

水中パフォーマンスの時間的・空間的評価

谷川哲朗

京都工芸繊維大学

目次

第1章 序論	3
1. はじめに	3
2. 競泳競技におけるバタフライの着壁動作に関する課題	4
3. フィンスイミング競技に関する課題	5
4. 本論文の目的と意義	6
文献	7
図表一覧	10
略語一覧	12
第2章 競泳競技におけるバタフライの着壁動作の特徴	13
1. 先行研究	13
2. 目的	13
3. 方法	13
4. 結果	17
5. 考察	21
6. まとめ	25
文献	27
第3章 モノフィン着用歴のない競泳選手におけるアプニア泳動作の特徴	29
1. 先行研究	29
2. 目的	30
3. 方法	30
4. 結果	32
5. 考察	33
6. まとめ	34
文献	35
第4章 モノフィン着用歴のない競泳選手における フィンスイミングの指導介入	36
1. 先行研究	36
2. 目的	36
3. 方法	36
4. 結果	44

5. 考察	52
6. まとめ	57
文献	59
第5章 総括	61
1. バタフライの着壁動作の評価	61
2. アプニア泳動作の評価	62
3. おわりに	62
謝辞	64
基礎論文	65

第1章 序論

1. はじめに

水中は、浮力や水の抵抗を受ける等の特殊な空間である。その特殊な環境で行われている水中運動は、競技スポーツ、健康スポーツ、リハビリテーションに利用されている。なかでも、競技スポーツとしての水中運動では、より速く、楽に泳ぐことが目指されており、非常に高い水中パフォーマンスを要する。これまでに、水中パフォーマンスを評価する研究として、運動生理学的研究およびバイオメカニクス的研究が中心に行われてきた。

運動生理学的研究について、腕立て伏せ、上体起こし、アームプルズ、スクワットジャンプ等の動的筋力テストの結果と 25m から 400m までのクロール全力泳の記録に有意な相関関係があることが報告された(出村ら, 1979)。また、耐乳酸テストを行った際の記録の低下が低い選手は、100m 以上の自由形種目の記録が速いことが報告された(野口ら, 2007)。これらの結果は、強い筋力や高い筋持久力を有する選手は、競技力が高いことを示唆している。一方、尾形ら(2000)は、水中における仕事率上昇に伴う心拍数応答は、下肢運動では直線的に増加する傾向であったが、上肢運動では直線的に増加する選手と高負荷時にプラトーになる選手がみられたと報告した。上肢に違いがみられた要因として、これらの選手の間には、動作に違いがあると考えられる。しかし、泳動作がどのように行われたのかは明確ではない。これらのことから、水中パフォーマンスは、筋力や筋持久力等の運動生理学的要素だけでなく、泳動作のようなバイオメカニクスの要素によっても評価される必要があると考えられる。

バイオメカニクス的研究として、Craig and Pendergast (1979) は、「ストローク長(1ストロークに進む距離)またはストローク頻度(1秒あたりのストローク数)を最大にすることが泳速度を最も高める方法ではない。各泳者にとっての最適なストローク長またはストローク頻度が存在する。」と述べた。また、杉本ら(2008)は、シミュレーション手法を用いて、水中ドルフィンキック泳中の足関節底屈角度だけを増加させた場合の泳速度の分析を行った。足関節底屈角度を増加させることで、水中ドルフィンキック泳中に足部のみで発揮される推進力が増加することが示された。このように、ストローク頻度のような時間的指標、ストローク長および関節角度のような空間的指標を用いて、水中パフォーマンスを向上させる方法が明らかにされてきた。水中パフォーマンスを向上させるためには、時間的・空間的に評価を行うことが必要であると考えられる。

そこで、時間的・空間的評価を行う必要があるにも関わらず、時間的・空間的評価が不十分である、競泳競技におけるバタフライの着壁動作に関する課題とフィンスイミング競技に関する課題について概説する。

2. 競泳競技におけるバタフライの着壁動作に関する課題

競泳はストロークだけでなく、スタート、ターンおよびゴールタッチの巧拙を含めた記録を競う競技である。ストローク時の速度の向上は競技力を高める重要な要素であるが、スタートやターンあるいはゴールタッチによって順位が覆り、好成績をあげた例が報告されている（生田ら，2002；窪，2005）。スタート及びターンに関する先行研究では、それぞれのパフォーマンスを評価するための指標が示されたが（合屋ら，1997；Takeda，2009；尾関ら，2010）、ゴールタッチに関する報告はみられない。競泳の実践現場ではゴールタッチの技術が従来から感覚的に捉えられ、練習での到達目標が明確にされなかった。

ゴールタッチについて、競泳競技規則（財団法人日本水泳連盟競技委員会，2010）によると、クロールおよび背泳ぎのゴールタッチは身体の一部がゴール壁面に触れば良いことに対し、バタフライおよび平泳ぎのゴールタッチは両手同時に行わなければならない。左右対称にストロークを行う平泳ぎおよびバタフライはゴールタッチを行うタイミングが重要となると考えられる。平泳ぎのストロークは腰部までストロークができないことが示されている（財団法人日本水泳連盟競技委員会，2010）。そのため、1ストロークサイクル中で手部が進行方向に対して最も後方に位置する場合でも、腰部よりも後方へストロークすることができない。これに対して、バタフライは手部の可動範囲が進行方向に対して頭部の前方から腰部付近までと大きく、左右同時にストロークを行う。そのため、バタフライでは1ストロークサイクル中に手部が頭部よりも進行方向に対して後方に位置する場合があると考えられる。もし、この状態でゴール壁面に近づく場合、頭部がゴール壁面に最も近い場合、頭部でのゴールタッチとなる可能性がある。泳者は、頭部でのゴールタッチを避けるため、ストロークを行わずに手部を前方で維持してゴールタッチを行うような、ストロークの調節を行わなければならないと推察される。一方、ゴールタッチの際に手部が進行方向に対して頭部よりも前方に位置する場合、このようなストロークの調節は必要としないと考えられる。つまり、ゴールタッチ直前の最後の指尖部の着水後、ストロークを行って、水上に出た指尖部が再び着水することなく着壁となる。このように、バタフライのゴールタッチを行うタイミングによって、その方法が異なることが考えられた。

バタフライは手部の可動範囲が頭の前方から腰部付近までと大きく、ゴールタッチは両手同時に行うことが定められている(財団法人日本水泳連盟競技委員会, 2010)。そのため、バタフライのゴールタッチは4泳法の中で最も出来不出来のタイム差が大きい泳法であると推察される。バタフライでは、どのようなゴールタッチを行うと良いのか、時間的・空間的に評価する必要がある。

3. フィンスイミング競技に関する課題

フィンスイミング競技は、足ひれを使用して水面または水中を泳ぎ、その記録を競う競技である(World Confederation of Underwater Activities, 2013a)。足ひれの種類は2種類に大別され、イルカのような大きな1枚の足ひれ(モノフィン)とダイビングで使用されるような2枚の足ひれ(ビーフィン)がある。モノフィンの使用方法は、両足を揃えてモノフィンを装着し、競泳のバタフライキックにより推進する。ビーフィンは2枚のフィンを片足ずつ装着し、バタ足により推進する。フィンスイミングの泳法は、潜行するアブニア泳法、酸素ボンベで呼吸を行いながら潜行するイマージョン泳法、シュノーケルを装着して水面を泳ぐサーフィス泳法、ビーフィンを装着してクロールを泳ぐビーフィン泳法の4泳法がある(World Confederation of Underwater Activities, 2013b)。50m アブニアの世界記録は13.89秒(World Confederation of Underwater Activities, 2013c)であり、競泳の世界記録である20.91秒(International Swimming Federation, 2013b)よりも7.02秒速い。鎌田ら(1993)は、水泳を専門としない大学生を対象に、水泳指導時の補助用具としてビーフィンを使用してトレーニングを実施させた。その結果、泳記録が向上したことが報告された。フィンを着用することによる泳動作の影響について、Zamparo et al. (2002)は、ビーフィンの着用により、着用しない場合と比較して、足部の振幅が約10%減少し、キック頻度(1秒あたりのキック数)が約40%減少することを示した。運動生理学的な影響について、Boitel et al. (2010)はキック頻度と最大酸素摂取量との間に関係があることを示した。モノフィンを着用して泳ぐ場合は、素足で泳ぐ場合と比較して、エネルギー消費量が60%少ないことが報告された(Zamparo et al., 2006)。これらのことから、フィンを着用することによって、効率的に水中を移動できることがわかる。このように、フィンスイミング競技は、競泳では体験することができないスピードで泳げる魅力や水泳初心者への水泳指導にも有効であり、競技者から水泳愛好者まで楽しめる競技であることがわかる。

ところが、2013年度のフィンスイミング日本選手権の出場数は、競泳の日本選手権出場

者数 681 名（公益財団法人日本水泳連盟，2013）と比較して、248 人と少数であった（特定非営利活動法人日本水中スポーツ連盟，2013）。競泳の日本選手権は、日本水泳連盟が定めた制限記録を突破しなければ出場することができない大会である。一方、フィンスイミング競技の日本選手権は、選手登録さえ行えば、出場可能な大会である。このことから、フィンスイミング競技は競泳と比較して普及されているとは言えない。現在、フィンスイミング競技の普及・発展のため、日本代表選手が中心となって、フィンスイミング体験会やデモンストレーションが日本各地で開催されている。しかしながら、フィンスイミング競技の指導書や専門書などの書籍はない。フィンスイミング競技の体験会では、日本代表選手のような高い競技力を持った選手の経験知によって指導が行われており、フィンスイミング競技の初心者の動作の特徴や指導方法は明らかになっていない。このことから、フィンスイミングの泳法に関する時間的・空間的評価を行う必要がある。

4. 本論文の目的と意義

本論文では、これまでに明らかにされなかった水中パフォーマンスを時間的・空間的に評価することを主目的とした。この主目的を達成するため、次の下位目的を設定した。

1. 競泳競技におけるバタフライの着壁動作を時間的・空間的に評価する。
2. モノフィン着用歴のない競泳選手におけるアプニア泳法の時間的・空間的パラメータの相互関係を検証する。
3. モノフィン着用歴のない競泳選手にアプニア泳法の指導を行い、時間的・空間的な動作の変容と課題を検証する。

これらの目的を達成することによって、スポーツ実践現場で感覚的の捉えられてきた水中パフォーマンスの方法を時間的・空間的に評価でき、指導に貢献できる可能性がある。

文献

Boitel, G., vercruyssen, F., Alberty, M., Nesi, X, Bourdon, L., Brisswalter, J. (2010) Kick frequency affects the energy cost of aquatic locomotion in elite monofin swimmers. *European, Journal of Applied Physiology*, 109(6), 1087-1093.

Craig Jr, AB, Pendergast R (1979) Relationships of stroke rate, distance per stroke and velocity in competitive swimming. *Med Sci Sports* 2:278-283

出村慎一, 松浦義行 (1979) 筋力と水泳パフォーマンスとの関係, *体育学研究*, 24(1), 60-69.

合屋十四秋, 松井敦典, 高木英樹 (1997) クロール泳におけるフリップターンの習熟過程, *バイオメカニクス研究*, 390-394.

生田泰志 (1998) バタフライの科学—スタート、ターン、フィニッシュについて—, *バタフライに関する調査研究報告書*, 51-59.

