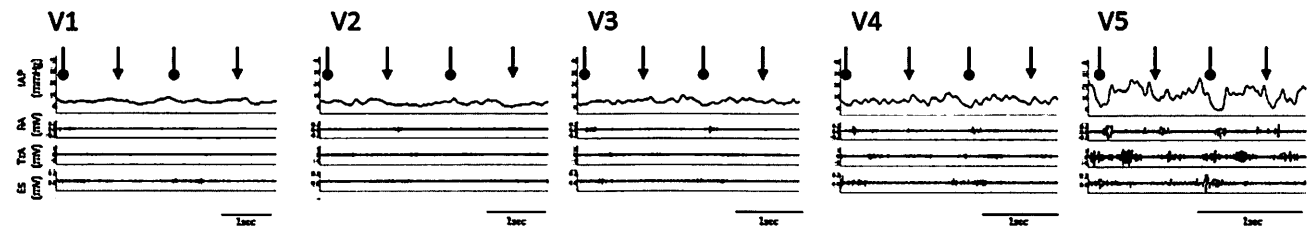
表1 泳速度、IAP、RA、TrA-IO およびES における努力度間の変化

	Velocity (m·s ⁻¹)			IAP (mmHg)			EMG (mV)								
	mean	SD	difference	mean	SD	difference	RA			TrA-IO			ES		
							mean	SD	difference	mean	SD	difference	mean	SD	difference
V1	1.00	0.08		6.7	1.6		29.2	6.2		61.1	19.9		39.7	8.2	
V2	1.11	0.09	vs V1*	8.2	2.4		31.2	4.8		91.5	45.3		43.5	7.8	
V3	1.24	0.10	vs V1*, V2*	10.6	3.1	vs V1*	35.0	9.1		105.2	60.0		47.4	12.4	
V4	1.37	0.07	vs V1*, V2*, V3*	14.7	4.2	vs V1*, V2*	47.3	17.1	vs V1*	135.0	42.6	vs V1*, V2*	58.1	20.3	
V5	1.50	0.05	vs V1*, V2*, V3*, V4*	19.2	4.3	vs V1*, V2*, V3*	70.1	23.5	vs V1*, V2*, V3*, V4*	203.9	48.6	vs V1*, V2*, V3*, V4*	71.3	23.5	vs V1*, V2*, V3*, V4*

V1:「とてもゆっくり」; V2:「ゆっくり」; V3:「ふつう」; V4:「速く」; V5:「とても速く」。

IAP: Intra-abdominal pressure; RA: Retus abdominis; TrA-IO: Transversus abdominis-internal oblique; ES: Erector spinae

*: $p < 0.05$



↓: 右手入水時; ↓: 左手入水時

IAP: Intra-abdominal pressure; RA: Retus abdominis; TrA-IO: Transversus abdominis-internal oblique; ES: Erector spinae

図1 クロール泳における泳速度の差異によるIAPおよび体幹筋活動の変化の典型例

入水に向けてTrA-IOの活動量が賦活化した。ESの活動量は5名の被検者において右手の入水時に賦活化したが、それ以外にも被検者によって様々な様相が見られた。また、手の入水後に見られるIAPの下降は全ての被検者に共通して見られたが、その度合いは個人間で大きな差異が見られた。

IV 論議

本研究では、よく鍛錬された大学女子競泳選手を対象に最大下および最大努力の泳速度によるクロール泳における腹腔内圧および体幹筋活動の変化を検討した。本研究より得られた主たる知見として、IAPおよび体幹筋群の活動は、有意な変化を示す泳速度に若干の相違点が見られるものの、高い泳速度で上昇したことが挙げられる。特にIAPの変化については、流水プールにて実施された最大下泳速度間を対象とした報告(Moriyama et al., 2014; 小川ほか, 2012)と同様の結果であった。

