

クロール泳における泳速度, ストローク頻度およびストローク長の変化と筋活動の関係

生田 泰志^{1,2)} 松田 有司²⁾ 山田 陽介³⁾
来田 宣幸⁴⁾ 小田 伸午²⁾

RELATIONSHIP BETWEEN CHANGES OF SWIMMING VELOCITY, STROKE RATE, STROKE LENGTH AND MUSCLE ACTIVITIES IN FRONT CRAWL SWIMMING

YASUSHI IKUTA, YUJI MATSUDA, YOSUKE YAMADA,
NORIYUKI KIDA and SHINGO ODA

Abstract

The aim of this study was to investigate the relationship between changes in swimming velocity (SV), stroke rate (SR), stroke length (SL) and muscle activities during a 4×50m swimming test to simulate a 200m freestyle race. A total of 20 male collegiate swimmers participated in this study. The electromyography (EMG) signals of 11 muscles, 7 muscles in the upper half of the body and 4 muscles in the lower half, were recorded with surface electrodes. SV, SR and SL were analyzed for each 50m (S1, S2, S3 and S4) from side view recordings of swimmers taken with an underwater camera.

SV and SR for S1 were significantly higher than for S2 and S3. SL for S1 was significantly longer than for S3. The averaged EMGs (aEMGs) for S1 were significantly higher than for S2 or for S3 in 5 muscles (flexor carpi ulnaris, biceps brachii, triceps brachii, deltoideus posterior and rectus femoris). There were no significant changes between S3 and S4 in SV, SR, SL and aEMG of all muscles except pectoralis major which showed the highest aEMG in S4. Significant correlations were observed between changes of (Δ) aEMG and Δ SV, especially in upper half muscles ($r=0.485-0.939, p<0.05$).

These results suggested that decline in muscle activities of the five muscles mentioned earlier caused a decrease in SV from S1 to S3; and an increase in muscle activity of the pectoralis major led preventing a decline in SV by maintaining the SR in S4.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2010, 59 : 427~438)

key word : electromyography, swimming velocity, stroke rate, stroke length, fatigue

I . 緒 言

競泳競技の勝敗は、スタート合図からゴールタッチまでの所要時間、すなわち記録により決定される。より良い記録を樹立するためには泳ぎの速さが多大に貢献することは言うまでもないが、一定区間をより速く泳ぐためには、高い泳速度 (swimming velocity: SV) を獲得することと、それを維持することあ

るいはその低下を小さく抑えることが求められる。

SVは、ストローク頻度 (stroke rate: SR) とストローク長 (stroke length: SL) の積で求められることから、レースペース等、レース中のSV変化について検討する際には同時にSRとSLの変化についても考えなければならない。このようなSV, SRおよびSLをレース中に検討した研究としては競泳のレース分析があげられる。この研究は、オリンピックをはじ

¹⁾大阪教育大学大学院教育学研究科
〒582-8582 大阪府柏原市旭ヶ丘4-698-1

Graduate School of Education, Osaka Kyoiku University

²⁾京都大学大学院人間・環境学研究科
〒606-8501 京都市左京区吉田二本松町

Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University

³⁾福岡大学スポーツ科学部身体活動研究所
〒814-0180 福岡市城南区七隈8-19-1

Faculty of Health and Sports Science, Fukuoka University

⁴⁾京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科
〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎御所海道町

Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology

めとする国際大会や各国の国内選手権で行われており^{1~7)}, 日本でも1987年より始められ, 現在では日本水泳連盟医・科学委員会の一事業として継続的に実施されている^{8~12)}.

レース分析によりSVの変化をSRやSLの増減から検討できるようになってきたが, その現象のメカニズムについては解明されていない. レース開始後, 徐々に疲労が蓄積していくためにSVが低下しやすくなるが, 選手はそれを防ごうとしてSRやSLを変化させる. つまり, 選手はレース中, SVの低下を防ぐために発揮出力をコントロールしてSRやSLを変化させていることになる. しかしながら, レース中のSRやSLの変化に対して力を発揮する源である筋活動を検討した研究はみられない. 一般的に筋活動は筋電図を用いて調査されているが, 当然のことながら競泳のルールや機器の装着等の問題からレース中に筋電図を記録することは不可能である. そのため, 現実的にはレースに近い状態を作り出した上で実験を行い水泳中の筋活動量を検討しなければならない.

Aujouannet et al.¹³⁾は, 200mレースをシミュレートするために50mを4回, 10秒間の休息を挟んで最大努力で泳ぐ高強度の泳テストを採用し, 水泳選手の疲労と筋活動の関係について研究した. その結果, 泳テストの前後に測定した肩関節の最大屈曲力発揮中の上腕二頭筋と上腕三頭筋の平均周波数および1回目と4回目に計測したSVとSRが有意に低下したことが示され, 疲労の影響が両筋にみられたことを報告している. この研究では, レースに近い状態を作り出されて実験は行われたものの, 筋電図の記録は泳テストの前後に行われている. そのため, テスト進行に伴い徐々に疲労が蓄積されていく中で, どのように水泳中の筋活動が変化していくのかは判断できない.

一方, 水泳中に筋電図を記録した研究は散見される. Rouard & Billat¹⁴⁾は, 水泳中に最も活動する筋は上腕二頭筋であることや, 一方の手が入水してから再び同じ手が入水するまでの1回のサイクル(1ストロークサイクル)中の腕の動作を局面分類して各局面で主に活動する筋を明らかにした. 同じようにPink et al.¹⁵⁾は, 肩関節周囲の12筋について1ストロークサイクル中の筋活動量の変化を調べている. また, 100mのベストタイムの85%の泳速度で100mを4回, 45秒間の休息を挟んで上肢6筋の筋電

図解析を検討した一連の研究では, 100mの記録に変化が無く, 筋活動量の増加も尺側手根屈筋を除く5筋には認められなかったことや, ストローク動作中盤のインスイープ局面の時間は短い, この局面では多くの筋が動員され, 特に上腕二頭筋の筋活動量が高いことが明らかにされている^{16~18)}. 他にも, 牽引泳を用いて尺側手根屈筋と尺側手根伸筋の筋電図解析を検討した研究¹⁹⁾, 流水プールを用いて3段階の泳速度における橈側手根屈筋, 上腕二頭筋, 上腕三頭筋および三角筋の筋活動を検討した研究などがある²⁰⁾.

