論文種別：研究資料

表題：50m クロール泳における泳速度とストローク頻度およびストローク長の世代別比較
Comparison of the swimming velocity and the stroke rate and length in 50 m front crawl
by age in Japanese competitive swimmers

著者名：

- 1) 水藤 弘吏 SUITO Hiroshi
- 2) 尾関 一将 OZEKI Kazumasa
- 3) 高橋 篤史 TAKAHASHI Atsushi
- 4) 池上 康男 IKEGAMI Yasuo

所属先：

- 1) 愛知学院大学心身科学部 Faculty of Psychological and Physical Science, Aichi Gakuin University
- 2) 大阪体育大学体育学部 School of Health and Sport Sciences, Osaka University of Health and Sport Sciences
- 3) 朝日大学保健医療学部 Department of Health and Sports Sciences, Asahi University
- 4) 名古屋大学名誉教授 Professor emeritus at the Nagoya University

所属先住所：

- 1) 〒470-0195 愛知県日進市岩崎町阿良池 12
12 Araiike, Iwasaki-cho, Nisshin, Aichi 470-0195
- 2) 〒590-0459 大阪府泉南郡熊取町朝代台 1-1
1-1 Asashirodai, Kumatori-cho, Sennan-gun, Osaka 590-0496
- 3) 〒501-0296 岐阜県瑞穂市穂積 1851
1851 Hozumi, Mizuho, Gifu 501-0296
- 4) 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町
Furo-cho, Chikusaku, Nagoya, Aichi 464-8601

キーワード：水泳，パフォーマンス，レース分析，ストロークインデックス，年齢区分

Key word : swimming, performance, race analysis, stroke index, age classification

ランニングタイトル：世代別の 50m クロール泳のストローク特性

連絡先担当者：水藤 弘吏 hsuito@gmail.com

Abstract:

The purpose of this study was to investigate the effects of age on the swimming velocity, stroke frequency and stroke length of male and female in competitive swimming of 50m front crawl. The swimmers examined were top level Japanese competitive swimmers in 50m freestyle event at the national level swimming competitions held in Japan in 2018 (50m pool). All swimmers were divided into 5 age groups (G-U10: under 10 age group, G11-12: 11-12 ages group, G13-15: 13-15 ages group, G16-18: 16-18 ages group, G-O19: over 19 age group). The average velocity (SV), average stroke rate (SR) and average stroke length (SL) from 15m to 45m in 50m freestyle event were analysed and compared between age groups by gender. SV was significantly increased with age in both males and females. SR of male was significantly increased with age, whereas SR of female was not significantly different between groups. SL of female was significantly increased with age, whereas SL of male was not significantly increased after G11-12. The increase in SV of female with age was due to the increase in SL after 13 ages. On the other hand, the increase in SV of male with age was due to the increase in SL until 12 ages and SR after 13 ages. From the results, it was suggested that increasing SL with age may improve SV in female, and increasing SL and SR with age may improve SV in male.

I 緒言

競泳は、定められた距離をいかに速く泳いだかで勝敗が決まる。競泳レースについて、公益財団法人日本水泳連盟科学委員会（以下「科学委員会」と略す）ではスタートシグナル後から 15m までをスタート局面、ターン手前 5m からターン後 15m までをターン局面、ゴールタッチ手前 5m からゴールタッチまでをフィニッシュ局面、それ以外をストローク局面とした 4 つの局面に分類している（公益財団法人日本水泳連盟科学委員会，2015，p.3）。このように、競泳のレース局面は 4 局面で構成されている。特に、ストローク局面が競技記録に対して占める割合が大きい（公益財団法人日本水泳連盟科学委員会，2015）ことから、ストローク局面中の泳速度の向上が競技記録の改善に必須といえる。