International Swimming Federation (2013b) *Swimming World Records*. Retrieved November 27, 2013, from International Swimming Federation

Web site: http://www.fina.org/H2O/docs/WR_Oct82013.pdf

鎌田安久, 栗林徹, 澤村省逸, 山下芳男, 出口敦美 (1993) 水泳指導における補助具の活用-足ひれ (フィン) の活用について, *岩手大学教育学部附属教育実践研究指導センター研究紀要*, 3, 185-203.

公益財団法人日本水泳連盟 (2013) *JAPAN SWIM 2013 登録団体別集計表*. 2013年11月28日取得, 公益財団法人日本水泳連盟ウェブサイト:

<http://www.japan-swim.com/long2013/pdf/web3.pdf>

窪康之 (2005) 競泳のスタートおよびターン局面の動作に関するバイオメカニクスの研究 (特集: 水泳), *バイオメカニクス研究*, 9(4), 259-265.

野口雄慶, 出村慎一, 佐藤進, 中田征克, 北林保, 大杉貴康, 渡部満 (2007) Drop-off 指数を利用した泳パフォーマンス評価方法の検討, 水泳水中運動科学, 10, 16-22.

尾形寿好, 柚木孝敬, 矢野徳郎 (2000) 水泳選手の上肢運動および下肢運動における酸素摂取量と心拍数の関係性, 北海道大学大学院教育学研究科紀要, 82, 177-182.

尾関一将, 桜井伸二, 田口正公 (2010) 競泳スタートにおける入水方法がパフォーマンスに与える影響, バイオメカニクス研究, 14 (1), 12-19.

杉本誠二, 中島求, 市川浩, 三輪飛寛, 武田剛, 野村武男 (2008) シミュレーション解析による水中ドルフィンキック時の足関節底屈角度の増加がパフォーマンスに与える影響, 体育学研究, 53, 51-60.

Takeda Tsuyoshi (2009) Do differences in initial speed persist to the stroke phase in front-crawl swimming?, Journal of Sports Sciences, 27 (13), 1449-1454.

特定非営利活動法人日本水中スポーツ連盟 (2013) 第 25 回フィンスイミング日本選手権大会結果.2013 年 11 月 28 日取得, フィンスイミングニュース
ウェブサイト:http://finswimming-news.cocolog-nifty.com/blog/files/JAPAN2013_.pdf

World Underwater Federation (2013a) About Finswimming. Retrieved December 25, 2013, from World Underwater Federation
Web site:<http://www.cmas.org/finswimming/about-2012032622>

World Underwater Federation (2013b) Finswimming Rules. Retrieved December 25, 2013, from World Underwater Federation
Web site:<http://www.cmas.org/document?sessionId=&fileId=2538&language=1>

World Underwater Federation (2013c) World Records. Retrieved December 25, 2013, from World

Underwater Federation

Web site:<http://www.cmas.org/document?sessionId=&fileId=2776&language=1>

財団法人日本水泳連盟競技委員会（2010）競泳競技規則，財団法人日本水泳連盟競技委員会：東京，13-15.

Zamparo, P., Pendergast, D. R., Termin, B., Minetti, A. E. (2002) How fins affect the economy and efficiency of human swimming, *Journal of Experimental Biology*, 205 (17), 2665-2676.

Zamparo, P., Pendergast, D. R., Termin, A., Minetti, A. E. (2006) Economy and efficiency of swimming at the surface with fins of different size and stiffness, *European journal of applied physiology*, 96 (4), 459-470.

図表一覧

表 2-1 実験参加者の専門種目およびそのベストタイム	14
表 2-2 実験参加者のストローク局面におけるストローク長, ストロークタイム, 泳速度の最大値および最小値を除いた 4 試行の平均±標準偏差	17
表 2-3 実験参加者が行ったゴールタッチの分類結果	19
表 2-4 ダイレクトタッチにおける分散分析の結果	20
表 2-5 グライドタッチの結果	21
表 2-6 各ゴールタッチの GLr と GVr の相関関係	21
表 3-1 泳速度、キック頻度、キック長および身体部位の振幅との相関関係	32
表 4-1 授業の各日程の主な指導事項	37
表 4-2 授業の 1 日の流れ	38
表 4-3 各日程の振幅	47
表 4-4 振幅の変化量とアプニア泳記録の変化量間の積率相関係数	48
表 4-5 各日程の尺骨頭に対する身体およびフィンの先端の位相	48
表 4-6 位相の変化量とアプニア泳記録の変化量間の積率相関係数	48
表 4-7 各日程の深度変化	49
表 4-8 深度変化の変化量とアプニア泳記録の変化量間の積率相関係数	49
表 4-9 各日程の深度	50
表 4-10 深度の変化量とアプニア泳記録の変化量間の積率相関係数	50
表 4-11 内省報告の集計結果	51
図 2-1 ストローク局面とゴールタッチ局面の局面分け	16
図 4-1 モノフィンの履き方と脱ぎ方	39
図 4-2 内省報告の調査用紙	40
図 4-3 デジタイズを行った身体部位	41
図 4-4 $z=a_1 \times \sin(b_1 \times t + c_1) + d_1 \times t + e_1$ (式 4-2) の a_1 、 b_1 、 c_1 の説明	42
図 4-5 $z=a_1 \times \sin(b_1 \times t + c_1) + d_1 \times t + e_1$ (式 4-2) の d_1 、 e_1 の説明	43
図 4-6 各日程のアプニア泳の記録	45
図 4-7 各日程の泳速度	45
図 4-8 各日程のキック長	46

図 4-9 各日程のキック頻度	46
図 4-10 参加者が感じた難しさのチャート図	52
図 4-11 尺骨頭と第五中足骨董の位相差が 360deg.の場合の例	56

略語一覧

グライドタッチ：ゴールタッチの種類はゴールタッチ直前の指尖部の着水後、指尖部が水上に上がることなくゴールタッチを行った試行

ダイレクトタッチ：ゴールタッチ直前の指尖部の着水後、指尖部が再び水上に上がり、その後着水せずに水上のゴール壁面にゴールタッチを行った試行

Undulation 試行：うねり動作を行った試行

Calming 試行：うねり動作を行っていない試行

GL (Goal Length)：ゴールタッチ直前の手の着水地点からゴール壁面までの距離

GT (Goal Time)：ゴールタッチ直前の手の着水地点からゴール壁面までの所要時間

GV (Goal Velocity)：ゴールタッチ直前の手の着水地点からゴール壁面までの速度

GLr (Goal Length ratio)：ストローク局面における平均ストローク長に対する GL の値

GTr (Goal Time ratio)：ストローク局面における平均ストロークタイムに対する GT の値

GVr (Goal Velocity ratio)：ストローク局面における平均泳速度に対する GV の値

2KickD 試行：ゴールタッチ局面でドルフィンキックを 2 回行い、ダイレクトタッチを行った試行

3KickD 試行：ゴールタッチ局面でドルフィンキックを 3 回行い、ダイレクトタッチを行った試行

1KickG 試行：ゴールタッチ局面でドルフィンキックを 1 回行い、グライドタッチを行った試行

2KickG 試行：ゴールタッチ局面でドルフィンキックを 2 回行い、グライドタッチを行った試行

位相：尺骨頭に対する身体およびフィンの位相差

深度変化：時間あたりの e_l を基準とした深度変化

深度：デジタイズ開始地点の時間を 0 とした時の身体の深さ

第2章 競泳競技におけるバタフライの着壁動作の特徴

1. 先行研究

バタフライのゴールタッチに関する情報は、水泳の指導書や専門書に数多く記載されている（糸山，1987；椿本，1989；河合，1990；田中，1993；吉村・高橋，1996；財団法人日本水泳連盟，2010）。これらを要約すると、減速が小さいバタフライのゴールタッチはゴールタッチ直前のストロークを終えた直後に肘を伸ばした状態で、指先でゴール壁面にゴールタッチすることである。しかし、泳速度はレースの進行に伴って減速することが報告されており（奥野ら，1999）、選手の調子の良し悪しによっても練習通りの泳ぎができない場合があると考えられる。その場合、選手は減速の小さなゴールタッチを目指しているものの、ゴールタッチを行う際の泳者とゴール壁面までの距離はレース毎に一定ではないためゴールタッチが合わず、減速の小さなゴールタッチができない可能性が高いと推察される。これらのゴールタッチを定量化し、失敗のゴールタッチを避ける方法が明らかになれば、バタフライの記録向上の手がかりとなると考えられる。

Maglischo（2003）はバタフライの推進力はストロークやドルフィンキックだけでなく、Undulation 動作によっても発揮されると述べた。これらの動作はゴールタッチ時の減速を小さく抑えると推察されるが、それらの有効性については未だ検討されていない。

2. 目的

本章では、バタフライのゴールタッチを定量化し、バタフライのゴールタッチを行う方法、うねり動作およびドルフィンキック動作の時間的・空間的な特徴を検証することを目的とした。

3. 方法

（1）実験参加者

実験参加者は1年間を通してトレーニングを実施している大学水泳部員男子10名（年齢 20.4 ± 1.2 歳、身長 176.4 ± 4.3 cm、体重 70.1 ± 7.3 kg、水泳歴 13.4 ± 4.5 年）であった。実験参加者の専門種目およびベストタイムを表2-1に示した。実験参加者には本研究の目的、方法、危険性などに関して十分な説明を行った後、書面にて研究参加への同意を得た。

表 2-1 実験参加者の専門種目およびそのベストタイム

ID	専門種目	ベストタイム (m:ss.00)
1	100m 背泳ぎ	59.59
2	100m バタフライ	1'09.95
3	100m バタフライ	55.50
4	400m 自由形	4'24.79
5	200m 平泳ぎ	2'21.08
6	100m 平泳ぎ	1'06.94
7	200m 背泳ぎ	2'02.85
8	400m 個人メドレー	4'56.71
9	200m 個人メドレー	2'30.61
10	100m 自由形	53.69

(2) 実験環境および実験手順

実験は 50m 屋外プール (8 コース) にて行った。実験参加者はウォーミングアップ、バタフライのゴールタッチの練習を各自で行い、準備ができた段階で試技を開始した。本研究はゴールタッチの出来不出来による減速のみに着目するため、試技の距離は実際のレースよりも短く、ゴールタッチが合わないような状況を作るため、14m、15m および 16m に設定した。試技は 8 コースの 14m、15m および 16m 地点から 0m 地点までのバタフライ泳とし、14m 試行、15m 試行および 16m 試行を各 2 試行ずつランダムな順序で計 6 試行実施した。なお、14m、15m および 16m 地点にプールフロアを壁に見立てるように鉛直に立てて設置し、そのプールフロアを蹴らせて高い速度が獲得できるようにした。実験参加者には、最大努力かつ無呼吸で泳ぐことを教示した。

(3) 撮影方法およびデータ分析

撮影は実験参加者の右側方、1 コースの水中に水中カメラ (YAMAHA 社製、水中モニターシステム) を設置し、動作平面とカメラの光軸が直交するように行った。本研究では、実験参加者の進行方向である水平方向を x 軸、x 軸に直交する鉛直方向を y 軸とする静止座標系を設定し、ゴールタッチは 2 次元平面上で行われているものと仮定して、実験参加者の指尖点を分析の対象とした。水中カメラで撮影された映像はパーソナルコンピュータに取り込み、動作解析ソフト (DKH 社製、Frame- DIASIV) を使用して手動デジタイズを行った。