これらの先行研究からは, 水泳中に活動する主な筋が明らかとなったが, いずれの研究においても方法論上の問題も含めて, 筋電図解析についてテスト進行に伴う記録やSVの変化との関係は明らかでなく, SRやSLと関連させた検討も十分になされていない. さらに, これまでの研究では上肢を中心とした上半身の筋活動のみが注目されており, 下半身に關しては我々の知る限りにおいて先行研究は見当たらない. クロールの場合, 1ストロークサイクル中に2回, 4回または6回のキックを打ち下ろす. つまり, キック動作は一定のリズムで腕のストローク動作に連動して行われていることから, SRの変化に対してはキックの頻度も変化することは容易に理解できる. したがって, レースに近い状態を作り出し, テスト進行に伴うSV変化の現象をSRとSLの変化から捉え, 同時に上半身だけでなく下半身の筋電図解析についても検討する必要がある.

本研究は, 200m自由形レースをシミュレートした50m×4回の泳テストにおけるSV, SRおよびSLの変化と上半身および下半身の筋活動の関係について明らかにすることを目的とした.

Ⅱ. 方 法

A. 被験者

本研究は, 大学水泳部に所属する男子競泳選手20名(年齢 20.5 ± 1.0 才, 身長 175.2 ± 5.3 cm, 体重 67.7 ± 5.4 kg)を被験者とし, 9名(グループ1)と11名(グループ2)の2つのグループに分けて実験を実施した. 被験者20名中15名がシーズン中に個人種目あるいは800mリレーにおいて200m自由形レースに出場しており, その平均記録は 121.35 ± 3.98 秒であった. さらに, その中の5名は日本学生選手権の

800mリレーに出場した経験があった。また、200m自由形の記録が無い5名の競技レベルは、大学生の都道府県大会に出場する程度であり、記録のある15名よりも自由形の競技レベルが劣る者であった。

被験者は、事前に実験内容に関する十分な説明を受けた後、本実験への参加に同意した。なお、本研究は、京都大学大学院人間・環境学研究科の倫理委員会で審査され承認を得ている。

B. 泳テストと血中乳酸濃度の測定

実験はクローリング泳で行った。本研究では、水泳中の筋電図を記録するために計測機器を装着しなければならず、ターン動作ができないために連続して200mを泳ぐ方法を泳テストとして採用することができない。そこで、200mレースに近い状態を再現するために、10秒間の休息を挟みながら200mを50m×4回に分けて泳ぐブロークンと呼ばれる方法^{13,21)}を泳テストとして行った。この方法は実際にレースペーストレーニングの一環として実施されており、被験者には、200mレースを想定して泳ぐように教示した。

また、この泳テストが200mレースの強度を再現できたかを確認するために、泳テスト終了直後および3分後に指先より採血し、血中乳酸濃度の測定を行った。測定には簡易乳酸測定器（アークレイ社製、ラクテート・プロ）を使用し、2回の測定から最高値を分析対象とした。

C. 水中撮影と分析

水中カメラ（ヤマハ発動機社製、水中モニターシステム2）を25m地点のプール底に設置し、21mから29m区間を泳ぐ被験者を側方から撮影した。なお、撮影区間については実験開始前にキャリブレーションを行った。具体的には、被験者が泳ぐコースのプール底に描かれたライン上方に、垂直のフレームが1m間隔に取り付けられた縦1m、横6mの格子を設置し、その様子を録画して画像分析の際に距離基準として用いた。

撮影された泳テスト中の映像は、画像分析ソフト（DKH社製、フレームディアスII）を用いて、被験筋側の右手指先が入水および出水するポイントを手動デジタイズし、2次元DLT法により実座標を算出した。算出された2から4ストロークサイクルについて、1ストロークサイクルごとの移動距離と所要

時間（ストロークタイム）からSV、SRおよびSLの平均値を求めた。さらに、入水から出水（水中局面）までの所要時間を求め、1ストロークサイクルにおける水中局面の割合を求めた。また、グループ2においては、撮影された映像を用いて1ストロークサイクル中のキックの回数を確認した。

D. 筋電図の導出と分析

Table 1に示したように、グループ1の被験筋は、右側の尺側手根屈筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、三角筋前部、三角筋後部、大胸筋および広背筋の7筋であり、グループ2は、右側の尺側手根屈筋、上腕二頭筋、大胸筋、前脛骨筋、腓腹筋、大腿直筋および大腿二頭筋の7筋であった。上半身の被験筋7筋は、先行研究¹⁴⁻¹⁹⁾でクローリング泳中に活動が確認されている筋の中から選び、グループ1とグループ2に共通した被験筋については、水中局面におけるクローリングの腕の動作に関与し、末梢から中枢にかけて位置する尺側手根屈筋、上腕二頭筋および大胸筋を選択した。また下半身の4筋については、クローリングのキック動作に作用すると考えられる4筋を選んだ。なお、電極の貼付位置は、Aldo O. Perottoの方法²²⁾に従って決定した。

Table 1. Muscles in Group 1 and Group 2

	Group1 (n=9)	Group2 (n=11)
Flexor Carpi Ulnaris	9	8
Biceps Brachii	7	10
Triceps Brachii	8	
Deltoides Anterior	8	
Deltoides Posterior	6	
Pectoralis Major	8	10
Latissimus Dorsi	9	
Tibialis Anterior		7
Gastrocnemius		8
Rectus Femoris		11
Biceps Femoris		9

The values are the number of subjects employing in a EMG analysis.

筋電図は皮膚表面双極誘導法により記録した。電極の貼付に先立ち、電極貼付箇所周辺を剃毛し、消毒用エタノールで脱脂した後に皮膚前処理剤（日本光電社製、スキンピュア）で拭き取った。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（フルサワラボ・アプライアンス社製）を使用した。電極は、直径 5 mm の検波面が金メッキされたカラー付き電極であり、電極間距離を 20mm で筋腹中央に貼付した。電極には両面テープ（日本光電社製、粘着カラー 8）を使用し、さらに電極全体を覆うように防水用シート（日本光電社製、フォームパッド 75A）を貼付した。活動電位はプリアンプ（フルサワラボ・アプライアンス社製、VSM/MES-02）、8ch アナログ入力ユニット（フルサワラボ・アプライアンス社製、VSM-01）を介して 0.5KHz で A/D 変換し、有線でコンピュータに送信記録した。また、ストローク動作の周期点を検出するために自作の接点スイッチを使用して、被験者の右手が入水する度に験者が手でトリガーを入れて筋電図と併せて記録した。