泳速度は、単位時間当たりのストローク数であるストローク頻度と 1 ストローク当たりで進む距離であるストローク長の積によって表すことができる（Craig and Pendergast, 1979）。したがって、ストローク頻度とストローク長のどちらかが一定、あるいは大きな減少がみられない限りは、他方を増加させることで泳速度が向上する。Craig and Pendergast (1979) は、異なる泳速度に対するストローク頻度とストローク長の関係を調査した結果、泳速度の増加に伴いストローク頻度が増加する一方で、ストローク長が減少することを報告している。しかしながら、ストローク頻度の過剰な増加は、泳速度の低下を引き起こしてしまう（Craig and Pendergast, 1979 ; Koga et al., 2020）。また、ストローク頻度の増加はストローク長の減少、あるいはストローク長の増加はストローク頻度を減少させる（Craig and Pendergast, 1979）というトレードオフの関係がみられることから、選手は泳速度が最も高くなるように最適なストローク頻度とストローク長を組み合わせさせて泳いでいると考えられる。

泳速度とストローク頻度およびストローク長について、Vorontsov and Binevsky (2003) は、11 歳から 16 歳の男子競泳選手を対象に、100m クロール泳中の泳速度とストローク頻度、ストローク長を横断的に調査した結果、年齢に伴い泳速度とストローク長が有意に増加したと報告している。一方、ストローク頻度については、年齢間で有意な差が認められなかったことから、男子選手では 11 歳から 12 歳の時期にストローク頻度が決定している可能性があるとして述べている（Vorontsov and Binevsky, 2003）。Mezzaroba and Machado (2014) は、10 歳から 17 歳の男子競泳選手を対象とし、100m, 200m と 400m クロール泳中のストローク頻度とストローク長について横断的に比較した結果、ストローク頻度は泳距離の増加に伴い有意な減少がみられたものの、年齢間で有意な差がみられないこと

を報告している．一方，ストローク長は，いずれの距離においても 14 歳以降で有意な増加がみられたとともに，ストローク長に年齢や競技経験年数，上肢長が関与していることが報告されている (Mezzaroba and Machado, 2014)．したがって，100m 以上のクロール泳において，男子競泳選手では 11 歳以降，ストローク頻度に変化がみられないものの，競技年数に伴うストローク効率の改善，筋力および筋パワーの発達や体格の発育の影響によってストローク長が増加し，泳速度を向上させている可能性があると考えられる．ただし，男女では年齢に伴う形態や筋の発育量（発育の程度）が異なる (Buckler and Wild, 1987 ; 出村, 1983 ; 加藤ほか, 1993 ; Tanner et al., 1966) ことから，年齢に伴い泳速度に対するストローク頻度とストローク長の関係が男女で異なる可能性が考えられる．また，上記の先行研究 (Mezzaroba and Machado, 2014; Vorontsov and Binevsky, 2003) では 100m, あるいは 100m 以上の種目を対象としている．これまで，競技大会における 50m クロール泳を対象とし，泳速度に対するストローク頻度およびストローク長の関係を年齢別に比較した研究は見受けられない．50m は競泳種目の中でも最短であり，全力泳に近く，かつ長水路では 100m 以上の種目のようにターン局面が存在しないため，ストローク局面の影響が大きいと考えられる．また，50m クロール泳は他の 3 泳法と異なり，オリンピック競技大会において正式種目として採用されている．そのため，クロールの短距離泳における各世代の泳速度に対するストローク頻度やストローク長の関係について示すことは，指導する際の情報として，十分に意味があると考ええる．

そこで，本研究では全国規模の国内大会に出場したジュニアからシニアに至るまでの男女競泳選手を対象に，50m 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年齢に伴う変化と，泳速度に対するストローク頻度とストローク長の関係について検討することを目的とした．

II 方法

1. 対象レースおよび対象者

対象とした競技大会は，2018 年度に日本国内長水路プールで開催された全国規模の競泳競技会の主要な 5 大会（日本選手権水泳競技大会，日本学生選手権水泳競技大会，全国高等学校選手権水泳競技大会，全国中学校水泳競技大会，全国 JOC ジュニアオリンピックカップ夏季水泳競技大会）であった．対象者は，各競技会の 50m 自由形種目に出場した男女競泳選手 195 名であった（女子：96 名，男子：99 名）．ただし，複数の大会に出場し