Moriyama et al. (2014) および小川ほか(2012)は流水プールでの泳動作を対象に、それぞれ最大下の泳速間のIAPを比較した結果、泳速とIAPとが共に上昇したことを報告している。本研究において、最大および最大下の泳速におけるIAPは、最大下間も含めて泳速の上昇とともに有意な増大を示したことから、先行研究(Moriyama et al., 2014; 小川ほか, 2012)の結果を支持するものであった。次に、EMGのRMS値を泳速毎に見てみると、RA、TrA-IOおよびESともに最大下努力泳時と比較して、最大努力泳時の方が有意に大きな筋活動が認められた。クロール泳時の特に体幹筋群の活動を検討した文献は、我々の見る範囲で一例(森山ほか, 2012)しかない。森山ほか(2012)は、アームストローク動作のみのクロールプル牽引泳において、牽引負荷と共にRAおよびTrA-IOの活動量が有意に賦活化しつつも、ESの活動量に有意な変化が見られなかったことを報告している。しかし、本研究では、RA、TrA-IOおよびESともに泳速と共に活動量が増大した。以上の結果における差異は、以下の様に考察できる。クロールプル牽引泳は、大腿部に浮力体であるプルブイを挟んだ状態で腰部にベルトを巻き付け、そのベルトとプール端壁とをゴムチューブでつないで実施する(森山ほか, 2012; 柴田ほか, 2009)。牽引泳ではない通常のクロール泳は、アームストロークによって生み出された推進力を含む流体力が足沈め効果をもたらす。脚によるキック動作によって足沈め効果を打ち消す役割を担っている(矢内, 2005)。牽引泳は浮力体を大腿部に挟んだとしても牽引ゴムによって常に体幹部を端壁側へ牽引されるために下肢が沈み込み腰椎が前弯気味となり、結果として牽引負荷の増大とともにRAを積極的に活動させ

ることで水平姿勢を保とうとして、拮抗筋であるESの活動は抑制される。しかしながら、通常泳では、牽引泳と異なり、キック動作によって水平姿勢を保ちやすいことから、体幹部の筋活動様式に差異が生じたものと見なすことができよう。以上を総じて、IAP、RA、TrA-IOおよびESの活動量の変化に見られるように、泳速度を高める際には複数の体幹筋群を同時に収縮させていることが明らかとなった。

次に、ストローク動作におけるIAPおよびEMGの変化について、各筋の機能と照合しながら考察を進める。本研究では、全被検者において左手の入水後に右側のRAが賦活化し始めており、森山ほか(2012)のクロールプル牽引泳を対象とした報告と同様の結果であった。中島ほか(2006)の水泳人体シミュレーションモデルSWUMを用いたクロール泳の力学的分析によると、手で水を押しつつ水面上へと抜き上げる局面(以下、フィニッシュ局面)では腰椎関節トルクが最も大きくなり、RA、外腹斜筋および内腹斜筋が大きく活動しつつ、体幹にかかる負荷が最大となることを報告している。一般的に片方の手が入水して手首を屈曲し始める時は、もう片方の手のフィニッシュ局面に相当する(Maglischo, 2003)。すなわち、本研究で全ての被検者に共通して見られたRAの活動は、中島ほか(2006)のコンピューターシミュレーションモデルより得られた報告が、実際の泳者に対して適用可能であることを示唆するものであった。また、クロール泳はアームストローク動作によって足を沈めるトルクが発生する(矢内, 2005)ことを考えると、RAの活動はキック動作と共に足を沈める効果を打ち消して水平姿勢を保持するために賦活化している可能性がないとも言いきれない。さらに、本研究より得られたIAP波形を見てみると、低下の度合いに大きな個人差が見られるものの、手の入水後に一時的に低下していることから、フィニッシュ局面における体幹にかかる腰椎関節トルクの増大にはIAPの減少が関与しているものと推察される。

TrA-IOの活動は、左手の入水時にRAの活動に先立つように賦活化した被検者が7名で、RAの活動とほぼ同時に賦活化した被検者が2名であった。Hodges et al. (1997)や河端ほか(2008)は、着地動作や上肢を挙上するといった動作時には姿勢を保持するためにTrA-IOがRAに先行して活動し始め、その後相補的な筋活動を行っていることを報告している。さらに、上述したTrA-IOとRAの筋活動のメカニズムに加えて、RAの活動の上昇は右手のフィニッシュ局面と関係していることを考慮に入れると、フィニッシュ局面では、TrA-IOとRAの相補的な筋活動によって水を力強くかく際の姿勢の安定化を図っている可能性が示唆された。さらに、8名の被検者において、左手入水後に一度活動がほぼなくなった後、再