導出されたデータはバンドパスデジタルフィルタ（20Hz～200Hz）を通した後に全波整流し、1 ストロークサイクルごとにノイズ等の混入の有無を確認した。ノイズ等の影響が見られた場合には、そのストロークサイクルのデータを分析から除外した。その後、1 ストロークサイクルにおける単位時間当たりの平均振幅値（averaged electromyography: aEMG）を求めて 50m ごとに全ストロークの平均値を算出した。さらに、各 50m 区間におけるノイズの混入していない全てのストロークサイクルの筋電図について、水中映像から求めた 1 ストロークサイクルにおける水中局面の割合を用いて水中局面における

aEMG を求めた。

E. 変化率の算出

SV, SR, SL および 1 ストロークサイクル中の aEMG について、1 回目に対する 2 回目の変化を比で示し、それを 100 倍した値を変化率 (%) とした (%2nd/1st)。同様に、2 回目に対する 3 回目 (%3rd/2nd) および 3 回目に対する 4 回目 (%4th/3rd) の変化率についても求めた。

F. 統計処理

各測定値の被験者内比較には繰り返しのある一元配置分散分析を行い、主効果が有意であった場合には Tukey の多重比較検定を行った。また、SV, SR, SL および aEMG の変化率の相関係数は、ピアソンの方法を用いて算出した。なお、有意水準は 5 % とした。

III. 結 果

A. 血中乳酸濃度

Table 2 に、泳テスト終了後に測定した血中乳酸濃度の結果を示した。血中乳酸濃度の最高値の平均は、 13.1 ± 1.63 mmol/l であった。

B. SV, SR, SL およびキック回数の変化

Table 2 に SV, SR および SL の変化を示した。SV の比較を一元配置分散分析で行った結果、有意な主効果が認められ ($F_{(3,57)} = 38.761$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.671$)、1 回目が 2, 3 および 4 回目よりも有意に高値を示し、2 回目が 3 および 4 回目よりも有意に高値を示した。SR についても一元配置分散分析の結果、有意な主効果が認められ ($F_{(3,57)} = 7.659$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.287$)、1 回目は、2, 3 および 4 回目よりも有意に高値を

Table 2. Swimming velocity, stroke rate and stroke length during the swimming test and blood lactate accumulation after the swimming test

	1st 50m	2nd 50m	3rd 50m	4th 50m	post
swimming velocity (m/sec)	1.60±0.06	1.48±0.08 ^a	1.42±0.08 ^{a,b}	1.43±0.12 ^{a,b}	
stroke rate (strokes/min)	44.55±3.37	42.03±3.64 ^a	41.27±3.36 ^a	42.08±3.66 ^a	
stroke length (m/stroke)	2.17±0.18	2.13±0.22	2.08±0.22 ^a	2.04±0.21 ^{a,b}	
blood lactate (mmol/l)					13.1±1.63

^a: $p < 0.05$ (vs. 1st) ^b: $p < 0.05$ (vs. 2nd)

Significant differences are based on repeated measures ANOVA followed by Tukey's HSD test for multiple comparison.

示した。SLについても同様に有意な主効果が認められた ($F_{(3,57)}=9.630, p<0.001, \eta^2=0.336$)。1回目が3および4回目よりも、2回目が4回目よりも有意に高値を示した。また、SV、SRおよびSLに共通して、1回目から3回目まではテスト進行に伴い低下するパターンであり、その後、3回目から4回目にかけて、SVは維持、SRは増加、SLは低下するパターンを示した。

グループ2における1ストロークサイクル中のキック回数については、1ストローク2キック泳法(1ストロークサイクル中に左右の脚が各1回打ち下ろされる泳法)を用いていた被験者が1名、1ストローク4キック泳法(1ストロークサイクル中に左右の脚が交互に各2回打ち下ろされる泳法)を用いていた被験者が1名、1ストローク6キック泳法(1ストロークサイクル中に左右の脚が交互に各3回打ち下ろされる泳法)を用いていた被験者が9名であった。なお、1回目から4回目の間に、1ストロークサイクル中のキック回数が増加した被験者はいなかった。

C. 筋電図の変化

Fig. 1に、上半身7筋の1ストロークサイクル中

および水中局面におけるaEMGの比較を示した。1ストロークサイクル中のaEMGについて一元配置分散分析を行った結果、尺側手根屈筋 (Fig. 1A, $F_{(3,48)}=7.984, p<0.001, \eta^2=0.333$)、上腕二頭筋 (Fig. 1B, $F_{(3,48)}=8.038, p<0.001, \eta^2=0.334$)、上腕三頭筋 (Fig. 1C, $F_{(3,21)}=7.206, p=0.002, \eta^2=0.507$)、三角筋後部 (Fig. 1E, $F_{(3,15)}=3.907, p=0.030, \eta^2=0.439$) および大胸筋 (Fig. 1F, $F_{(3,51)}=6.534, p=0.001, \eta^2=0.278$) に有意な主効果が認められたが、三角筋前部 (Fig. 1D, $F_{(3,21)}=1.035, p=0.397, \eta^2=0.129$) および広背筋 (Fig. 1G, $F_{(3,24)}=0.901, p=0.455, \eta^2=0.101$) には有意な主効果は認められなかった。尺側手根屈筋 (Fig. 1A)、上腕二頭筋 (Fig. 1B) および上腕三頭筋 (Fig. 1C) においては、1回目が2、3回目よりも有意に高値を示した。さらに、上腕二頭筋と上腕三頭筋においては1回目が4回目よりも有意に高値を示した。三角筋後部 (Fig. 1E) については、1回目が3回目よりも有意に高値を示した。大胸筋 (Fig. 1F) については、4回目が最も高い値を示し、1、2および3回目との間に有意差がみられた。

水中局面におけるaEMGについて一元配置分散分析を行った結果、尺側手根屈筋 (Fig. 1A, $F_{(3,48)}=9.265, p<0.001, \eta^2=0.367$)、上腕二頭筋 (Fig. 1B, $F_{(3,48)}$)