ている選手がいる場合は、競技記録の最も良いレースの分析データを採用した。全ての対象者について、10 歳以下の選手を G-U10, 11 歳から 12 歳の選手を G11-12, 13 歳から 15 歳の選手を G13-15, 16 歳から 18 歳の選手を G16-18, 19 歳以上の選手を G-O19 と、5 つに分類した (Table 1)。本研究で設定した年齢区分については、全国高等学校選手権水泳競技大会、全国中学校水泳競技大会および全国 JOC ジュニアオリンピック夏季水泳競技大会（男女ともに 10 歳以下・11～12 歳・13～14 歳・15～16 歳の年齢区分と 18 歳以下チャンピオンシップに分けられている）で規定されている年齢区分に従った。なお、男子の 11 歳の選手は分析対象レースに出場していなかった。 ※Table 1 挿入

本研究では科学委員会が報告している 2018 年度に開催された上記の大会の 50m 自由形種目におけるレース分析データを同科学委員会から許可を得て使用した。また、本研究は、「愛知学院大学心身科学部健康科学科および健康栄養学科におけるヒトを対象とする研究審査委員会」から研究承諾を得ている（受付番号 2004）。

2. ストローク局面と測定項目

50m 種目について、公益財団法人日本水泳連盟科学委員会（2015）では 15m 地点から 45m 地点までをストローク局面と定義している。ストローク局面は、15m 地点から 25m 地点、25m 地点から 35m 地点、35m 地点から 45m 地点の 3 区間に分けられ、各区間の泳者の頭部が通過する所要時間と泳速度、1 ストロークあたりに要する時間を示すストロークタイムとストローク長をホームページ上に公開している（公益財団法人日本水泳連盟科学委員会, 2018）。なお、本研究ではストローク局面全体の平均値を用いた。泳速度 (SV (m/s)) については、15m から 45m までの 30m 区間における所要時間（以下「time(45m-15m)」と略す）を求め、式 (1) より算出した。

$$SV = 30 / time_{(45m-15m)} \quad (1)$$

また、ストローク頻度 (SR (Hz)) については、1 秒間当たりのストローク数にするため 3 区間のストロークタイムを平均 (ST_{average} (s)) し、その逆数により求めた (式 (2))。

$$SR = 1 \div ST_{average} \quad (2)$$

さらに、ストローク長 (SL (m/stroke)) については、下記の式 (3) のように SV を SR で除することで求めた。

$$SL = SV \div SR \quad (3)$$

なお、競技記録は各競技大会の公式記録 (SEIKO, 2018a; SEIKO, 2018b; SEIKO, 2018c; SEIKO, 2018d; SEIKO, 2018e) を用いた。

3. 統計処理

全ての値について、平均値 $\pm$ 標準偏差で示した。競技記録と泳速度との直線関係について検討するため、Pearson の積率相関係数を用いた。また、各世代のストローク局面における SV、ストローク頻度とストローク長の差の検定には、本研究の G13-15 のサンプル数が少ないことから、ノンパラメトリック検定の Kruskal-Wallis の H 検定を用い、その後の検定に Dunn-Bonferroni 法を用いて世代間の比較を行った。水本・竹内 (2008) を参考に、効果量 (小 : $r = 0.1$, 中 : $r = 0.3$, 大 : $r = 0.5$) を求めた。

統計処理には、統計解析ソフト IBM SPSS Statistics version 25.0 (IBM, Armonk, NY, USA) を用いた。有意水準は、いずれも $p < 0.05$ とした。