実験参加者の指尖点が着水してから再び着水するまでを 1 ストロークサイクルとし、実長換算法を用いて実験参加者の指尖点が着水およびゴールタッチした時点の時間および指

尖点の実座標を計測した。得られたデータから、ゴールタッチ直前の手の着水を基準に、その直前の2ストロークをストローク局面、ゴールタッチ直前の手の着水からゴールタッチを行うまでをゴールタッチ局面に分類した（図 2-1）。

（4）ゴールタッチの分類

Maglischo（2003）はバタフライで推進力を発揮するためにはストロークやキックだけでなく、うねり動作も重要であることを示した。そこで、実験参加者が行った全試行をゴールタッチの種類、ドルフィンキック動作およびうねり動作の3つの観点から分類した。

1）ゴールタッチの種類

生田（1998）はゴールタッチの失敗の例として「壁との距離が遠すぎたために最後の1ストロークが入水し、流れた状態でゴールタッチをした例」と「壁との距離が近すぎたために最後の1ストロークのマッチングが失敗した例」を挙げた。そこで、ゴールタッチの種類はゴールタッチ直前の指尖部の着水後、指尖部が水上に上がることなくゴールタッチを行った試行をグライドタッチとし、ゴールタッチ直前の指尖部の着水後、指尖部が再び水上に上がり、その後着水せずに水上のゴール壁面にゴールタッチを行った試行をダイレクトタッチとして2種類に分類した。

2）ドルフィンキック動作

ドルフィンキック動作は膝関節が屈曲し、最大屈曲した時点から最大伸展するまでを1回のドルフィンキック動作として、ゴールタッチ局面でドルフィンキックを行った回数を計測し、その回数によって動作を分類した。なお、うねり動作による脚の動きはドルフィンキック動作1回としてカウントしなかった。

3）うねり動作

うねり動作は頭部と肩部が下方に動いた後、臀部や足部が降下しながら再び頭部および肩部が浮かび上がるような動きを行ったものを主観的に *Undulation* 動作と判定した。しかし、ダイレクトタッチは最後の指尖部の入水後、ストロークを行い、ゴールタッチを行うまでの間にうねり動作を行うことができないと考えられる。そこで、ダイレクトタッチはうねり動作の分類から除外し、グライドタッチのみを分類の対象とした。うねり動作を行

った試行は Undulation 試行とし、うねり動作を行っていない試行を Calming 試行として分類した。

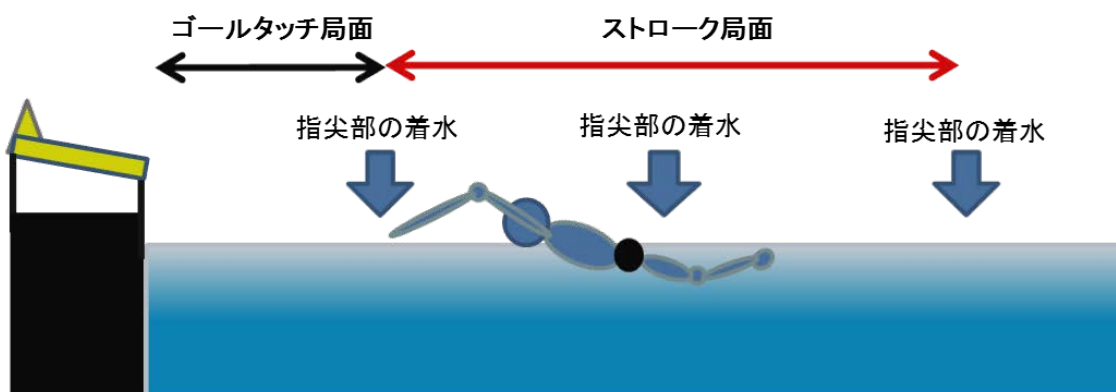


図 2-1 ストローク局面とゴールタッチ局面の局面分け

(5) 算出項目

図 2-1 で示されたように、ストローク局面における 2 ストロークについて、実験参加者の指尖点が着水した時点の実座標の x 成分の値と指尖点が再び水面から浮上し、再び着水した時点の実座標の x 成分の値の差から、1 ストロークあたりに進む距離を 2 ストローク分算出した。次に、実験参加者の指尖点が着水した時点と指尖点が再び水面から浮上し、再び着水した時点の時間の差から、1 ストロークあたりの所要時間を 2 ストローク分算出した。そして、2 ストローク分の 1 ストロークあたりに進む距離を 2 ストローク分の 1 ストロークあたりの所要時間で除することによって、1 ストロークあたりの泳速度を算出した。その後、得られたストローク局面における 2 ストローク分のデータを平均することによって、ストローク局面における 1 ストロークあたりに進む距離(ストローク長, $m/stroke$)として算出し、ストローク局面における 1 ストロークあたりの所要時間(ストロークタイム, $s/stroke$)として算出し、ストローク局面における 1 ストロークあたりの泳速度 (m/s) を算出した。実験参加者が行った 6 試行のうち、2 ストロークの平均ストローク長が最も高い値と最も低い値の試行を 1 試行ずつ除外し、残りの 4 試行の平均値を実験参加者の代表値とした。

ゴールタッチ局面については、ゴールタッチ直前の手の着水地点からゴール壁面までの距離を GL (Goal Length, m) とし、その所要時間を GT (Goal Time, s) とし、その速度を GV (Goal Velocity, m/s) として求めた。また、ストローク局面における平均ストロー

ク長に対する GL の値を GLr (Goal Length ratio, %) とし、ストローク局面における平均ストロークタイムに対する GT の値を GTr (Goal Time ratio, %) とし、ストローク局面における平均泳速度に対する GV の値を GVr (Goal Velocity ratio, %) として求めた。

(6) 統計処理

ダイレクトタッチの試行間の比較にはドルフィンキック動作を要因とした 1 要因分散分析を行った。GLr と GVr の関係は、Pearson の積率相関分析を用いて行った。統計処理には統計ソフト PASW Statistics18 を使用し、統計上の有意水準は 5% とした。

4. 結果

(1) ストローク局面

ストローク局面における実験参加者毎のストローク長、ストロークタイムおよび泳速度の 4 試行の平均および標準偏差を表 2-2 に示した。各実験参加者の 4 試行の平均値を実験参加者の代表値として扱った。代表値の平均±標準偏差はストローク長が $1.76\pm 0.18\text{m/stroke}$ 、ストロークタイムが $1.06\pm 0.09\text{s/stroke}$ 、泳速度が $1.65\pm 0.10\text{m/s}$ であった。

表 2-2 実験参加者のストローク局面におけるストローク長、ストロークタイム、泳速度の最大値および最小値を除いた 4 試行の平均±標準偏差

ID	ストローク長*		ストロークタイム*		泳速度*	
	(m/stroke)		(sec/stroke)		(m/sec)	
1	1.73	± 0.05	1.00	± 0.02	1.73	± 0.02
2	1.47	± 0.04	0.92	± 0.03	1.59	± 0.02
3	2.14	± 0.04	1.21	± 0.02	1.75	± 0.02
4	1.76	± 0.01	1.16	± 0.03	1.52	± 0.03
5	1.59	± 0.05	1.02	± 0.03	1.57	± 0.02
6	1.71	± 0.03	1.04	± 0.03	1.63	± 0.02
7	1.81	± 0.10	1.03	± 0.04	1.75	± 0.04
8	1.86	± 0.04	1.04	± 0.03	1.76	± 0.07
9	1.76	± 0.09	1.17	± 0.08	1.50	± 0.03
10	1.81	± 0.08	1.03	± 0.03	1.75	± 0.07

*最大値と最小値を除いた4試行の平均値

(2) ゴールタッチの分類

実験参加者が行ったゴールタッチをタッチの種類、ドルフィンキック動作およびうねり動作で分類した結果を表 2-3 に示した。60 試行のうち、分析可能であったダイレクトタッ

チが 24 試行、分析可能であったグライドタッチが 36 試行みられた。実験参加者は、14m、15m および 16m の 3 種類の距離を 2 試行ずつ行うことによって、2 種類以上のゴールタッチを行った。また、実験参加者が行った各距離 2 試行のうち、同様のゴールタッチの方法が出現した試行は 30 試行（15 ペア）であった。さらに、3 種類の試行のうち、同様のゴールタッチの方法が出現した実験参加者は 3 名であった。

24 試行のダイレクトタッチは、ドルフィンキックを 2 回行った試行（2Kick_D 試行）は 9 試行であり、3 回行った試行（3Kick_D 試行）は 15 試行であった。映像を確認すると、2Kick_D 試行はゴールタッチ直前の最後の指尖部の着水後に 1 回目のドルフィンキックを行い、腕のアップスイープ時に 2 回目のドルフィンキックを行った後、指尖部が着水する前にゴールタッチを行う様子が観察された。3Kick_D 試行は、1 回目および 2 回目のドルフィンキック動作は 2Kick_D 試行と同様に行われているが、3 回目のドルフィンキックが腕を前方に戻す動作であるリカバリー動作を行っている最中に行われていることが観察できた。

次に、36 試行のグライドタッチのうち、Undulation 試行は 9 試行であり、Calming 試行は 27 試行であった。Undulation 試行のうち、ドルフィンキックを 1 回行った試行（1Kick_G 試行）は 3 試行、2 回行った試行（2Kick_G 試行）は 6 試行であった。Calming の 27 試行のうち、1Kick_G 試行は 23 試行、2Kick_G 試行は 4 試行であった。映像を確認すると、1Kick_G 試行は、ゴールタッチ直前の最後の指尖部の着水後にドルフィンキックを行った後、ゴールタッチを行う様子が観察された。2Kick_G 試行は、1 回目のドルフィンキックが 1Kick_G 試行と同様のタイミングで行われ、ゴールタッチが行われる前に 2 回目のドルフィンキックを行う様子が観察された。1Kick_G 試行の Undulation 試行は、1 回目のドルフィンキックが行われながら頭部と肩部が下方に動いた後、臀部や足部が降下しながら再び頭部および肩部が浮かび上がる動作が確認できた。2Kick_G 試行の Undulation 試行は 1Kick_G 試行の Undulation 試行と同様の動作が行われた後、ゴールタッチを行う前に 2 回目のドルフィンキックを行う様子が観察された。

表 2-3 実験参加者が行ったゴールタッチの分類結果

ID	試技 距離(m)	Undulation		Calming			
		2KickD	3KickD	1KickG	2KickG		
1	14		1		1		
	15		1		1		
	16				2		
2	14		1	1			
	15				2		
	16			1	1		
3	14		1		1		
	15				1		
	16			2			
4	14	1		1			
	15		2				
	16			1	1		
5	14		1		1		
	15		2				
	16				2		
6	14	1	1				
	15	1			1		
	16	2					
7	14	1	1				
	15		2				
	16	1	1				
8	14				1		
	15	2					
	16				2		
9	14			2			
	15				2		
	16				2		
10	14				2		
	15		1				
	16				2		
計		9	15	3	6	23	4