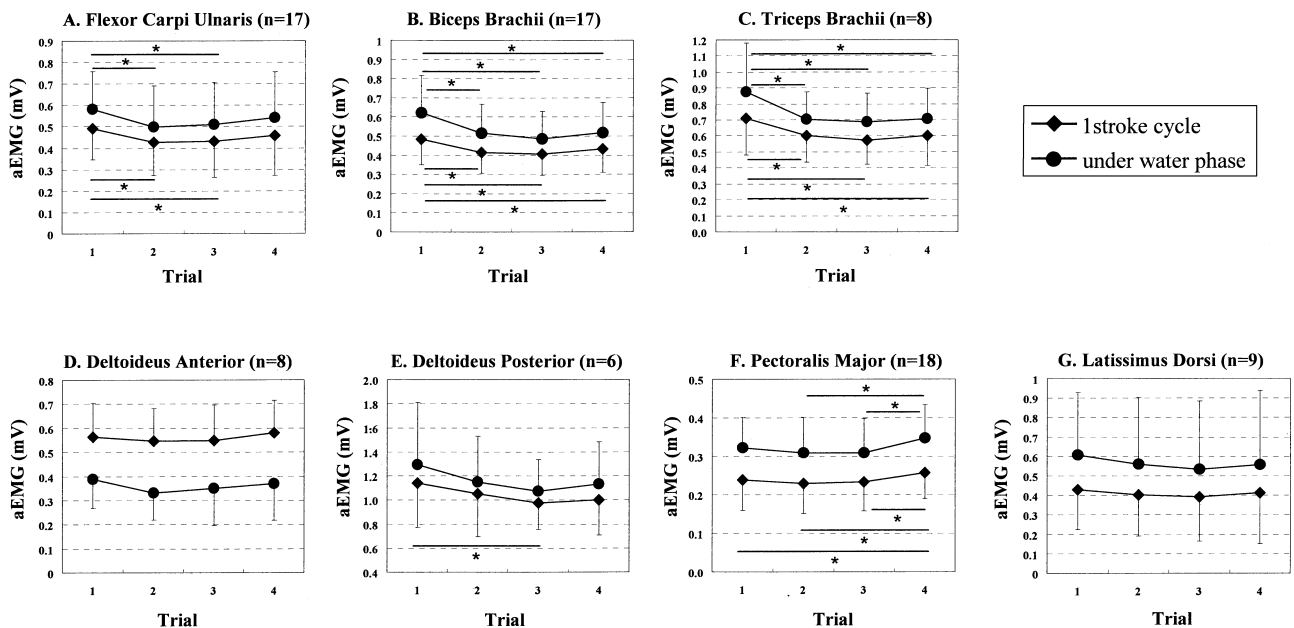


Fig. 1. Changes of aEMG during the swimming test for each muscle in the upper half of the body
*: $p<0.05$. Significant differences are based on repeated measures ANOVA followed by Tukey's HSD test for multiple comparison.

=9.104, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.363$), 上腕三頭筋 (Fig. 1C, $F_{(3,21)} = 5.447$, $p = 0.006$, $\eta^2 = 0.438$) および大胸筋 (Fig. 1F, $F_{(3,51)} = 5.579$, $p = 0.002$, $\eta^2 = 0.247$) に有意な主効果が認められた. 三角筋前部 (Fig. 1D, $F_{(3,21)} = 0.643$, $p = 0.596$, $\eta^2 = 0.084$), 三角筋後部 (Fig. 1E, $F_{(3,15)} = 2.486$, $p = 0.100$, $\eta^2 = 0.332$) および広背筋 (Fig. 1G, $F_{(3,24)} = 1.565$, $p = 0.224$, $\eta^2 = 0.164$) には有意な主効果は認められなかった. 尺側手根屈筋 (Fig. 1A), 上腕二頭筋 (Fig. 1B) および上腕三頭筋 (Fig. 1C) については, 1 ストロークサイクル中の aEMG の結果と同様に 1 回目より 2, 3 回目よりも有意に高値を示した. さらに, 上腕二頭筋と上腕三頭筋においては 1 回目が 4 回目よりも有意に高値を示した. 大胸筋 (Fig. 1F) については, 4 回目が最も高い値を示し, 2 および 3 回目との間に有意差がみられた.

1 ストロークサイクル中および水中局面における aEMG の変化パターンは, 尺側手根屈筋 (Fig. 1A)

および三角筋前部 (Fig. 1D) が 1 回目から 2 回目にかけて低下し, その後, 増加するパターンを示したが, 上腕二頭筋 (Fig. 1B), 上腕三頭筋 (Fig. 1C), 三角筋後部 (Fig. 1E) および広背筋 (Fig. 1G) は 1 回目から 3 回目にかけて低下した後に増加するパターンを示した. 大胸筋 (Fig. 1F) については, 1 ストロークサイクル中の aEMG は 1 回目から 2 回目にかけて低下し, その後, 増加するパターンであり, 水中局面における aEMG は 1 回目から 3 回目にかけて低下した後に増加するパターンを示した.

Fig. 2 に, 下半身の 4 筋について aEMG の比較を示した. 一元配置分散分析を行った結果, 大腿直筋 (Fig. 2D) には有意な主効果が認められ ($F_{(3,30)} = 4.635$, $p = 0.009$, $\eta^2 = 0.317$), 1 回目より 2 回目よりも有意な高値を示した. 腓腹筋 (Fig. 2A, $F_{(3,21)} = 1.826$, $p = 0.173$, $\eta^2 = 0.207$), 前脛骨筋 (Fig. 2B, $F_{(3,18)} = 1.701$, $p = 0.203$, $\eta^2 = 0.221$) および大腿二頭筋 (Fig. 2C, $F_{(3,24)} = 1.896$, $p = 0.157$, $\eta^2 = 0.192$)