III 結果

1. 競技記録と泳速度の関係

Figure 1 に、男女の競技記録とストローク局面中の泳速度との関係を示す。男女ともに競技記録と泳速度との間には、有意に高い負の相関関係 (女子 : $r = -0.984$, $p < 0.001$, 男子 : $r = -0.992$, $p < 0.001$) が認められた。 ※Figure 1 挿入

2. 泳速度、ストローク頻度とストローク長の世代別比較

Figure 2 に、男女の世代別における泳速度、ストローク頻度とストローク長を示す。Kruskal-Wallis の H 検定をした結果、女子のストローク頻度 ($p = 0.366$) を除いたすべての項目において有意な差 ($p < 0.001$) が認められた。その後の検定として、女子のストローク頻度を除く全ての項目に Dunn-Bonferroni 法を用いて世代間の比較をした。その結果、泳速度について、女子では G-U10 よりも G13-15, G16-18 と G-O19 ($p = 0.006$, $r = -0.33$; $p < 0.001$, $r = -0.68$; $p < 0.001$, $r = -0.68$) が、G11-12 よりも G16-18 と G-O19 ($p < 0.001$, $r = -0.47$; $p < 0.001$, $r = -0.47$) が有意に高い値を示し、男子では G-U10 よりも G16-18 と G-O19 ($p < 0.001$, $r = -0.58$; $p < 0.001$, $r = -0.75$), G11-12 よりも G16-18 と G-O19 ($p < 0.001$, $r = -0.41$; $p < 0.001$, $r = -0.57$) が、G13-15 よりも G-O19 ($p = 0.045$, $r = -0.29$) が有意に高い値を示した。男女ともに 13 歳以降に泳速度が増加する傾向がみられた。

ストローク頻度について、男子では G-U10 よりも G16-18 と G-O19 ($p=0.035$, $r = -0.29$; $p=0.003$, $r = -0.37$) が、G11-12 よりも G16-18 と G-O19 ($p=0.005$, $r = -0.35$; $p<0.001$, $r = -0.43$) が有意に高い値を示した。女子では年齢に伴いストローク頻度に変化がみられなかったものの、男子では 13 歳以降にストローク頻度が増加する傾向がみられた。

ストローク長について、女子では G-U10 よりも G13-15, G16-18 と G-O19 ($p=0.039$, $r = -0.29$; $p<0.001$, $r = -0.43$; $p<0.001$, $r = -0.51$), G11-12 よりも G-O19 ($p=0.011$, $r = -0.33$) が有意に高い値を示し、男子では G-U10 よりも G11-12, G16-18 および G-O19 ($p<0.001$, $r = -0.44$; $p<0.001$, $r = -0.48$; $p<0.001$, $r = -0.59$) が有意に高い値を示した。女子は 13 歳以降でストローク長の増加傾向がみられたものの、男子では 13 歳以降にストローク長の増加がみられなかった。 ※Figure 2 挿入

3. 泳速度に対するストローク頻度とストローク長の関係

Figure 3 に、各世代の泳速度に対するストローク頻度とストローク長の関係を散布図に示した。図中の曲線は同一の泳速度を示している。泳速度はストローク長とストローク頻度の積であるため同一の泳速度である場合、散布図におけるプロットは図中の曲線上に位置することになる。なお、泳速度の曲線は 0.2 (m/s) ごとに図中に示している。各世代の平均値のプロットをみると、女子では G-U10 から G13-15 以降、G11-12 から G-O19 へと年齢区分が上がるのに伴いストローク長が増加し、泳速度の向上がみられた。一方、男子では G-U10 から G11-12 へとストローク長が増加して泳速度が向上し、G11-12 から G16-18 および G-O19 ではストローク頻度が増加して泳速度の向上がみられた。 ※Figure3 挿入

IV 考察

本研究では実際のレースを対象とし、全国規模の大会に出場したジュニアからシニアまでの男女競泳選手の 50m クロール泳における年齢に伴う泳速度、ストローク頻度とストローク長の変化、および泳速度に対するストローク頻度とストローク長の関係について比較検討した。