(3) ゴールタッチ直前の動作がパフォーマンスに与える影響

ダイレクトタッチについて、ドルフィンキック動作を要因とした1要因分散分析を行った(表 2-4)。その結果、GLでは3Kick_D試行(1.67±0.25m)が2Kick_D試行(1.45±0.19m)と比較して有意に高い値を示した(F(1,22)=4.785, p<.05)。GTでは3Kick_D試行(1.05±0.17s)と2Kick_D試行(0.98±0.10s)の間に有意な差が認められなかった(F(1,22)=1.157, n.s.)。GVでは3Kick_D試行(1.59±0.07m/s)が2Kick_D試行(1.47±0.10m/s)と比較して有意に高い値を示した(F(1,22)=8.836, p<.01)。

GLrでは3Kick_D試行(96±14%)が2Kick_D試行(82±11%)と比較して有意に高い値であ

った ($F(1,22) = 8.836, p < .05$)。GTr では 3Kick_D 試行 ($100 \pm 14\%$) と 2Kick_D 試行 ($94 \pm 9\%$) の間に有意な差が認められなかった ($F(1,22) = 1.535, n.s.$)。GVr では 3Kick_D 試行 ($96 \pm 6\%$) が 2Kick_D 試行 ($88 \pm 6\%$) と比較して有意に高い値であった ($F(1,22) = 8.756, p < .01$)。

表 2-4 ダイレクトタッチにおける分散分析の結果

	levene	2Kick _D (N=9)	3Kick _D (N=15)	F Value
GL(m)	0.211	1.45±0.19	1.67±0.25	4.785 *
GT(sec)	0.165	0.98±0.10	1.05±0.17	1.157
GV(m/sec)	0.382	1.47±0.10	1.59±0.07	8.836 **
GLr(%)	0.305	82±11	96±14	6.109 *
GTr(%)	0.184	94±9	100±14	1.535
GVr(%)	0.745	88±6	96±6	8.756 **

*: $p < .05$ **: $p < .01$

グライドタッチの分類結果を表 2-5 に示した。GL では 1Kick_G 試行の Undulation 試行が $1.08 \pm 0.32m$ 、Calming 試行が $0.65 \pm 0.19m$ であり、2Kick_G 試行の Undulation 試行は $1.18 \pm 0.21m$ 、Calming 試行は $1.30 \pm 0.22m$ であった。GT では、1Kick_G 試行の Undulation 試行は $0.71 \pm 0.13sec$ 、Calming 試行は $0.47 \pm 0.11sec$ であり、2Kick_G 試行の Undulation 試行は $0.81 \pm 0.07sec$ 、Calming 試行は $0.87 \pm 0.09sec$ であった。GV は 1Kick_G 試行の Undulation 試行は $1.50 \pm 0.21sec$ 、Calming 試行は $1.38 \pm 0.18sec$ であり、2Kick_G 試行の Undulation 試行は $1.44 \pm 0.17sec$ 、Calming 試行は $1.48 \pm 0.13sec$ であった。GLr では 1Kick_G 試行の Undulation 試行は $60 \pm 11\%$ 、Calming 試行は $37 \pm 10\%$ であり、2Kick_G 試行の Undulation 試行は $75 \pm 9\%$ 、Calming 試行は $72 \pm 14\%$ であった。GTr では、1Kick_G 試行の Undulation 試行は $60 \pm 11\%$ 、Calming 試行は $44 \pm 10\%$ であり、2Kick_G 試行の Undulation 試行は $75 \pm 9\%$ 、Calming 試行は $83 \pm 12\%$ であった。GVr では、1Kick_G 試行の Undulation 試行は $100 \pm 15\%$ 、Calming 試行は $83 \pm 9\%$ であり、2Kick_G 試行の Undulation 試行は $88 \pm 6\%$ 、Calming 試行は $86 \pm 8\%$ であった。

表 2-5 グライドタッチの結果

	1Kick _G		2Kick _G	
	Undulation (N=3)	Calming (N=23)	Undulation (N=6)	Calming (N=4)
GL(m)	1.08± 0.32	0.65± 0.19	1.18± 0.21	1.30± 0.22
GT(s)	0.71± 0.13	0.47± 0.11	0.81± 0.07	0.87± 0.09
GV(m/s)	1.50± 0.21	1.38± 0.18	1.44± 0.17	1.48± 0.13
GLr(%)	61±18	37±10	66± 9	72±14
GTr(%)	60±11	44±10	75± 9	83±12
Gvr(%)	100±15	83± 9	88± 6	86± 8

(4) ゴールタッチの種類および方法別の GLr と Gvr の関係

表 2-6 にゴールタッチの種類別に GLr と Gvr の関係を示した。2Kick_D 試行は、有意な正の相関関係が認められた ($r=.726$, $p<.05$) が、3Kick_D 試行では有意な相関関係が認められなかった ($r=.364$, n.s.)。1Kick_G 試行の Calming 試行は有意な正の相関関係が認められた ($r=.611$, $p<.01$)。

表 2-6 各ゴールタッチの GLr と Gvr の相関関係

ゴールタッチの種類	相関係数	有意確率
2Kick _D	.726	.027 *
3Kick _D	.364	.182
1Kick _G Calming	.611	.002 **

*: $p<.05$ **: $p<.01$

5. 考察

(1) 本研究における試技の妥当性

ゴールタッチの巧拙は、レース分析におけるフィニッシュ局面（レースにおける最後の 5m）の所要時間によって評価されてきた（財団法人日本水泳連盟，2005）。しかし、野村（1996）はフィニッシュ局面の泳速度の減速が著しい場合は、ゴールタッチを正當に評価できないことを報告した。この報告から、フィニッシュ局面の所要時間は、ゴールタッチの出来不出来による影響と泳速度の減速による影響を受けると考えられる。若吉ら（2000）は 50m 自由形レースの 5m 毎のストローク分析から、性別、競技レベルに関係なく、レース進行に伴う泳速度の低下傾向とストローク頻度の低下傾向が有意な関係にあることを明

らかにした。そのため、実際のレースのフィニッシュ局面を検討する場合、本実験試技と比較してかなり疲労した状態であると推察される。また、レースの進行に伴う疲労から呼吸数も増え、呼吸が泳速度およびストローク、ゴールタッチに影響を与えると考えられる。このように、実際のレースでゴールタッチを評価する場合、多くの要因があるため、ゴールタッチの技術のみを正当に評価できない可能性があると考えられる。

そこで、本研究の実験試技は、競泳のレースの距離で最も短い 50m よりもさらに短い 14m、15m および 16m に設定し、バタフライのゴールタッチの巧拙はストローク局面の速度を基準にゴールタッチの速度がどのように変化したのかを割合で示す GVr で評価した。そのため、実験参加者がストローク局面を全力で行わない場合、GVr は過大評価されることとなり、正当に評価できないと考えられる。そこで、実験に先立ち、実験参加者には無呼吸かつ最大努力で行うように教示した。その結果、疲労による測定誤差を小さくできると考えられるが、実際のレースの疲労状態とは異なると考えられる。このような理由から、実際のレースのゴールタッチを分析する場合でも、実験で行うゴールタッチを分析する場合にも、正当に評価するには限界があると考えられる。

(2) バタフライのゴールタッチを行う方法

バタフライのゴールタッチがどのように行われたのかをゴールタッチの種類、ドルフィンキック動作およびうねり動作によって分類した (表 2-3)。ダイレクトタッチはドルフィンキック動作を 2 回またはドルフィンキック動作を 3 回行う様子が確認できたため 2 類型に整理できた。グライドタッチは、うねり動作の有無とドルフィンキックを 2 回行う場合と 3 回行う場合に分類でき、4 類型に整理することができた。本研究の結果からはバタフライのゴールタッチをダイレクトタッチの 2 類型とグライドタッチの 4 類型を合わせて計 6 類型が観察され、整理することができた。しかし、本研究で行われたゴールタッチの試行数を比較すると、1Kick_G の Undulation 試行は 3 試行、2Kick_G の Calming 試行は 4 試行、Undulation 試行は 6 試行であった。実験参加者がこれらのゴールタッチの方法を選択する場合は稀であると考えられるため、統計処理の対象から除外した。今後、これらの有効性を検討することができれば、新たなゴールタッチの方法を提案できる可能性があると考えられる。

また、本研究は 14m、15m および 16m の 3 種類の試技を設定し、ゴールタッチの方法を実験参加者に自由に選択させて実験を行った。そのため、各実験参加者に多種多様なゴー

ルタッチを行う方法が出現した。また、同じ距離設定であれば同じゴールタッチを行うと考えられたが、同じ距離でも異なるゴールタッチを行った試行は半数であった。このことから、実験参加者はゴールタッチに向かってストロークの調節を行いながら近づき、ゴールタッチ直前の最後の指先端の入水位置に応じて、ゴールタッチの方法を選択していることが考えられる。また、実験参加者のなかには14m、15m および16m のどの距離であっても、ゴールタッチ直前の最後の指先端の入水位置を調節し、同様のゴールタッチの方法を行っていた者が3名いた。これらの実験参加者のように、ゴールタッチで減速を小さくするためには、ゴールタッチ直前の最後の指先部の入水位置によってゴールタッチの方法が異なるため、ゴールタッチに向かうまでにストロークを調節する必要があると考えられる。

(3) ゴールタッチ直前に行われる動作の分類とその有効性の検討

1) うねり動作

Maglischo (2003) は身体を水平な状態にして泳いだ方が抵抗は小さくなると考えられるが、バタフライの場合うねり動作を行うことによって、高いスピードを獲得できると述べた。また、Sanders et. al (1995) はバタフライの身体うねり動作は頭部と肩部が動くことによって臀部や足部が動き、頭部や肩部が沈む時に下方への速度が増加することを示した。その際、泳者は手部を進行方向前方に向け、下方への推進力を前方に置換させることで、水平方向の推進力を獲得できると推察され、うねり動作は前方への推進力を有すると考えられる。本研究では試行数が少数であったため、統計処理を行うことができなかった。今後、うねり動作の有効性を検討する必要がある。

2) ドルフィンキック動作

バタフライのストロークとドルフィンキックのタイミングは、手部の入水後に1回目のドルフィンキックを行い、ストローク中に2回目のドルフィンキックを行うことが示されている (Seifert et al., 2008)。また、水泳の専門書にも「バタフライは通常、1回ストローク中に2回ドルフィンキックを行い、1回目のドルフィンキックは、手の入水からアウトスイープ時に行い、2回目は腕のアップスイープ時に行う。」と記載されている (日本水泳連盟, 2006)。このことから、グライドタッチの2Kick_G 試行における2回目のドルフィンキックは、ストロークは行っていないものの、ストローク中に行うドルフィンキックのタ

イミングと同様のタイミングでドルフィンキックが行われたと考えられ、そのタイミングよりも早くゴールタッチを行った場合は1Kick_Gになると考えられる。杉本ら（2008）は水中ドルフィンキックの1キック中の速度変動をシミュレーション手法によって、ダウンビート開始に伴って加速していることを報告した。以上のことから、ゴールタッチ時の減速を小さくするためにグライドタッチでドルフィンキックによる推進力を十分に得るためには距離を要する可能性が示された。