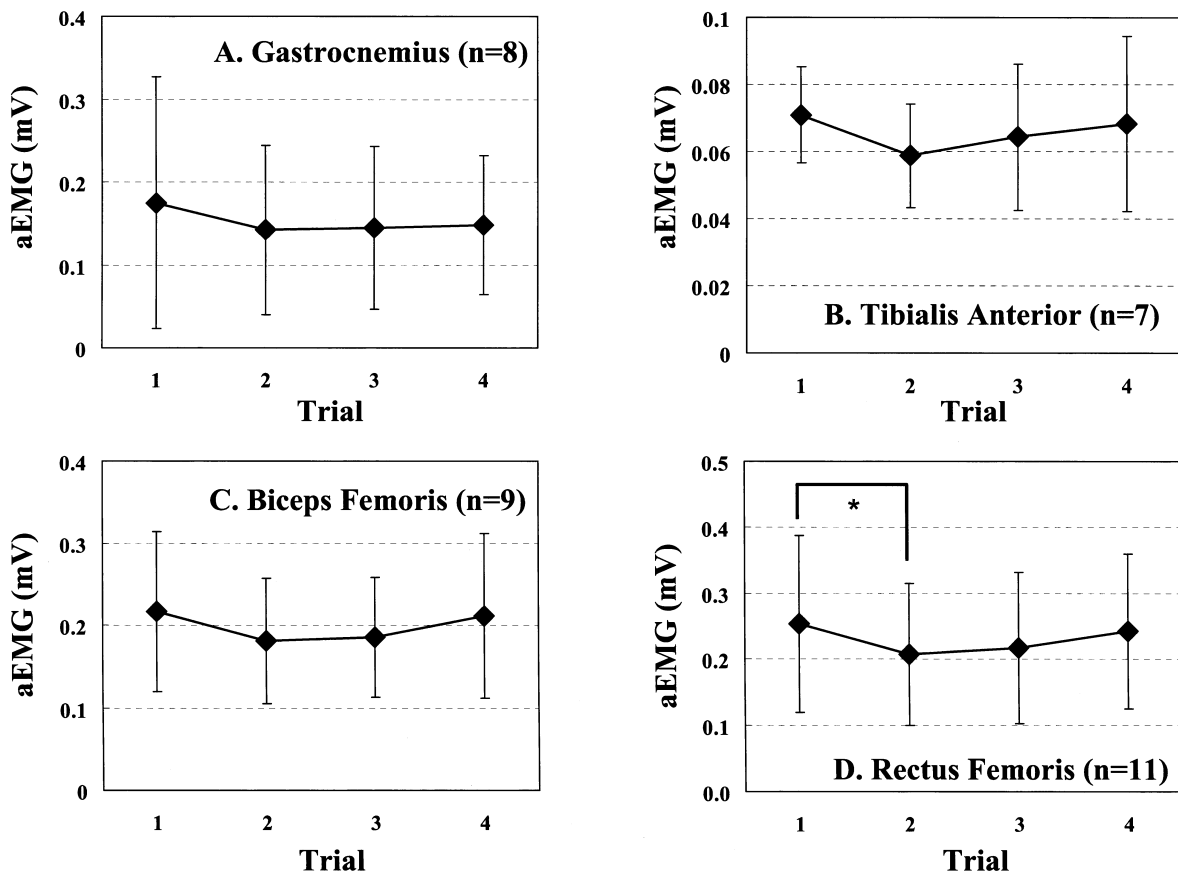


Fig. 2. Changes of aEMG during the swimming test for each muscle in the lower half of the body
*: $p < 0.05$. Significant differences are based on repeated measures ANOVA followed by Tukey's HSD test for multiple comparison.

においては有意な主効果は認められなかった。aEMGの変化パターンは、全4筋に共通して1回目から2回目にかけて低下した後4回目にかけて増加するパターンであった。

D. SV, SR, SLおよびaEMGにおける変化率の関係

Table 3にSV, SRおよびSLにおける変化率の相関関係を示した。SVとSRの関係では、%2nd/1stおよび%4th/3rdにおいて有意な相関関係が認められた。SVとSLの関係では、%3rd/2ndに有意な相関関係が認められた。またSRとSLについては、いずれにおいて有意な負の相関関係が認められた。

Table 4にSV, SRおよびSLの変化率とaEMGの変化率との相関関係を示した。SVとaEMGの関係については、%2nd/1stでは尺側手根屈筋および上腕二頭筋において、%3rd/2ndでは尺側手根屈筋、大胸筋および大腿二頭筋において有意な相関関係が認められた。さらに、%4th/3rdでは、尺側手根屈筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、三角筋後部および広背筋において有意な相関関係がみられた。SRとaEMGの関係については、%2nd/1stでは尺側手根屈筋、上腕二頭筋および大胸筋において、%4th/3rdでは、尺側手根屈筋、上腕二頭筋および大腿二頭筋において有意な相関関係が認められた。SLとaEMGの関係については、尺側手根屈筋のみ%3rd/2ndにおいて有意な相関関係がみられた。

IV. 考 察

A. 泳テストの妥当性について

本研究では、200mレースを50m×4回に分けて泳ぐブロークンと呼ばれる方法でシミュレートした。SV, SRおよびSLの変化パターンは、1回目から3回目まではテスト進行に伴い低下し、その後、3回目から4回目にかけて、SVは維持、SRは増加、SLは低下する傾向が示された。Huot-Marchand et al.⁷⁾は、ヨーロッパ選手権やフランス選手権の200m自由形決勝進出者のレース分析結果に関してSVは最初の50mから次の50mにかけて大きく低下した後は緩やかに低下したこと、SRは最初と最後の50mに比べて中盤の100mは低いこと、SLは50m通過以降、レース進行に伴い低下するパターンであったことを報告した。この研究と比べて本研究の被験者の競技レベルは低いものの、SV, SRおよびSLの変化パターンは一流選手の200mレースにおける変化パターンに類似していることが明らかとなった。

本研究において観察された泳テスト終了後の血中乳酸濃度の最高値(13.1 ± 1.63 mmol/l)は、Bonifazi et al.²³⁾が報告したイタリアの一流選手における200m自由形レース直後の血中乳酸濃度(12.35 ± 2.62 mmol/l)と同程度の値であったことから、今回採用したブロークンによる泳テストは実際の200mレース強度を再現できたと考えられる。

このように本研究結果は、SV, SRおよびSLの変化

Table 3. Relationship between changes of swimming velocity, stroke rate and stroke length

		%2nd/1st	%3rd/2nd	%4th/3rd
SV vs SR	r	0.742**	0.346	0.662**
	p	0.000	0.135	0.001
SV vs SL	r	-0.029	0.653**	0.212
	p	0.902	0.002	0.369
SR vs SL	r	-0.689**	-0.484*	-0.589**
	p	0.001	0.031	0.006

SV : swimming velocity, SR : stroke rate, SL : stroke length

%2nd/1st : value of 2nd 50m / value of 1st 50m.

%3rd/2nd : value of 3rd 50m / value of 2nd 50m.

%4th/3rd : value of 4th 50m / value of 3rd 50m.

n=20, *: p<0.05, **: p<0.01

Table 4. Relationship of changes in swimming velocity, stroke rate and stroke length with aEMG