度右手の入水にかけてTrA-IOの活動が賦活化したが、この結果は森山ほか(2012)の報告を支持するものであった。内腹斜筋は、ある片側一方が収縮することで同側に体幹を回旋するように働き(Mcleod, 2010)、さらに腹横筋の下部線維は同側方向への体幹回旋時に大きな活動量を示す(Urquhart et al., 2005)ことから、TrA-IOは体幹を回旋させながら同側の腕で水をかく動作にも作用している可能性が示唆された。

ESは脊柱を伸展し、側方に屈曲かつ回旋する機能を有し(ウォーフィル, 2000)、クロール泳におけるESは身体の姿勢を水面に対して水平に保つためやスタートおよびターン後の浮き上がり時にRAとの拮抗作用で水中バタフライキック時に用いられる(Mcleod, 2010)、クロール泳ではアームストローク動作による足沈め効果とキック動作による足沈め効果の打ち消し作用が働く(矢内, 2005)ことに加え、キック動作に主に起因する体幹部の伸展および屈曲方向にかかる負荷が生じる(中島ほか, 2006)ことから、RAとESの作用によって水平姿勢を保っているものと考えられる。

本研究の限界として、泳速度の設定が被検者の主観的努力度によってのみ規定されていること、体幹部のEMG測定が右側のみであることに加えて呼吸量も測定していないことからIAPの上昇に関わるすべての要素の測定を網羅できていないこと、そして被検者が女性のみであることが挙げられる。本研究では、主観的な努力度によって泳速度を変化させることで被検者の自然な泳ぎにおける検討を行ったために、最大下泳速度間の差が被検者によっては均等となっていない。そのため今後は、異なる泳速度における体幹部の活動をより詳細に考察するためにも、ペースメーカーなどを用いて客観的な速度での検討を行うことが必要だろう。本研究結果より、IAPやEMGは個人間での共通点がいくつか見られ、かつ異なる泳速度間では個人内で一定の様相が見られたが、右手入水時のESの筋活動は約半数の被検者にしか見られず、IAP波形は先行研究(Moriyama et al., 2014; 森山ほか, 2014; 小川ほか, 2012)と比較しても、個人によって多種多様であった。クロール泳は上肢および下肢を常に動かし続ける泳法であるため、IAPや体幹部の筋活動は、四肢の動作や個人の技術的な要因の影響を受けることが推測される。とりわけESの活動は泳動作など、何かしらの個人差を顕著に反映するのかもしれない。加えてIAPには本研究で測定できていない多裂筋、横隔膜や骨盤底筋の活動も関与しており(Norris, 2000)、吸気量によっても影響を受ける(Kawabata et al., 2010)。それゆえ、本研究で得られた知見をさらに深く分析するためには、左右両側の体幹部の筋活動や呼吸量を測定するといったIAPに関与する要因をできる限り網羅した検討が必要だろう。また、骨

盤の形状は、男女による違いが非常に顕著である点を考慮に入れると、クロール泳時の体幹部筋群の働きにも性差が見られる可能性は否めない。そのため、本研究より得られた知見をそのまま男性選手にも適用できるかどうかは断定できないため、今後さらなる検討が必要だろう。

本研究の結果より、クロール泳時のIAPは個人内の泳速度と共に上昇することが示され、先行研究(Moriyama et al., 2014)を支持した。個人内の泳速度とIAPとの間の縦断的な変化は明らかとなったものの、さらなる泳速度の上昇がその個人内のIAPを上昇させるかどうかについては、まだ検討の余地がある。それゆえ、今後は一定期間の体幹トレーニングの前後におけるIAPと泳速度との関係を検討する必要があるだろう。この課題を明らかにすることは、水泳競技における体幹トレーニングの意味付けを明確にすることにつながるかもしれない。

V 要約

本研究では、よく鍛錬された大学女子競泳選手を対象に、最大下および最大努力の泳速度によるクロール泳における腹腔内圧および体幹筋活動の変化、並びにクロール泳動作がIAPおよび体幹部のEMGに及ぼす影響を検討した。

その結果、競泳選手がクロール泳で泳速度を高める際には顕著な体幹筋群の賦活化およびIAPの上昇が認められた。また、RAは手で水をかき終えるフィニッシュ局面で特に賦活化し、TrA-IOはRAに先行し、その後相補的な筋活動を行うことでフィニッシュ局面時の姿勢を安定化させるように作用する可能性が示唆された。