一方、ダイレクトタッチは、2回行う場合（2Kick_D 試行）と3回行う場合（3Kick_D 試行）が観察できた。その有効性を検討したところ、GVr は 2Kick_D 試行（88±6%）が 3Kick_D 試行（96±6%）と比較して有意に小さい値であった。しかし、映像を確認した結果、ゴールタッチ直前の最後の指尖部の着水後に1回目のドルフィンキックを行い、腕のアップスイープ時に2回目のドルフィンキックを行った後、リカバリー動作を行っている最中にドルフィンキックを行い、その直後にゴールタッチを行う動作が確認できた。これは、グライドタッチの場合と同様に、3Kick_D 試行は3回目のドルフィンキックの膝関節が最大伸展した直後にゴールタッチを行うため、ドルフィンキックによる推進力が十分ではないと考えられる。そこで、GLr の値を比較すると、2Kick_D 試行（82±11%）は 3Kick_D 試行（96±14%）と比較して有意に低い値であった。このことから、実験参加者のストローク長に対して、ゴールタッチに要する距離がどの程度あるのかによって、ゴールタッチの巧拙に影響を及ぼす可能性があると考えられる。

（4）ゴールタッチに要する距離がゴールタッチに与える影響

グライドタッチでうねり動作が行われず、ドルフィンキックを1回行う場合には、GLr と GVr に有意な正の相関関係が認められた（表 2-6）。この結果は、実験参加者のストローク長に対するゴールタッチに要する距離の割合がどの程度短くなれば、どの程度速度が低下するのかを示す。つまり、実験参加者のストローク長よりもゴールタッチに要する距離が短くなればなるほど、ゴールタッチ時に減速する可能性が示された。Troup（1990）は、バタフライの1ストロークサイクルにおける速度変動について、リカバリーの後半に減速し、手部が着水した後、ドルフィンキックによって加速し、キャッチが行われる際が最も高い速度であることを示した。このことから手部の着水直後は速度が減速し、徐々に加速する局面であると推察された。グライドタッチを行う際には、ストローク長に対して、ゴールタッチに要する距離が短くなり過ぎるのを避ける方が良い可能性が示された。

ダイレクトタッチにおけるストローク長に対するゴールタッチに要する距離は 2Kick_D 試行 (82±11%) が 3Kick_D 試行 (96±14%) と比較して、約 14% 有意に短いことが明らかとなった。2Kick_D 試行は通常よりも早いタイミングでドルフィンキックを行おうとしても、3Kick_D 試行と比較してゴール壁面までの距離が短いため、ドルフィンキックが行えなかった可能性が高いと推察される。さらに、2Kick_D 試行では、GLr と GVr に有意な正の相関関係が認められた (表 2-6)。このことから、3 回目のドルフィンキックを行わない場合、ストローク長に対するゴールタッチに要する距離の短縮は、ゴールタッチ時の減速につながることを推察された。ダイレクトタッチはストロークを行った後、手部を進行方向前方へ戻すリカバリーの動作を行っている最中に行うゴールタッチである。実験参加者のストローク長に対して、ゴールタッチに要する距離が十分でない場合、手部を前方へ伸ばす前にゴールタッチを行うこととなるため、ゴールタッチ時で減速すると推察される。このように、ダイレクトタッチを行う場合は、ストローク長がゴールタッチに要する距離に対して短くなり過ぎないようにすることによって、ゴールタッチ時の減速を小さくできる可能性が示された。

以上のことから、バタフライのゴールタッチを行う際には、ダイレクトタッチを行う場合でもグライドタッチを行う場合でも泳者は自身のストローク長がどの程度なのか把握しながら、ゴール壁面までの距離を推測する必要があると考えられる。コーチングを行う際には、泳者にとってゴールタッチが行いやすいような、ゴールタッチ直前の最後の着水位置をコントロールさせるトレーニングを行う必要があると考えられる。

6. まとめ

本研究はバタフライのゴールタッチを定量化し、ゴールタッチの方法およびゴールタッチ直前に行う動作の有効性を検証することを目的とした。その結果、次の点が明らかとなった。

1. バタフライのゴールタッチの方法とゴールタッチ直前の動作を分類し、定量化することで、バタフライのゴールタッチ時に行われる動作の特徴を把握することができた。
2. ドルフィンキック動作やうねり動作の有効性は認められなかったが、ゴールタッチ直前の最後の指尖点の着水位置からゴール壁面までの距離を調節する必要性が示された。
3. ゴールタッチでの減速を避ける方法は、ダイレクトタッチおよびグライドタッチのい

ずれの場合においても、ゴールタッチ直前の最後の指尖点の着水位置からゴール壁面までの距離がストローク長に対して小さくなりすぎるのを避けることであると示された。

本研究の成果によって、理想的なバタフライのゴールタッチができなかった場合の次善策が明らかとなり、競泳のコーチング学への貢献を促すことができた。

文献

糸山直文（1987）初心者のための水泳教室，高橋書店：東京，102.

河合正治（1990）勝負を決めるスタート・ターン技術、スイミング&ウォーターポロマガジン，14（12），ベースボールマガジン社：東京，66-69.

Maglischo. E. W. (2003) SWIMMING FASTEST, Human Kinetics : United States, 165-167.

野村照夫（1996）平泳ぎの科学—スタート、ターン、フィニッシュについて—，平泳ぎに関する調査研究報告書，31-41.

奥野景介，生田泰志，本部洋介，石川昌紀，若吉浩二，野村照夫（1999）男子 50m 自由形におけるストロークパラメータの変動に関する研究-1997 年度日本選手権において-，スポーツ方法学研究，12（1），17-24.

Sanders. R. H., Cappaertl. J. M., Devlini. R. K. (1995) WAVE CHARACTERISTICS OF BUTTERFLY SWIMMING, J. Biomechanics 28, (1), 9-16.

Seifert L., Boulesteix L., Chollet D, Vilas-Boas JP. (2008) Differences in spatial-temporal parameters and arm-leg coordination in butterfly stroke as a function of race pace, skill and gender, Human Movement Science, 27 (1), 96-111.

杉本誠二，中島求，市川浩，三輪飛寛，武田剛，野村武男（2008）シミュレーション解析による水中ドルフィンキック時の足関節底屈角度の増加がパフォーマンスに与える影響，体育学研究，53，51-60.

田中孝夫監（1993）速くきれいに泳ぐ水泳教室（第2版），高橋書店：東京，106-109.

Troup, J. P. (1990) World Championships Video Analysis of Competitive Swimming, International Center for Aquatic Research annual The International Center for Aquatic Research 1989-91,

United States Swimming Press : Colorado Springs, 81-100.

椿本昇三 (1989) ビギナーズ・スイミング, ナツメ社 : 東京, 158.

若吉浩二, 劉華, 森弘暢, 福本隆行, 小野桂市 (2001) 日本選手権における競泳 100m 自由形レースにおける泳速度とストローク変数の変化に関する研究, スポーツ方法学研究, 14 (1), 33-40.

吉村豊, 高橋雄介 (1996) スイミング, 池田書店 : 東京, 100-103.

財団日本水泳連盟編 (2005) 水泳コーチ教本 (第2版), 大修館書店 : 東京, 173-175.

財団法人日本水泳連盟編 (2006) 水泳教師教本 (第3版), 大修館書店 : 東京, 31-33.

財団法人日本水泳連盟編 (2010) 水泳指導教本 (第3版), 大修館書店 : 東京, 99-100.

第3章 モノフィン着用歴のない競泳選手におけるアプニア泳動作の特徴

1. 先行研究

大下ら (2008) は、世界選手権の決勝進出者と非進出者のレースにおけるキック頻度とキック長 (1 キックで進む距離) を比較した。その結果、キック頻度には有意な差が認められなかったことに対し、キック長には決勝進出者の方が有意に長いことを示した。キック長を長くする方法として、Rejman and Ochmann (2007) は、シミュレーション手法を用いた分析により、股関節伸展および膝関節屈曲の角速度が速く、フィン先端の加速度が大きい場合、泳速度が速いことを示した。また、このように、フィンスイミング競技で速い速度を獲得するためには、より大きな推進力を獲得する必要がある。

泳動作と泳速度の関係について、Nicolas (2010) は1キックサイクル中の速度変動を示し、上方にキックする際よりも、下方にキックする際の方が高い速度が得られることを示した。Rejman and Ochman (2009) は、シミュレーション手法を用いて、最適なモノフィンの面と水平面の成す角度を示した。Rejman (2013) はフィンの先端がシミュレーションで得られた範囲の逸脱程度が小さいほど、泳速度が速いことを示した。これらのことから、泳動作の行い方によっても泳速度を高めることができると考えられる。

一方、Nicolas et al. (2007) は、アプニア泳法において、振幅の増大により、自己推進時抵抗が大きくなることを示し、Nicolas and Bideau (2009) は、サーフィス泳法でも同様の結果が得られたことを示した。つまり、振幅を大きくすることによって、受ける抵抗が大きくなり減速することがわかる。このことから、推進力を発揮しながら、抵抗を小さくする必要のあることがわかる。ところが、Gautier et al. (2004) は、トレーニングレベルの低い選手は上級者と比較して、上肢の振幅が大きく、下肢の振幅が小さいことを示した。上級者は、自己推進時抵抗を小さくする泳ぎを行っていると推察される。

このように、上級者の泳ぎの特徴や速く泳ぐための方法は明らかにするため、泳速度と泳動作の関係が明らかにされてきた。ところが、フィンスイミング初心者の泳ぎの特徴を明らかにした研究はみられない。フィンスイミング初心者において身体部位またはモノフィンの振幅と泳速度との間に相関関係が認められた場合、その部位の振幅に関する指導を行う必要があると考えられる。しかし、相関関係が認められない場合、指導の優先順位が低いと考えられる。泳速度、身体およびモノフィンの振幅、キック頻度、キック長との関係を明らかにすることによって、モノフィン泳未経験者の身体部位の振幅に関する指導を

充実させることができると考えられる。

2. 目的

本章の目的は、モノフィン着用歴のない高校競泳選手を対象にフィンスイミング競技のアプニア泳法を実施させることによって、身体部位の振幅と泳速度、キック頻度およびキック長を算出し、時間的・空間的パラメータの相互関係を検証した。

3. 方法

本研究の遂行にあたり、京都工芸繊維大学のヒトを対象とする研究倫理審査委員会の承認を得た。さらに、参加者が属する高等学校の学校長、水泳部顧問および参加者の保護者、参加者に書面で研究参加への同意を得た。

(1) 対象

実験参加者は、男子 81 名（身長：1.70±0.05m, 体重：58.1±5.6kg, Fina Point : 412.5±107.2points）、女子 26 名（身長：1.59±0.03m, 体重：50.0±4.9kg, Fina Point: 479.9±108.5points）、計 107 名のモノフィン泳未経験の高校競泳選手であった。Fina Point は各競技種目の世界記録を基準にポイント化した指標である。Fina Point の算出方法を式 1-1 に示す。

$$\text{Fina Point} = \left(\frac{\text{the Base Time}}{\text{the Swim Time}} \right)^3 \times 1000 \quad (\text{式 3-1})$$

ここで、the Base Time は、Fina が世界記録と認めたタイムを示す。Fina は男女別、種目別、長水路（50m プール）もしくは短水路（25m プール）別に the Base Time を毎年発表する（International Swimming Federation, 2013a）。the Swim Time は泳者の実際の記録を示す。これにより、バタフライ、背泳ぎ、平泳ぎ、自由形などの異なる競技種目であっても、世界記録を基準とした泳力レベルで比較することができる。