1. 泳速度と競技記録の関係について

競泳のレースではストローク局面の占める時間の割合が大きく（公益財団法人日本水泳連盟科学委員会，2015），ストローク局面の所要時間が競技記録を決定する主要因と考えられる．本研究では 50m クロール泳の競技記録と泳速度との間に，男女ともに有意に高い負の相関関係が認められた（Figure 1）．Arellano et al.（1994）は，バルセロナオリンピック競泳競技の 50m, 100m, 200m 自由形種目の出場者を対象に，競技記録と平均泳速度との関係について調査した結果，いずれの距離においても男女ともに競技記録と平均泳速度との間に有意に高い負の相関関係（ $r = -0.96$ から $r = -0.99$ ）を認めている．したがって，本研究の対象とした国内全国規模の大会に出場した日本人選手においても，オリンピック出場選手と同様にストローク局面中の平均泳速度が高い選手は競技記録が優れているといえる．

2. 年齢に伴う泳速度とストローク頻度，ストローク長の変化

Vorontsov and Binevsky（2003）は，11 歳から 16 歳の男子競泳選手の 100m クロール泳中の泳速度を比較した結果，年齢に伴い泳速度は増加し，特に，11 歳から 13 歳，14 歳から 16 歳で大きく増加したと報告している．本研究では男女ともに G11-12 と G16-18 間で泳速度（女子：1.69m/s から 1.77 m/s，男子：1.80m/s から 1.97m/s）に有意な増加がみられた（Figure 2）．渡邊・高井（2005）は，ジュニア選手を対象に，4 泳法の 50m 種目の競技記録に対する体格・筋力・柔軟性・ストローク効率（泳速度×ストローク長 / 身長で評価）の影響を検討するため，因子分析をした．その結果，14 歳以下ではストローク効率の因子の影響が大きく，15 歳以上では男子選手が筋力，女子選手が体格の因子の影響が大きいことを報告している（渡邊・高井，2005）ことから，年齢区分に応じて，競技記録に及ぼす影響が異なる可能性があると考えられる．そのため，本研究でみられた G11-12 から G16-18 への有意に高い泳速度の向上には，ストローク効率の改善や，年齢に伴う体格の発達や年齢およびトレーニングによる筋力の発達の影響などが複合的に関与している可能性があると考えられる．

選手の泳ぎを評価する簡便な指標の一つとして，ストローク頻度とストローク長が用いられている（Arellano et al., 1994 ; Chollet et al., 1996 ; 公益財団法人日本水泳連盟科学委員会，2015 ; 若吉，1992）．Mezzaroba and Machado（2014）は，10 歳から 17 歳の男子競泳選手を対象に，100m クロール泳におけるストローク頻度とストローク長について調査した結果，ストローク頻度では年齢間（10-11 歳：0.67 Hz, 12-13 歳：0.67 Hz, 14-

15 歳 : 0.65 Hz, 16-17 歳 : 0.69 Hz) で有意な差が認められなかったものの, ストローク長では 14 歳以降 (10-11 歳 : 1.65 m/stroke, 12-13 歳 : 1.92 m/stroke, 14-15 歳 : 2.28 m/stroke, 16-17 歳 : 2.27 m/stroke) に有意な増加がみられたと報告している. 一方で, Morais et al. (2017) は, 11 歳から 12 歳の男女競泳選手を対象に, 3 年間に渡って縦断的に 25m 全力泳中のクロールにおけるストローク頻度とストローク長の変化について調査した結果, 男子においてのみストローク頻度が増加 (女子 : 0.82 Hz から 0.82 Hz, 男子 : 0.83 Hz から 0.90 Hz) し, ストローク長では男女ともに増加 (女子 : 1.40 m/stroke から 1.73 m/stroke, 男子 : 1.55 m/stroke から 1.75 m/stroke) がみられたと報告している. 50m クロール泳を対象とした本研究においても女子選手のストローク頻度には年齢に伴う変化はみられなかったものの, 男子選手のストローク頻度では G-U10 と G11-12 よりも G16-18 と G-O19 の方が有意に高い値を示していた (Figure 2). ストローク長については, 女子選手が G-U10 よりも G13-15 以降, G11-12 よりも G-O19 に有意な増加がみられ, 男子選手では G11-12 以降に有意な増加が認められなかった (Figure 2). 以上のことから, 13 歳以降, 女子選手ではストローク長の増加がみられ, 男子選手ではストローク頻度の増加がみられたといえる.