付記

本研究は、科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金)における若手研究(B)(JSPS科研費:課題番号23700743)および平成26年度日本女子体育大学共同研究費の助成を受けたものです。

文献

- Bergmark, A. (1989) Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. *Acta Orthop Scand Suppl.*, 230: 1-54.
- Craig, A. B., Pendergast, D. R. (1979) Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Med Sci Sport Exerc.*, 11: 278-283.
- Grillner, S., Nilsson, J., Thorstensson, A. (1978) Intra-abdominal pressure changes during natural movements in man. *Acta*

- Physiol Scand., 103: 275-283.
- Hodges, P. W. and Richardson, C.A. (1997) Feedforward contraction of transversus abdominis is not influenced by the direction of arm movement. *Exp Brain Res.*, 114: 362-370.
- 河端将司, 加賀谷善教, 島典広, 西蘭秀嗣 (2008) ドロップジャンプ動作中における体幹の筋活動および腹腔内圧の変化. *体力科学*, 57: 225-234.
- Kawabata M, Shima N, Hamada H, Nakamura I, Nishizono H (2010) Changes in intra-abdominal pressure and spontaneous breath volume by magnitude of lifting effort: highly trained athletes versus healthy men *Eur J Appl Physiol.*, 109: 279-286.
- Maglischo, E. W. (2003) *Swimming Fastest, Human kinetics: Champaign*, p. 104,
- Marshall, P., and Murphy, B. (2003) The validity and reliability of surface EMG to assess the neuromuscular response of the abdominal muscles to rapid limb movement. *J Electromyogr Kinesiol.*, 13: 477-489.
- McGill, S., Juker, D., and Kropf, P. (1996) Appropriately placed surface EMG electrodes reflect deep muscle activity in the lumbar spine. *J Biomech.*, 29: 1503-1507.
- McCarthy, T. A. (1982) Validity of rectal pressure measurements as indication of intra-abdominal pressure changes during urodynamic evaluation. *Urology* 20: 657-660.
- Miyamoto K, Iinuma N, Wada E, Shimizu K (1999) Effects of abdominal belts on intra-abdominal pressure, intramuscular pressure in the erector spinae muscles and myoelectrical activities of trunk muscles. *Clin Biomech* 14: 79-87.
- 森山進一郎, 甲斐裕子, 加茂美冬, 湯田淳, 北川幸夫 (2012) クロールプル泳における牽引負荷の相違による体幹筋活動の変化. *日本女子体育大学スポーツトレーニングセンター紀要* 15: 9-14.
- 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 (2014) 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.
- Moriyama S, Ogita F, Huang Z, Kurobe K, Nagira A, Tanaka T, Takahashi H, Hirano Y (2014) Intra-abdominal pressure during swimming. *Int J Sports Med.*, 35: 159-63.
- 小川まどか, 島典広, 太田洋一, 河端将司, 関子浩二 (2012) 流速の異なるクロール動作中の腹腔内圧の変化様相. *トレーニング科学* 24: 69-75.
- Norris, C. M. (2000) *Back stability, 2nd Ed., Human kinetics: Champaign*, pp. 55-57.
- McLeod, I. (2010) *Swimming anatomy. Human kinetics: Champaign*.
- 中島求, 三浦康郁, 金岡恒治 (2006) 水泳運動における腰椎の負荷と拳動のシミュレーションと実験的検証. *バイオメカニズム*, 18: 45-56.
- 柴田義晴, 北川幸夫, 川上哲, 米津光治, 花木敦, 森山進一郎 (2009) 水泳トレーニング法としてのテザード泳の運動方法学的研究. *東京学芸大学紀要 芸術・スポーツ科学系* 61: 105-112.
- Urquhart, D. M. and Hodges, P. W. (2005) Differential activity of regions of transversus abdominis during trunk rotation. *Eur Spine J.*, 14: 393-400.
- ウォーフィル: 矢谷令子, 小川恵子訳 (2000) 図説 筋の機能解剖. 医学書院: 東京.
- 〈John H. Warfel. (1993) *The Extremities (6th edition) and The Head, Neck, and Trunk: Muscles and Motor Points (6th edition) by Lea & Febiger: Philadelphia.*〉

連絡責任者

住所: 〒157-8565 東京都世田谷区北烏山8-19-1

氏名: 森山 進一郎

電話番号: 03-3300-2810

E-mail: moriyama.shinichiro@gmail.com