(2) 実験システム

実験に先立ち、実験参加者自身でウォーミングアップを行わせた。その後、水中での安全に配慮して、それぞれの実験参加者にモノフィンの履き方と泳がずに水中を移動する方

法を指導した。試技は 25m アプニア泳を最大努力で泳がせた。撮影は、実験参加者の進行方向に対して右側方から、水中ビデオカメラ (SONY, HXR-MC1, 59.94 Hz) 1 台を用いて行われた。ビデオカメラは、実験参加者の右側方から、動作平面とビデオカメラの光軸が直行するように画角を固定し、三脚によって設置された。撮影区間は 7m から 11m の範囲とした。

(3) データ処理

1) データ算出

ビデオカメラで撮影された画像は、パーソナルコンピュータ (DELL 社製, Vostro460) に取り込み、ビデオ動作解析システム (DKH 社製, Frame DIAS-IV) を使用して分析された。画像上の 7 点 (右側の尺骨頭、肘関節、肩峰、大転子、膝関節、外踝、フィン先端) および 20 点のリファレンスマークを、毎秒 60 フレームで、参加者の身体部位の peak-to-peak を 1 サイクルとし、3 サイクルにわたってデジタル化した。得られた身体部分点の二次元座標は、2 次元 DLT 法を用いて、リファレンスマークをもとに実長換算した。最適遮断周波数は、アプニア泳がクロールのようなローリング動作がないと考えられるため、Butterworth Low-Pass Digital Filter を用いて 6Hz の範囲で平滑化した。

2) 関数近似

得られた身体部位の実座標とその時刻から、3 サイクル以上の波形を対象に、身体部位の鉛直成分の時系列データを正弦波で近似させた (式 3-2)。実験参加者 107 名の身体部位およびモノフィン先端の 7 点、計 749 の波形を対象に正弦波近似した結果、近似式で示した波形が実際の波形をどの程度説明できるのかを示す決定係数 r^2 の平均値は 0.93 ± 0.07 であった。このことから、アプニア泳動作の鉛直成分の時系列データを正弦波近似式で示せると考えられた。

$$z = a_1 \times \sin(b_1 \times t + c_1) + d_1 \times t + e_1 \quad (\text{式 3-2})$$

ここで、 a_1 は振幅/2、 b_1 は周波数、 c_1 は正弦波の起点、 d_1 は基線の傾き、 e_1 は基線の切片を示す。身体部位の振幅は $2a_1$ とした。キック頻度 (Hz) は身体部位の $b_1/2\pi$ の平均値とした。次に、大転子の水平成分の時系列データを一次関数直線で近似させた (式 3-3)。

$$y=a_2 \times t + b_2 \quad (\text{式 3-3})$$

水平速度（泳速度，m/s）は、 a_2 値とした。キック長（m）は泳速度をキック頻度で除することによって算出した。

（４）統計処理

統計処理は、男女別に身体部位の振幅、泳速度、キック頻度、キック長を対象にピアソンの積率相関分析を行った。なお、有意水準は5%未満とした。

4. 結果

泳速度、キック頻度およびキック長と身体部位の振幅との相関係数を表 3-1 に示した。男子の泳速度は尺骨頭、肘関節、肩峰、大転子、膝関節との間に相関関係が認められず、外果、フィン先端には有意な正の相関関係が認められた。女子の泳速度は肩峰、大転子との間に相関関係が認められなかったが、尺骨頭、肘関節との間に負の相関関係が認められ、膝関節、外果、フィン先端との間に正の相関関係が認められた。キック頻度は、男女ともに全ての身体部位との間に有意な負の相関関係が認められた。男子のキック長は、全ての身体部位との間に有意な正の相関関係が認められた。一方、女子のキック長は尺骨頭、肘関節との間に有意な相関関係は認められなかったが、肩峰、大転子、膝関節、外果、フィン先端の間には有意な正の相関関係が認められた。また、男女ともに下肢は強い正の有意な相関関係が認められた。

表 3-1 泳速度、キック頻度、キック長および身体部位の振幅との相関関係

男子	尺骨頭	肘関節	肩峰	大転子	膝関節	外果	フィンの先端
Velocity (m/s)	-.153	-.115	.070	.171	.134	.497 **	.409 **
Kicking Rate (Hz)	-.551 **	-.660 **	-.552 **	-.505 **	-.572 **	-.311 **	-.367 **
Kicking Length (m)	.448 **	.607 **	.687 **	.760 **	.767 **	.888 **	.862 **
女子							
Velocity (m/s)	-.434 **	-.415 **	.118	.245	.292 **	.591 **	.594 **
Kicking Rate (Hz)	-.570 **	-.660 **	-.554 **	-.565 **	-.551 **	-.242 *	-.270 *
Kicking Length (m)	.063	.186	.624 **	.772 **	.779 **	.803 **	.856 **

*:p<.05 **: p<.01

泳速度：水平速度（m/s）、キック頻度（1秒あたりのサイクル数，Hz）、キック長（1サイ

クルに進む距離, m)

5. 考察

泳速度と身体部位の振幅の関係について、男子は尺骨頭、肘関節、肩峰、大転子、膝関節、女子は肩峰および大転子の振幅と泳速度との間に相関関係が認められないことが示された。モノフィン泳未経験者の泳速度を高める場合、速度との関連がみられる部位を優先的に指導する方が良いと推察される。さらに、泳速度との関連がみられる部位に性差がみられた。Rejman and Ochmann (2007) は、“The need to intensify the angular velocity of thigh extension and dorsal flexion of the feet, to strengthen velocity of attack of the tail and to accelerate the attack of the distal part of the fin.” と述べた。泳速度を高めるためには下肢の筋パワーが必要であることがわかる。また、立 (2003) は等尺性膝関節伸展トルク、脚伸展パワーを測定し、女子は男子と比較して低値であることを示した。本研究における女子の実験参加者は、泳速度を高めるために必要な筋発揮が不足している可能性があると考えられる。競技レベルの違いによる観点から、Geladas et al. (2004) は、トレーニングレベルの低い初心者は上級者と比較して、上肢の振幅が大きく、下肢の振幅が小さいことを示した。本研究の結果は、男女ともに下肢の振幅と泳速度との間に関連がみられる点で、一致していると言える。しかし、上肢の振幅について、女子は尺骨頭および肘関節の振幅と泳速度との間に負の相関関係が認められたものの、男子の場合が認められなかった点で、先行研究とは一致しなかった。これは、モノフィン泳未経験者の男子の特徴であると考えられる。女子はフィンスイミングの競技レベルによる違いが認められたものの、男子には認められない可能性が示された。このように、身体部位の振幅と泳速度との関係について、性差による違いが認められ、競技レベルによっても異なる可能性が示された。

Nicolas et al. (2007) は振幅とキック頻度の間にトレードオフが存在することを示した。身体部位の振幅が異なれば、キック頻度およびキック長も異なると考えられる。本研究の結果、モノフィン泳未経験者において、キック頻度と身体部位の振幅との間に負の相関関係が認められ、トレードオフがあることが明らかとなった。そのため、泳速度を高めるために振幅を大きくした場合でも、同時にキック頻度の低下を招き、泳速度が向上しない可能性がある。これらのことから、モノフィン泳未経験者が泳速度を高める場合、下肢の振幅を大きくするドリル練習と最大限キック頻度を高めるように泳ぐスピードトレーニングをそれぞれ行う必要があると考えられる。

一方、身体部位の振幅とキック長の関係については報告されていない。大下ら（2008）は世界選手権 50m サーフイスの決勝進出者と非進出者のレースを比較し、キック頻度に違いは認められないものの、キック長に違いがあることを明らかにした。しかし、振幅については検討されなかった。振幅を算出する方法は、ビデオカメラから 2 次元 DLT 法を用いて算出される手法（Nicolas and Bideau, 2009）が主に用いられている。この場合、実験場を設定する手間と時間がかかることやフィンスイミング競技のレースでは行えない欠点がある。一方、キック長は泳速度をキック頻度で除することによって算出することができる。泳速度は距離をその距離の記録で除することによって算出でき、キック頻度はキック数を記録で除することで求められる。つまり、記録とキック数を計測することができれば、簡易的な泳速度、キック頻度およびキック長を算出することが可能である。キック長と振幅との間に関係性が認められれば、キック長から下肢の振幅を推定することが可能となる。本研究の結果、男女ともに下肢の振幅とキック長との間に強い有意な正の相関関係が認められた。このことから、キック長を算出することによって振幅を推定できる可能性が示された。今後、キック長の値から下肢の振幅を推定できれば、比較的簡易に算出できるキック長をトレーニング指標として利用できると考えられる。

6. まとめ

本章は、モノフィン泳未経験の高校競泳選手を対象にフィンスイミング競技のアブニア泳法を実施させることによって、身体部位の振幅と泳速度、キック頻度およびキック長を算出し、時間的・空間的パラメータの相互関係を検証することを目的とした。その結果、次の 3 点が明らかとなった。

1. 男子は尺骨頭、肘関節、肩峰、大転子、膝関節、女子は肩峰および大転子の振幅と泳速度との間に相関関係がみられないことから、泳速度と関係がない部位があることが示された。
2. キック頻度と振幅の間に負の相関関係が認められ、モノフィン泳未経験者においてもトレードオフが存在することが明らかとなった。
3. 下肢の振幅とキック長の間に強い有意な正の相関関係が認められ、キック長から振幅を推定できる可能性が示された。

文献

Gautier, J., Baly, L., Zanone, P. G., Watier, B. (2004) . A KINEMATIC STUDY OF FINSWIMMING AT SURFACE. *Journal of Sports Science and Medicine*, 3, 91-95.

International Swimming Federation (2013a) FINA Point Scoring 2013 Women, Long Course (50m) . Retrieved November 27, 2013, from International Swimming Federation

Web site: http://www.fina.org/H2O/docs/FINApoints/2013_LCM_Women.pdf

Nicolas, G., Bideau, B., Colobert, B., Berton, E. (2007) How are Strouhal number, drag, and efficiency adjusted in high level underwater monofin-swimming?. *Human movement science*, 26 (3) , 426-442.

Nicolas, G., Bideau, B. (2009) A kinematic and dynamic comparison of surface and underwater displacement in high level monofin swimming. *Human movement science*, 28 (4) , 480-493.

大下和茂, ロスみさき, 小泉和史, 矢野澄雄, 檜本俊兵, 高橋康輝, 川上雅之 (2008) 50m サーフィスにおける Waving 頻度, Waving 長および泳速の関係. *水泳水中運動科学*, 11(1), 14-18.

Rejman, M., Ochmann, B. (2007) Functional model of monofin swimming technique based on the construction of neural networks. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(2) , 193-203.

立正伸, 牛山潤一, 宮谷昌枝, 久野譜也, 金久博昭, 福永哲夫 (2003) 膝関節伸展トルク および脚伸展パワーにおける年齢差および性差. *体力科学*, 52, 141-148.