Morais et al. (2017) は, 男女ジュニア選手のストローク頻度とストローク長の変化について縦断的に調査した結果, 男女ともに年齢に伴い泳速度が増加し, ストローク長の増加は男子選手よりも女子選手の方が大きく, ストローク頻度の増加は男子選手のみにみられたと報告している. ストローク頻度とストローク長の間にはトレードオフの関係がある (Craig and Pendergast, 1979) ことから, 女子選手ではストローク長を, 男子選手ではストローク頻度を増加させた結果, それに伴ってストローク頻度やストローク長の増加が抑制された可能性があると考えられる. なお, 本研究では選手の体格や筋力, ストローク効率について検討していないため, 今後, それらを考慮し, 年齢に伴うストローク頻度やストローク長の変化について検討する必要がある.

3. 泳速度に対するストローク頻度, ストローク長の関係

泳速度はストローク頻度とストローク長の積で決まる (Craig et al., 1985 ; Toussaint et al., 2006) ため, 選手は泳速度を最大にするよう至適なストローク頻度とストローク長を組み合わせで泳いでいると考えられる. 本研究では各世代での泳速度に対するストローク頻度とストローク長の関係について検討した結果, 女子選手ではストローク長の増加によ

り泳速度が増加していたのに対し、男子選手について G-U10 から G11-12 ではストローク長の増加が、G11-12 から G16-18 以降ではストローク頻度の増加により泳速度が増加している様子がみられた (Figure 3)。

本研究の各世代のストローク頻度の平均値は、女子が 0.95 から 0.98 (Hz)、男子が 0.93 から 1.01 (Hz) の範囲であった。Nakashima and Ono (2014) は、水泳人体シミュレーションモデル SWUM を用いて泳速度を最大とする際のストローク頻度が 1.11 (Hz) であったと報告している。本研究の各世代の平均ストローク頻度と比べると、先行研究 (Nakashima and Ono, 2014) の結果は、若干高い値を示しているものの、過剰なストローク頻度の増加は、手部推進力の低下や泳速度の低下を招くことが報告されている (Craig and Pendergast, 1979 ; Koga et al., 2020)。したがって、実際の泳者を指導する際には、単にストローク頻度を増加させるだけでなく、水中でのストローク動作やストローク長を維持しつつ、ストローク頻度の増加を試みる必要があると考える。

松田ほか (2010) は、100m 自由形を対象にし、ストローク頻度とストローク長を基に泳タイプを分類した結果、競技記録に差はみられないものの、ストローク頻度が高いタイプやストローク長が高いタイプの選手がいることを報告している。そのため、泳者の泳タイプを把握することで泳速度を効率的に向上させることができると考えられる。すなわち、ストローク頻度が高い泳者の場合ではストローク頻度を維持あるいは減少をなるべく抑えた状態でストローク長を高めるのに対し、ストローク長が高い泳者の場合ではストローク長を維持あるいは減少をなるべく抑えた状態でストローク頻度を高める。ただし、本研究では年齢の詳細が不明であるとともに、横断的に各世代に分けて検討しているため、実際の泳速度の増加に対するストローク頻度とストローク長の影響について明らかにするには、個人を縦断的に調査するとともに、50m クロール泳におけるストローク頻度とストローク長の泳タイプについて検討する必要があるだろう。それに加え、泳速度の増加に対するストローク頻度とストローク長の変化を体格や筋の発達およびトレーニング内容についても合わせて検討することが望ましいと考える。