		SV vs aEMG			SR vs aEMG			SL vs aEMG		
		%2nd/1st	%3rd/2nd	%4th/3rd	%2nd/1st	%3rd/2nd	%4th/3rd	%2nd/1st	%3rd/2nd	%4th/3rd
Flexor Carpi Ulnaris	r	0.523*	0.770**	0.773**	0.625**	0.235	0.829**	-0.402	0.526*	-0.268
	p	0.031	0.000	0.000	0.007	0.364	0.000	0.110	0.030	0.298
	n	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Biceps Brachii	r	0.548*	0.378	0.485*	0.616**	0.453	0.724**	-0.328	0.000	-0.290
	p	0.023	0.135	0.049	0.009	0.068	0.001	0.199	0.999	0.259
	n	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Triceps Brachii	r	0.278	0.524	0.860**	0.359	-0.038	0.592	-0.267	0.412	0.274
	p	0.505	0.182	0.006	0.383	0.928	0.122	0.523	0.310	0.511
	n	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Deltoideus Anterior	r	-0.101	-0.078	0.649	-0.348	-0.569	0.059	0.391	0.342	0.635
	p	0.811	0.854	0.081	0.398	0.141	0.889	0.339	0.407	0.091
	n	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Deltoideus Posterior	r	0.251	0.646	0.939**	0.052	-0.384	0.612	0.178	0.705	0.188
	p	0.631	0.166	0.005	0.922	0.452	0.197	0.735	0.118	0.722
	n	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Pectoralis Major	r	0.357	0.608**	0.439	0.571*	0.288	0.468	-0.458	0.332	0.003
	p	0.146	0.007	0.068	0.013	0.247	0.050	0.056	0.178	0.992
	n	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Latissimus Dorsi	r	0.652	0.561	0.832**	0.538	0.367	0.625	-0.092	0.184	0.180
	p	0.057	0.116	0.005	0.135	0.332	0.072	0.814	0.636	0.643
	n	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Tibialis Anterior	r	-0.235	0.123	0.669	-0.084	0.383	0.464	-0.180	-0.185	-0.078
	p	0.575	0.772	0.070	0.844	0.348	0.246	0.670	0.660	0.854
	n	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Gastrocnemius	r	-0.250	0.682	0.526	-0.015	0.674	0.638	-0.296	0.124	-0.291
	p	0.551	0.062	0.181	0.971	0.067	0.088	0.476	0.769	0.484
	n	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Rectus Femoris	r	-0.171	0.589	0.398	-0.141	0.333	0.578	0.005	0.338	-0.363
	p	0.615	0.057	0.225	0.680	0.317	0.063	0.988	0.309	0.272
	n	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Biceps Femoris	r	0.149	0.798*	0.567	-0.047	0.512	0.715*	0.190	0.313	-0.308
	p	0.702	0.010	0.111	0.905	0.159	0.030	0.624	0.412	0.420
	n	9	9	9	9	9	9	9	9	9

SV : swimming velocity, SR : stroke rate, SL : stroke length, aEMG : averaged EMG

%2nd/1st : value of 2nd 50m / value of 1st 50m.

%3rd/2nd : value of 3rd 50m / value of 2nd 50m.

%4th/3rd : value of 4th 50m / value of 3rd 50m.

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

パターンや泳テスト終了後の血中乳酸濃度の値が海外の一流選手を対象とした先行研究の結果に近似していた。また被験者20名中15名については、200m自由形の平均記録が 121.35 ± 3.98 秒であり、松井ら¹⁰⁾が調査した日本選手権の男子200m自由形予選の下位8名の平均記録 120.62 ± 1.30 秒よりも若干遅い程度であった。したがって、本研究の結果は大学水泳選手の中でも比較的競技レベルが高い集団あるいは競技者として成熟した集団に適用できると考えられよう。

B. 泳テスト1回目から3回目におけるSV, SR, SLおよびaEMGの変化

SVは、1回目が最も速く2回目と3回目との間に有意な差がみられた。SRについても同様に1回目が高く2回目と3回目が有意に下がり、SLについては1回目よりも3回目が有意な低下を示した。SVはSRとSLの積で求められることから、SVを低下させないためにはSRまたはSLのどちらか一方の減少を補うように他方を増大させなければならない。しかしながら、本研究では、1回目から3回目にかけてSRとSLが共に低下したためにSVの低下を引き起こした。SRとSLが低下したことは、腕の回転速度が低下

したと1ストロークサイクル中に進む距離が短くなったことを示している。その要因として、腕の回転速度の増減や推進に關与する筋の發揮出力が低下したことが考えられる。

各筋の1ストロークサイクル中および水中局面におけるaEMGの変化をみると、全ての筋において1回目から2回目または3回目にかけて低下するパターンを示した。SV, SRおよびSLと同じように1回目から2回目あるいは3回目にかけて1ストロークサイクル中のaEMGが有意に低下した筋は尺側手根屈筋, 上腕二頭筋, 上腕三頭筋, 三角筋後部および大腿直筋の5筋であった。同様に水中局面のaEMGについては尺側手根屈筋, 上腕二頭筋および上腕三頭筋の3筋が有意な低下を示した。

本研究と同じように、水泳中の筋電図活動を記録した先行研究によると、Rouard & Billat¹⁴⁾は、上肢6筋の筋電図積分値を比較した結果、上腕二頭筋が水泳中に最も活動する筋であることを示した。さらに、腕の動作を局面分類し詳細に検討したところ、上腕二頭筋と尺側手根屈筋は手が入水してからストローク動作の中盤までに活動する重要な筋であり、上腕三頭筋はストローク動作の後半から終盤において活動が高いことを明らかにした。また、Clarys & Rouard¹⁷⁾によってストローク動作中盤のインスイープ局面で多くの筋が動員されることが示された。この局面では他の筋に比べて上腕二頭筋の活動量が高いことや^{15, 18)}、手首を安定させるために尺側手根屈筋が活動することも報告されている¹⁹⁾。上記の先行研究を基に考えると、本研究において推進力を生み出す水中のストローク動作中に積極的に活動する尺側手根屈筋, 上腕二頭筋および上腕三頭筋に関して、1ストロークサイクル中だけでなく水中局面におけるaEMGが低下したことは、水を捉えて後方に押し出す發揮出力の低下をもたらし、そのためにSLが短くなった可能性を示唆している。さらに、%3rd/2ndにおいてSV, SLおよび尺側手根屈筋のaEMGの各々の間に有意な相関関係がみられた。すなわち、尺側手根屈筋の活動量が低下することにより、十分に水を捉えることができず、その結果、SLの低下を招きSVの低下につながることを推察される。

三角筋後部に関してはストローク動作の終盤からリカバリー動作の前半にかけて活動することが知られている¹⁵⁾。したがって、三角筋後部のaEMGの低

下は、この動作区間において肩關節の伸展方向に動く腕の速度を低下させることに結びついたと考える。さらに、%2nd/1stにおいて、SVとSRに有意な相関関係が示され、加えて尺側手根屈筋と上腕二頭筋のaEMGについてもSVおよびSRとの間に有意な相関関係が認められた。つまり、SVが大きく低下した被験者については、手が入水してからストローク動作の中盤までに活動する上腕二頭筋と尺側手根屈筋およびストローク動作の終盤以降に活動する三角筋後部の活動量低下により、水中局面における腕の速度の低下を招きSR低下に結びついたことが推察される。