第4章 モノフィン着用歴のない競泳選手における フィンスイミングの指導介入

1. 先行研究

フィンスイミングの初心者を対象とした研究は、サーフィス種目の上級者とトレーニングレベルの低い選手の動作を比較した報告 (Gautier et al., 2004) のみであり、指導に関する研究は報告されていない。そのため、フィンスイミングの初心者指導は、上達に必要な指導方法や指導時のポイントが不明確な状態で行われていることがわかる。稲垣と岸 (2011) は、着衣泳に関する実践的な研究、矢野と三村 (2005) は、安全な臨海学舎を目指した実践的な研究を行い、指導現場に必要な方法や情報を整理、把握した。フィンスイミングに必要な指導を探求する方法は、フィンスイミング体験会で実際に行われている指導を実施することによって、体験会の参加者が行った動作を評価し、参加者が感じた内省を整理、把握する必要があると考えられる。動作の特徴は、バイオメカニクス的な研究を行うことによって数値で示すことができるが、蹠踏をきたすポイントについては、参加者の内省を聞く必要があると考えられる。松尾 (2010) は、投球動作指導における着眼点の分類と指導者間の意見の共通性を定性的な観察法によって整理・分類した。体験者の内省を整理し、泳者が感じる難しさが明らかになれば、フィンスイミング体験会時の指導のポイントになると考えられる。

これらのことから、フィンスイミングの普及・発展には、モノフィン着用歴のない競泳選手の動作の特徴や蹠踏をきたすポイントを明らかにする必要があると考えられる。その結果、フィンスイミング競技の経験豊富な選手や指導者でなくとも、フィンスイミング競技の指導が可能となり、フィンスイミング普及活動の一助となる。

2. 目的

本章は、モノフィン着用歴のない高校女子競泳選手を対象にフィンスイミング授業を行い、泳速度、キック長およびキック頻度の変化、参加者の泳動作の変容と参加者が抱える課題を明らかにすることを目的とした。

3. 方法

本研究の遂行にあたり、京都工芸繊維大学のヒトを対象とする研究倫理審査委員会の承

認を得た。さらに、参加者が属する高等学校の学校長、水泳部顧問および参加者の保護者、参加者に書面で研究参加への同意を得た。

(1) フィンスイミング授業の参加者

フィンスイミング授業は、A 高等学校のスポーツ総合演習（水泳）の授業の一部として行われた。その参加者は年間を通じて競泳の練習を行っており、モノフィン着用歴のない高等学校女子競泳選手 12 名（身長：1.59±0.06m，体重：51.4±6.7kg，水泳歴：12.5±4.2 年，FINA Point：572.6±161.7 ポイント）であった。参加者の競技レベルは、都道府県大会出場レベルからインターハイ出場レベルであった。

(2) 授業の内容

1) 指導プログラム

フィンスイミング授業（授業）は、25m 温水室内プール（7 コース）にて、1 時間の指導を週 1 回の頻度で 5 週間連続して実施された。この指導プログラムは、フィンスイミング競技の競技歴 6 年および特定非営利活動法人日本水中スポーツ連盟の第 3 級の審判資格を持った経験者 1 名（競技最高成績：2007 年フィンスイミング世界選手権 第 5 位、元アジア記録保持者）によって行われた。

表 4-1 授業の各日程の主な指導事項

授業	指導事項
1回目	モノフィンの取り扱い方 壁の蹴り方
2回目	上肢を上下に動かす 手足の動作のタイミングを合わせる
3回目	2回目の復習
4回目	お尻を上方に動かす 下方までキックをする 膝を曲げすぎない
5回目	4回目の復習

表 4-2 授業の1日の流れ

時刻	授業の1日の流れ
13:50 ~ 14:00	本日の内容説明
14:00 ~ 14:10	ウォーミングアップ
14:10 ~ 14:40	アプニア泳の実践と指導
14:40 ~ 15:00	25mアプニア泳の測定
15:00 ~ 15:10	内省報告の記入
15:10 ~ 15:20	クールダウン・終了

表 4-1 に授業の各日程の主な指導内容を示した。第 1 回目は「アプニア泳法の実施と指導」の前に経験者 1 名による模範泳法を行った。その後、モノフィンの破損や参加者の安全のため、モノフィンの履き方と脱ぎ方（図 4-1）、陸上を座って移動する方法、水中でつま先やフィン先で立たないこと、泳がずに水中を移動する場合は、背中の方へ移動することを指導した。次に、スタートする際に、つま先で壁を蹴るとフィンがたわみ、推進力を獲得することができないため、踵を壁につけて蹴るように指示した。第 2 回目は、上肢の使い方の指導を行った。モノフィン着用によって、より筋力が必要となり、水面および水中での足部の振幅が小さくなる可能性がある。そこで、上半身も大きく動かすことによって、上肢と下肢が連動して動き、足部やフィンの振幅が増大することをねらい、泳速度を向上させる目的で行った。また、運動実践現場では、手部と足部を同じタイミングで振幅させれば、全身の筋力を発揮しやすく、振幅が増大できると考えられている。そのため、上半身を動かすタイミングは、手部と足部を同じタイミングで振幅させるよう指導した。第 3 回目は、第 2 回目で行った内容の確認・復習を行った。第 4 回目は、モノフィンの振幅が主に身体よりも下方にキックできるように、お尻を上方に動かすこと、下方までキックを行うこと、膝を曲げすぎないことを指導した。膝を曲げすぎると、進行方向に対して足部およびモノフィンが垂直に位置し、水の抵抗を大きく受け、減速すると考えられる。第 5 回目は 4 回目で行った内容の復習を行った。

次に、表 4-2 に授業の 1 日の流れを示した。「アプニア泳法の実施と指導」では、参加者にビーフィンを着用して 25m を 16 回泳ぐ練習とモノフィンを着用して 25m を 8 回泳ぐ練習を行わせた。これらの練習間には十分な休息を設け、休息中に参加者に対して動作の指導を行った。その後、十分な休息をとり、参加者に 25m 潜行（アプニア泳）を最大努力泳

で1回行わせた。

フィンのはきかた

■ モノフィン編

モノフィンは、自分の足サイズより少し小さめの物を選ぶ場合がほとんどなので、力任せにはくとフィンは破損につながる。

はき方は、脱ぎ方が数種類あるが、ここでは基本的な方法を記載する。

①はくための準備

フィンははきやすくするため、ワセリンや石鹸をほんの少量使用する。

摩擦を減らすために、ビニールやソックス等を使用したりもする場合もある。



ブーツの中と足の甲の周りに少量塗ると容易にはける。

②はき方

フィンに対して足をまっすぐ入れてまっすぐ力を加える。

写真のように斜めに足をいれ、力を加えると破損の原因やはきにくくなる。

間違っはき方



正しいまっすぐはき方



片足ずつ、まっすぐ



③脱ぎ方

はき方の逆の方法でフィンを抜く。



かかとの部分はずしてからまっすぐ片足ずつフィンを脱ぐようにする。

図 4-1 モノフィンの履き方と脱ぎ方

2) 参加者の内省報告と面接調査

参加者による内省報告は、アプニア泳終了後直ちにプールサイドにて実施された。その記入用紙を図 4-2 に示した。参加者は動作に関する難しかったこと、うまくできたこと、感想を自由に記入させた。内省報告書に記入された内容を正確に把握するため、全授業日程終了後、10 分程度の面接調査を実施した。内省報告書に記載されたアプニア泳法の動作の難しかったこと、うまくできたことについて、具体的な回答ができるように質問を行った。

第 年 氏名 ()

- 難しかったこと書いてください。
- うまくできたことを書いてください
- その他、感想などを書いて下さい。

図 4-2 内省報告の調査用紙

(3) データの取得

1) アプニア泳の記録

アプニア泳の記録は、参加者の足部がプール壁面から離れ、手部がプール壁面に触れるまでをストップウォッチ（SEIKO 社製，SVAS003）を用いて計測した。

2) 撮影方法

ハイスピードカメラ（Casio 社製，EX-F1，撮影速度 30Hz，シャッタースピード 1/2000 秒）を用いて、参加者の進行方向に対して右側方にある水中窓の外側から撮影した。カメラは 4 コースの 7m 地点から 11m 地点までが撮影できるように三脚で画角を固定し、動作平面とビデオカメラの光軸が直交するように設置した。

3) 面接調査

参加者の内省を整理するため、全5回の内省報告を集計した。内省報告の集計データをもとに、面接調査は実施された。その内容は、ICレコーダ（SONY社製、ICD-UX512）を使用して録音された。

(4) データ処理

1) ビデオカメラから取得した映像

撮影されたビデオ画像は、パーソナルコンピュータ（DELL社製、Vostro460）に取り込み、ビデオ動作解析システム（DKH社製、Frame DIAS-IV）を用いて画像上の7点（右側の尺骨頭、肩峰、大転子、膝関節、外踝、第五中足骨頭、フィンの先端）および20点のリファレンスマークを、毎秒30フレームで、参加者の身体部位の peak-to-peak を1サイクルとし、3サイクルにわたってデジタル化した（図4-3）。得られた身体部分点の二次元座標は、2次元DLT法を用いて、リファレンスマークをもとに実長換算した。最適遮断周波数は、参加者のキック動作の周波数が1~2Hz程度であるため、Butterworth Low-Pass Digital Filter を用いて4Hzの範囲で平滑化した。

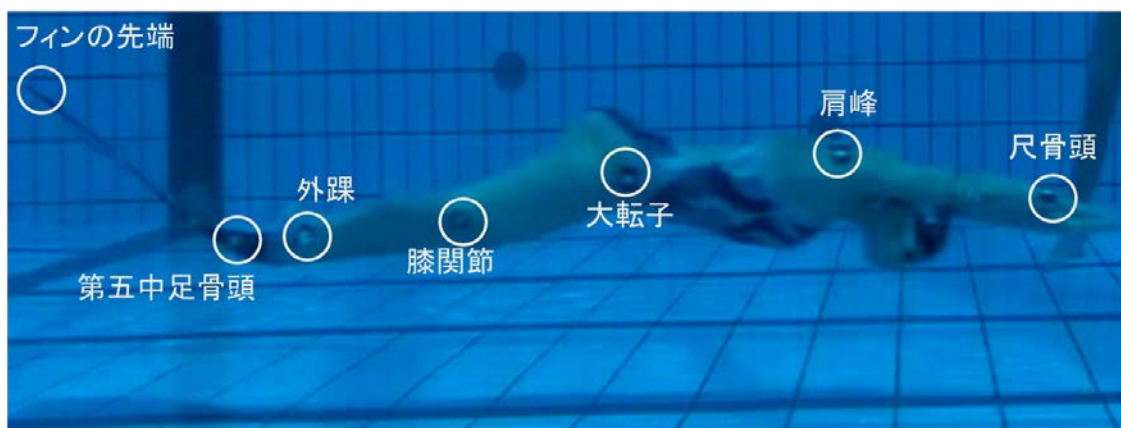


図 4-3 デジタル化した身体部位

2) データ算出

得られた身体部位の実座標とその時刻から、3サイクル以上の波形を対象に、身体の鉛直成分の時系列データを正弦波で近似させた（式4-1）。

$$z = a_1 \times \sin(b_1 \times t + c_1) + d_1 \times t + e_1 \quad (\text{式 4-1})$$