V 結論

本研究では実際のレースを対象に、日本人男女競泳選手の 50m クロール泳における泳速度、ストローク頻度とストローク長の変化、および泳速度に対するストローク頻度とストローク長の関係について検討した。その結果、男女ともに泳速度は年齢に伴って有意に

増加していた。ストローク頻度は、男子のみ年齢に伴い有意な増加が認められた。ストローク長について、女子では年齢に伴い有意な増加がみられたものの、男子では G11-12 以降に有意な増加がみられなかった。以上のことから、泳速度に対するストローク頻度とストローク長の関係について、女子選手では年齢が上がるに伴いストローク頻度が増加しないものの、ストローク長の増加により泳速度が増加するのに対し、男子選手では 12 歳までストローク長の増加により、13 歳以降、ストローク頻度が増加することで泳速度が増加していたことが示された。

謝辞

本研究は、公益財団法人日本水泳連盟科学委員会よりレース分析データの使用許可を得て実施した。ここに記して、深く感謝の意を表する。

文献

- Arellano, R., Brown, P., Cappaert, J., and Nelson, R. C. (1994) Analysis of 50-, 100-, and 200-m Freestyle Swimmers at the 1992 Olympic Games. *J. Appl. Biomech.*, 10(2): 189-199.
- Buckler, J. M., and Wild, J. (1987) Longitudinal study of height and weight at adolescence. *Arc. Dis. Child.*, 62(12): 1224-1232.
- Chollet, D., Pelayo, P., Tourny, C., and Sidney, M. (1996) Comparative analysis of 100m and 200m events in the four strokes in top level swimmers. *J. Hum. Move. Stud.*, 31(1): 25-37.
- Craig, A. B., and Pendergast, D. R. (1979) Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Med. Sci. Sports*, 11(3): 278-83.
- Craig, A. B., Skehan, P. L., Pawelczyk, J. A. and Boomer, W. L. (1985) Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 17(6): 625-634.
- 出村慎一 (1983) 中学生水泳選手の形態, 筋力, 及び柔軟性の性差・学年差の検討. *体力科学*, 32 (1) : 8-16.
- 加藤純代・山口 (武井) 典子・芦澤玖美・保志宏 (1993) 身長・胸囲・体重にみられる最大成長速度年齢の相互関係について. *人類誌*, 100 (4) : 433-447.