また、泳テスト中に1ストロークサイクル中のキック回数が変化した被験者は皆無であった。つまり腕の動作と脚の動作は連動していることから、SRの低下に伴いキック頻度も低下したことがわかる。さらに、下肢の筋群では大腿直筋のみaEMGがSRの変化と同様に1回目から2回目にかけて有意に低下したことが明らかとなった。このことから、大腿直筋の活動量の減少がキックの打ち降ろし速度の低下を導いたことでキック頻度の低下を招いたことが推察される。

C. 泳テスト3回目から4回目におけるSV, SR, SLおよびaEMGの変化

泳テスト終盤の3回目から4回目にかけては、SVに有意な変化はみられなかった。その時のSRは増加する傾向、SLは低下する傾向であったが共に有意な変化ではなかった。また%4th/3rdは、SVとSRに有意な相関関係が示された。

レース終盤は血中乳酸濃度も高く疲労が蓄積された状態であり、1ストロークサイクル中の推進力は小さくなるためにSLを延長させることができない。ヨーロッパ選手権やフランス選手権の200m自由形の決勝進出者においても最後の50mのSLがそれまでよりも有意に短いために終盤のSVの緩やかな低下を招いている⁷⁾。また、Alberty et al.²⁴⁾は、一定の泳速度を維持する際に疲労が蓄積していくに伴いSLが低下することを明らかにしている。さらに松井ら¹⁰⁾は、日本選手権の男女200m自由形についてSV, SRおよびSLを5m毎に測定した結果、50mから200mまでの150m区間、決勝進出者はSLの低下をSRの増加で補うことによってSVを維持したが、予選下位者にはSRの増加はみられずにSVが漸減する傾向であった

ことを明らかにした。上記の先行研究の結果より、レース中盤以降、SVを維持するためにはSLの低下を補うようにSRを増大させることの必要性が理解できる。本研究の結果、泳テスト3回目から4回目にかけてはSV、SRおよびSLに有意な変化はみられなかったが、%4th/3rdにおいてSVとSRに有意な相関関係が示された。つまり、SRの増大がSV低下を防いだ要因であったと考えることは妥当であろう。

各筋の1ストロークサイクル中および水中局面におけるaEMGの変化は、SRの変化と同様に3回目から4回目にかけては増加するパターンを示したが、4回目に最大値を示した大胸筋を除き他の筋には有意な増加は認められなかった。大胸筋は水中のストローク動作中盤のインスイープ局面の付近で最も活動することが報告されている¹⁵⁾。つまり、テスト終盤のように疲労が蓄積された中では大胸筋の活動量が増大し、その結果、水中のストローク動作の肩関節の伸展方向に動く腕の速度が維持され、3回目から4回目にかけてのSRの低下を防ぐことに結びついたことが推察される。

さらに、%4th/3rdにおいては、尺側手根屈筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、三角筋後部および広背筋の5筋のaEMGがSVとの間に有意な相関関係がみられ、尺側手根屈筋と上腕二頭筋のaEMGはSRとの間にも有意な相関関係が示された。つまり、これら5筋の活動量の増減がSVの増減に関与し、中でも尺側手根屈筋と上腕二頭筋の活動量の増減がSRの増減に強く影響を与えた結果、SVの増減に結びついたことが示唆された。しかしながら、%4th/3rdにおいては大胸筋のaEMGとSRの間には僅かではあるが有意な相関関係がみられなかった($p=0.05$)。つまり、3回目から4回目にかけての大胸筋の活動量増加がSRの低下防止を導いたとは断言できない。そこで、分析結果を個別に観察したところ、大胸筋のaEMGの変化率の上位2名は共に約138%であったが、SRおよびSVの変化率は、1名が105.3%と110.8%、もう1名が98.9%と95.1%であった。さらに、前者の競技レベルは日本学生選手権800mリレーのメンバーであったが、後者は大学生の都道府県大会出場レベルであった。したがって、前述したように被験者全体の傾向としては大胸筋の活動量の増大がSRの低下を防ぐことに貢献すると考えられるが、被験者を個別にみた場合には大胸筋の活動量を大幅に増大させてもSR

の増大に結び付かずSVが低下することもあり、このような事例は競技レベルが低い者、すなわち泳ぎの技術に劣る者にみられることが推察される。

V. ま と め

本研究は、大学水泳部に所属する男子競泳選手を対象とし、200m自由形レースをシミュレートした50m×4回の泳テスト中のSV変化の現象をSRとSLの変化から捉え、同時に推進力を発揮する源である上半身と下半身の筋活動の関係について明らかにすることを目的とした。その結果、次のような知見を得た。

- 1) 泳テスト中のSV、SRおよびSLの変化パターンは、実際のレースパターンに類似しており、テスト終了後の血中乳酸濃度も 13.1 ± 1.63 mmol/lであり先行研究の結果に概ね一致した。このことより、200mレースをシミュレートするために50m×4回の泳テストを採用したことの妥当性が証明された。
- 2) 泳テスト1回目から3回目にかけては、SVとSRは1回目に高値を示し2回目と3回目が有意に低下した。SLについては1回目よりも3回目が有意な低下を示した。1回目から2回目あるいは3回目にかけてaEMGが有意に低下した筋は尺側手根屈筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、三角筋後部および大腿直筋であった。つまり、これら5筋の筋活動量低下により、水を捉えて後方に押し出す発揮出力の低下や腕の回転速度さらには脚の打ち下ろし速度の減少を導き、そのためSVが低下したことが考えられた。
- 3) 泳テスト3回目から4回目にかけては、SV、SRおよびSLには有意な変化が認められなかったが、各筋のaEMGについては大胸筋のみ有意に増加した。つまり、テスト終盤のように疲労が蓄積された状態では他の多くの筋が十分に活動できない状況を大胸筋の積極的な活動により補った結果、SRを維持することでSVの低下を防いだ可能性が考えられた。さらに、尺側手根屈筋、上腕二頭筋、上腕三頭筋、三角筋後部および広背筋の5筋の活動量の増減がSVの増減に関与していることも示唆された。

本研究では、レース中にSVが変化する要因をSRやSLの変化だけでなく筋活動の観点から検討することができた。これらの知見は、日々の筋力ならびに

筋持久力向上を目指したトレーニングの強化ポイントを明確にしたり, 疲労と発揮出力という観点からレース戦略を検討したりするための基礎資料として活用されることが期待できる。

謝 辞

本研究の実施にあたり, データの収集において多大な協力を賜りました西島吉典先生(大阪教育大学), 加藤達雄先生(常磐会学園大学), 増田基嘉先生(コナミスポーツ&ライフ)に深く御礼申し上げます。また, 本研究は文部科学省科学研究費補助金(若手研究(B), 課題番号: 16700458)の助成を受けて行われたことを付記します。

(受理日 平成22年6月19日)