- Koga, D., Gonjo, T., Kawai, E., Tsunokawa, T., Sakai, S., Sengoku, Y., Homma, M., and Takagi, H. (2020) Effects of exceeding stroke frequency of maximal effort on hand kinematics and hand propulsive force in front crawl. *Sports Biomech.*, 29:1-13.
- 公益財団法人日本水泳連盟科学委員会 (2015) 第 91 回 日本選手権水泳競技大会競泳競技兼 第 16 回世界水泳選手権代表選手選考会 兼 第 28 回ユニバーシアード代表選手選考会兼 第 5 回世界ジュニア水泳選手権代表選手選考会 競泳レース分析表. 2015.4_JAPAN_91th all race.pdf. https://www.amazon.co.jp/cloudrive/share/MQg3fSDM3k rz3mZHpD0zpqshnVlCmek7ym37CeEVrMH/folder/U9P2OTaPRU6-mV0iXk-U3w /pelJVsYJTuaBjAg-XxcclA?_encoding=UTF8&*Version*=1&*entries*=0&mgh=1, (参照日 2020 年 8 月 20 日).
- 公益財団法人日本水泳連盟科学委員会 (2018) レース分析プロジェクト. <https://goo.gl/icBy9P>, (参照日 2020 年 8 月 20 日参照).
- 松田有司・山田陽介・赤井聡文・生田泰志・野村照夫・小田伸午 (2010) 100m 自由形におけるストローク頻度とストローク長からみた泳タイプ分類. *体力科学*, 59: 465-474.
- Mezzaroba, P. V., and Machado, F.A. (2014) Effect of age, anthropometry, and distance in stroke parameters of young swimmers. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 9(4): 702-7066.
- 水本篤・竹内理 (2008) 研究論文における効果量の報告のために—基礎的概念と注意点—. *関西英語教育学会紀要 英語教育研究*, 31 : 57-66.
- Morais, J. E., Silva, A. J., Marinho, D. A., Lopes, V.P., and Barbosa, T. M. (2017) Determinant factors of long-term performance development in young swimmers. *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 12(2): 198-205.
- Nakashima, M., and Ono, A. (2014) Maximum joint torque dependency of the crawl swimming with optimized arm stroke. *J. Biomech. Sci. Eng.*, 9(1): 1-9.
- SEIKO (2018a) 競泳リザルト 速報サービス : 第 41 回全国 JOC ジュニアオリンピックカップ 夏季水泳競技大会. <http://swim.seiko.co.jp/2018/S70601/index.htm>, (参照日 2020 年 8 月 20 日).
- SEIKO (2018b) 競泳リザルト 速報サービス : 第 58 回全国中学校水泳競技大会. <http://swim.seiko.co.jp/2018/S70201/index.htm>, (参照日 2020 年 8 月 20 日).
- SEIKO (2018c) 競泳リザルト 速報サービス : 第 86 回日本高等学校選手権水泳競技大

- 会. <http://swim.seiko.co.jp/2018/S70301/index.htm>, (参照日 2020 年 8 月 20 日).
- SEIKO (2018d) 競泳リザルト 速報サービス: 第 94 回日本学生選手権水泳競技大会, <http://swim.seiko.co.jp/2018/S70401/index.htm>, (参照日 2020 年 8 月 20 日).
- SEIKO (2018e) 競泳リザルト 速報サービス: 第 94 回日本選手権水泳競技大会. <http://swim.seiko.co.jp/2018/S70701/index.htm>, (参照日 2020 年 8 月 20 日).
- Tanner, J. M., Whitehouse, R. H., and Takaishi, M. (1966) Standards from birth to maturity for height, weight, height velocity, and weight velocity: British children, 1965. II. Arch. Dis. Child., 41(220): 613-635.
- Toussaint, H. M., Carol, A., Kranenborg, H., and Truijens, M. (2006) Effect of fatigue on stroking characteristics in an arms-only 100-m front-crawl race. Med. Sci. Sports Exerc., 38(9): 1635-1642.
- Vorontsov, A. R., and Binevsky, D. A. (2003) Swimming speed, stroke rate and stroke length during maximal 100 m freestyle of boys 11-16 years of age. Biomechanics and Medicine in Swimming IX: 195-199.
- 若吉浩二 (1992) 競泳のレース分析: レース分析とその現場への応用 (<特集>スポーツの競技力を規定するもの). バイオメカニズム学会誌, 16 (2) : 93-100.
- 渡邊將司・高井省三 (2005) ジュニア競泳選手のパフォーマンスに影響する要因の年齢変化. 体力科学, 54 (5) : 353-361.

Table 1. Number of swimmers in age groups

	G-U10 - 10 years	G-11-12 11 - 12 years	G-13-15 13 - 15 years	G-16-18 16 - 18 years	G-O19 19 years -
female	16	17	9	24	30
male	16	17	7	19	40

Figure 1. Relationships between swimming record (s) and swimming velocity (m/s) both females (left side) and males (right side)

1

2 Figure 2. Comparison among age groups of swimming velocity (m/s), stroke rate (Hz) and stroke length
3 (m/stroke) both females (left side) and males (right side).

4 *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$ (Dunn-Bonferroni test)

Figure 3. Relationships between stroke rate (Hz) and stroke length (m/stroke) both females (above) and males (below). The curve lines represented the swimming velocity (m/s).