文 献

- 1) East, D. J. Swimming: an analysis of stroke frequency, stroke length and performance. *New Zealand Journal of Health, Physical Education and Recreation*, 3, 16-27, 1970.
- 2) Craig, A.B., Skehan, P.L., Pawelczyk, J.A., Boomer, W.L. Velocity, stroke rate and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17, 625-634, 1985.
- 3) Arellano, R., Brown, P., Cappaert, J., Nelson, R. C. Analysis of 50-, 100-, and 200-m freestyle swimmers at the 1992 Olympic Games. *Journal of Applied Biomechanics*, 10, 189-199, 1994.
- 4) Mason, B., & Cossor, J. What can we learn from competition analysis at the 1999 pan pacific swimming championships?. *Proceedings of XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports*, 75-78, 2000.
- 5) Ikuta, Y., Mason, B., Cossor, J. A comparison of Japanese finalists to other finalists in the 100m swimming races at the Sydney Olympic Games. *Proceeding of SWIM Sessions, XIX International Symposium on Biomechanics in Sports*, 75-78, 2001.
- 6) Ikuta, Y., Okuno, K., Ogita, F., Takagi, H., Wakayoshi, K., Nomura, T., Miyashita, M. A comparison of Finalists to Semi-Finalists in the 50m Swimming Events at the 9th Fina World Swimming Championships Fukuoka 2001. *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, 283-287, 2003.
- 7) Huot-Marchand, F., Nesi, X., Sidney, M., Alberty, M., Pelayo, P. Variations of stroking parameters associated with 200 m competitive performance improvement in top-standard front crawl swimmers. *Sports Biomechanics*, 4, 89-100, 2005.
- 8) 若吉浩二, 野村照夫, 高橋伍郎, 宮下充正, ビデオ撮影による競泳競技のレース分析—1987年日本選手権水泳大会において—, 昭和62年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. II 競技種目別競技力向上に関する研究, 11, 27-33, 1988.
- 9) Wakayoshi, K., Nomura, T., Takahashi, G., Mutoh, Y., Miyashita, M. Analysis of swimming races in the 1989 pan pacific swimming championships and 1988 Japanese Olympic trials. *Biomechanics and Medicine in Swimming VI*, 135-141, 1992.
- 10) 松井健, 寺田晶裕, 立貞栄司, 本部洋介, 生田泰志, 若吉浩二, 野村照夫, 競泳レースにおける5m毎の泳速度とストローク変数の変化—日本選手権200m自由形種目における泳力別比較—, スポーツ方法学研究, 11(1), 87-93, 1998.
Matsui, T., Terada, A., Tatesada, E., Honbu, Y., Ikuta, Y., Wakayoshi, K., Nomura, T. Changes in swimming velocity and stroke variables in 5m intervals during competitive swimming race -Comparisons between elite and snb-elite swimmers in 200-m freestyle race of Japanese championship-. *Jpn. J. Sport Methodology*, 11(1) 87-93, 1998 (in Japanese)
- 11) 生田泰志, 奥野景介, 松井健, 寺田晶裕, 本部洋介, 石川昌紀, 若吉浩二, 野村照夫, 泳速度のコントロールとストローク頻度の関係—100mおよび200m自由形のレース分析結果より—, スポーツ方法学研究, 12(1), 1-8, 1999.
Ikuta, Y., Okuno, K., Matsui, T., Terada, A., Honbu, Y., Ishikawa, M., Wakayoshi, K., Nomura, T. Relationship between control of swimming velocity and stroke rate-Suggestion from results of 100m and 200m Free-style events-. *Jpn. J. Sport Methodology*, 12(1) 1-8, 1999 (in Japanese)
- 12) 生田泰志, 野村照夫, 石川昌紀, 奥野景介, 松井健, 若吉浩二, 競泳100m種目では, どの局面が重要か?, スポーツ方法学研究, 15(1), 109-117, 2002.
Ikuta, Y., Nomura, T., Ishikawa, M., Okuno, K., Matsui, T., Wakayoshi, K. Which is the most important phase in the 100m swimming event?. *Jpn. J. Sport Methodology*, 15(1) 109-117, 2002 (in Japanese)
- 13) Aujouannet, Y. A., Bonifazi, M., Hintzy, F., Vuillermie, N., Rouard, A. H. Effects of a high-intensity swim test on kinematic parameters in high-level athletes. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 31(2) 150-158, 2006.
- 14) Rouard, A.H. & Billat, R.P. Influences of sex and level of performance on freestyle stroke: an electromyography and kinematic study. *Int. J. Sports Med.*, 11(2), 150-155, 1990.
- 15) Pink, M., Perry, J., Browne, A., Scovazzo, M.L., Kerrigan, J. The normal shoulder during freestyle swimming An electromyographic and cinematographic analysis of twelve muscles. *Am. J. Sports Med.*, 19(6), 569-576, 1991.
- 16) Rouard, A.H., & Clarys, J.P. Cocontraction in the elbow and shoulder muscles during rapid cyclic movements in an aquatic environment. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 5, 177-183, 1995.
- 17) Clarys, J.P. & Rouard, A.H. The frontcrawl downsweep:

- Shoulder protection and/or performance inhibition. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 36(2) 121-126, 1996.
- 18) Rouard, A.H., Billat, R.P., Deschodt, V., Clarys, J.P. Muscular activations during repetitions of sculling movements up to exhaustion in swimming. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 105(7) 655-662, 1997.
- 19) Caty, V., Aujouannet, Y., Hintzy, F., Bonifazi, M., Clarys, J.P., Rouard, A.H. Wrist stabilisation and forearm muscle coactivation during freestyle swimming. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 17(3) 285-291, 2007.
- 20) Wakayoshi, K., Moritani, T., Mutoh, Y., Miyashita, M. Electromyographic evidence of selective muscle fatigue during competitive swimming. *Medicine and Sports Science in aquatic sports*, 39, 16-23, 1994.
- 21) Maglischo, E.W. *Swimming Fastest*. Sprint, race-pace, and recovery training, Human Kinetics, Champaign, 478-479, 2003.
- 22) Perotto, A. O. (栢森良二翻訳). 筋電図のための解剖ガイド四肢・体幹, 第3版, 西村書店, 東京, 48-177, 1997.
- 23) Bonifazi, M., Martelli, G., Marugo, L., Sardella, F., Carli, G. Blood lactate accumulation in top level swimmers following competition. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 33(1) 13-18, 1993.
- 24) Albery, M., Sidney, M., Pelayo, P., Toussaint, H.M. Stroking characteristics during time to exhaustion tests. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 41(3) 637-644, 2009.