ここで、 a_1 は振幅/2、 b_1 は周波数、 c_1 は正弦波の起点、 d_1 は基線の傾き、 e_1 は基線の切片を示す。その詳細について、 a_1 、 b_1 、 c_1 は図 4-4、 d_1 、 e_1 は図 4-5 に示した。身体の振幅 (m) は $2a_1$ とした。1 サイクルに要する時間として、キック頻度 (Hz) は $b_1/2\pi$ とした。尺骨頭に対する身体およびフィンの位相差 (位相, deg.) は c_1 より算出された。時間あたりの e_1 を基準とした深度変化 (深度変化, m/s) として d_1 を用いた。 d_1 の値が正の場合、泳者は水面に向かって泳いでいることを示し、負の場合は水底に向かって泳いでいることを示している。デジタイズ開始地点の時間を 0 とした時の身体の深さ (深度, m) を示す指標として e_1 を用いた。

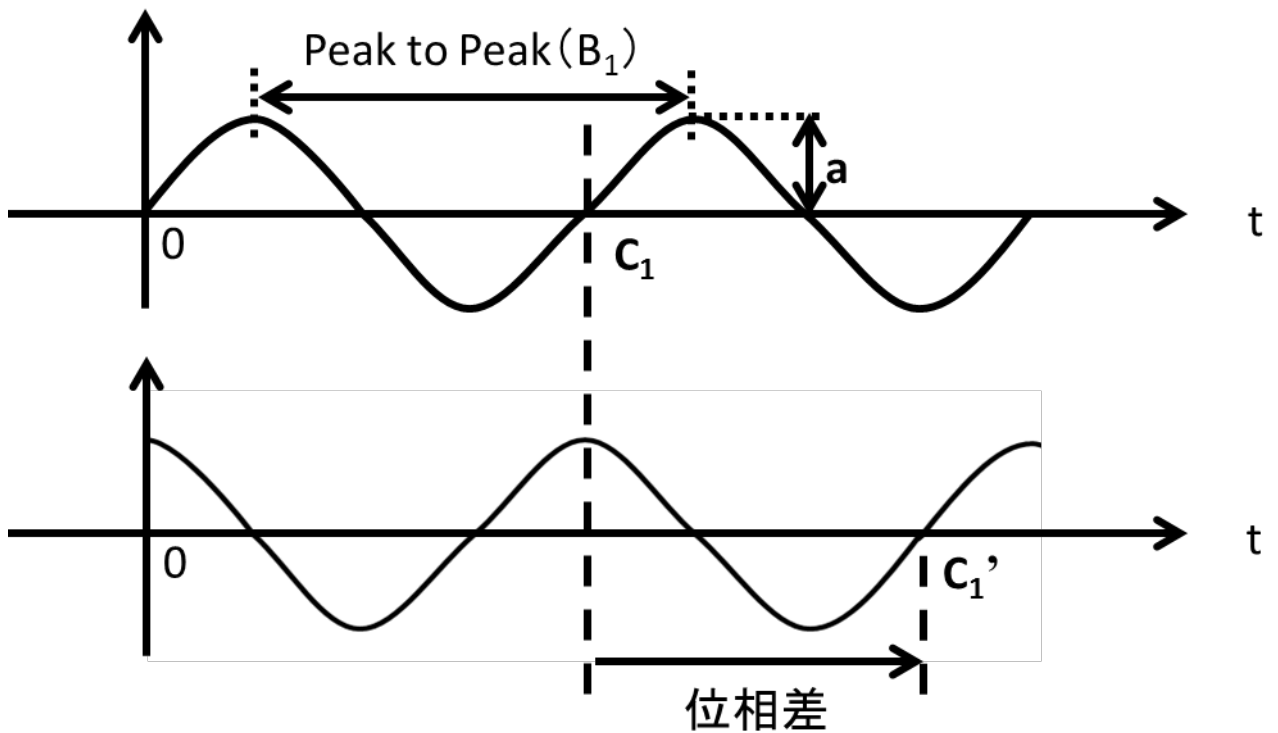


図 4-4 $z = a_1 \times \sin(b_1 \times t + c_1) + d_1 \times t + e_1$ (式 4-2) の a_1 、 b_1 、 c_1 の説明

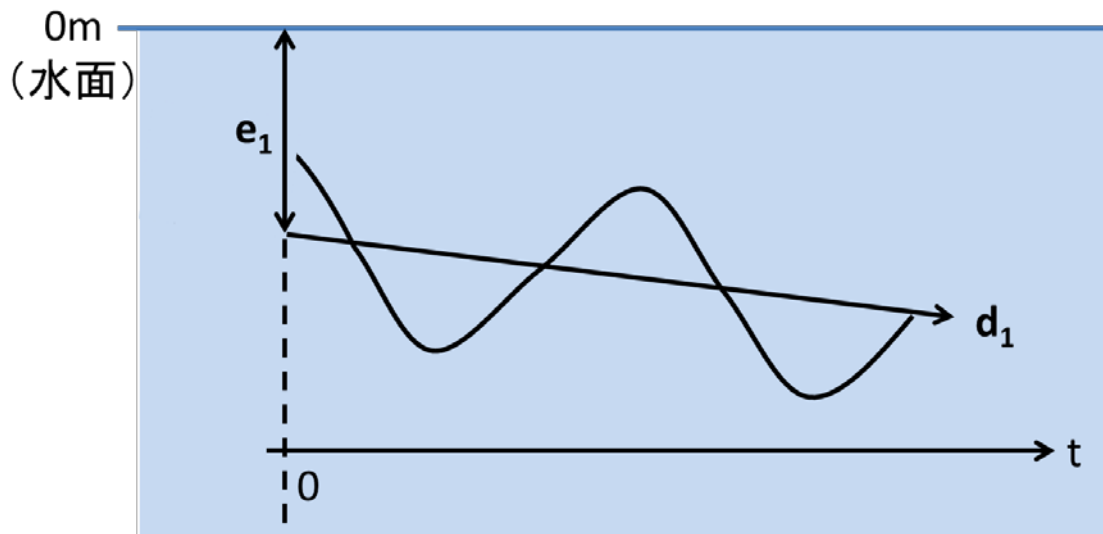


図 4-5 $z=a_1 \times \sin(b_1 \times t+c_1)+d_1 \times t+e_1$ (式 4-2) の d_1 、 e_1 の説明

次に、臀部の水平成分の時系列データを一次関数直線で近似させた (式 4-2)。

$$y=a_2 \times t+b_2 \quad (\text{式 4-2})$$

泳速度 (m/s) は、 a_2 値とした。さらに、泳速度をキック頻度で除することによって、1 サイクルに進む距離としてキック長 (m) を算出した。算出されたアプニア泳の記録、KV、KL、KR、振幅、位相、深度変化、深度について、1 回目と 2 回目、1 回目と 3 回目、1 回目と 4 回目および 1 回目と 5 回目の変化量を算出した。

3) 内省報告および面接調査

川喜田 (1967) の KJ 法を参考に、参加者のアプニア泳動作に対する難しさを整理した。IC レコーダで録音した音声をテキスト化し、アプニア泳動作を行う際の難しさに関する内容を抽出した。抽出された内容を「キックに関する内容」や「上半身に関する内容」等のようにキーワードで名前をつけ、グループに分類した。グループ化した内容を泳スキルに関する内容か、周辺スキルに関する内容かの観点と、動作に関する難しさについて述べた内容か、成就に関する難しさについて述べた内容かの観点で分類した。

(5) 統計処理

キネマティクスデータが授業を通した変化を比較するため、対応のある一要因分散分析を行った。球面性が仮定できない場合は、Greenhouse-Geisser の検定によって自由度を調節した。主効果が認められた場合の多重比較検定には、Scheffe の検定を用いた。

アプニア泳の記録における 1 回目に対する 2 回目から 5 回目までの変化量と KV、KL、KR、振幅、位相、深度変化および深度の 1 回目に対する 2 回目から 5 回目までの変化量の関係を明らかにするために、ピアソンの積率相関係数を算出した。また、危険率は 5% 未満とした。

4. 結果

(1) パフォーマンスの変化

アプニア泳の記録は、1 回目 (14.21±2.48s)、2 回目 (14.25±1.93s) および 3 回目 (13.74±1.66s) で、有意な差は認められなかったが、4 回目 (12.52±1.37s) および 5 回目 (11.83±1.42s) は 1 回目、2 回目、3 回目と比較して、有意に記録が向上した (図 4-6)。泳速度の結果は、図 4-7 に示した。泳速度は、1 回目 (1.85±0.24m/s)、2 回目 (1.78±0.23m/s) および 3 回目 (1.84±0.22m/s) の間に、有意な差が認められなかった。しかし、4 回目 (1.97±0.20m/s) は 1 回目、2 回目および 3 回目と比較して、有意に速かった。さらに、5 回目 (2.09±0.21m/s) は、4 回目よりも有意に速かった。アプニア泳記録の変化量と KV の変化量の関係について、ピアソンの積率相関分析を行った結果、2 回目 ($r=-.588, p<0.05$)、3 回目 ($r=-.686, p<0.05$)、4 回目 ($r=-.781, p<0.01$) および 5 回目 ($r=-.628, p<0.05$) であった。

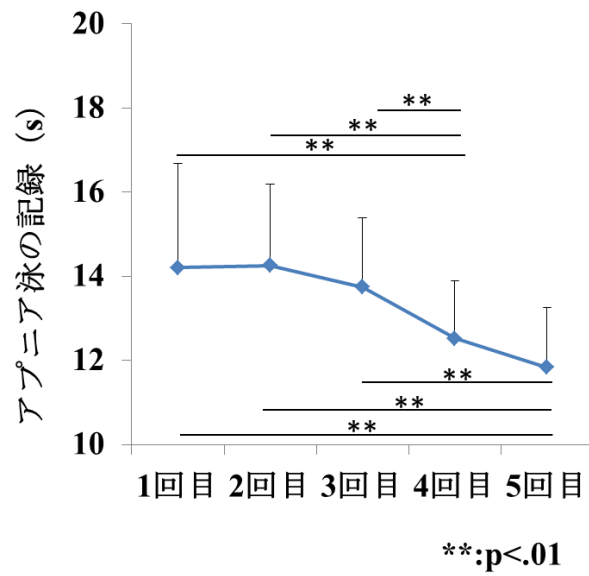


図 4-6 各日程のアプニア泳の記録

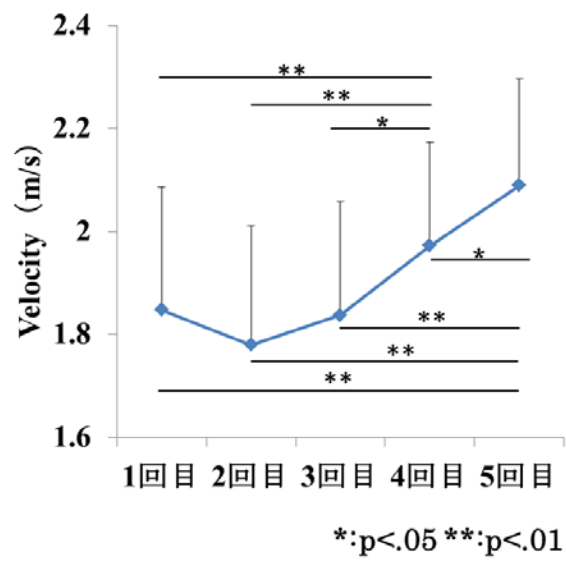


図 4-7 各日程の泳速度

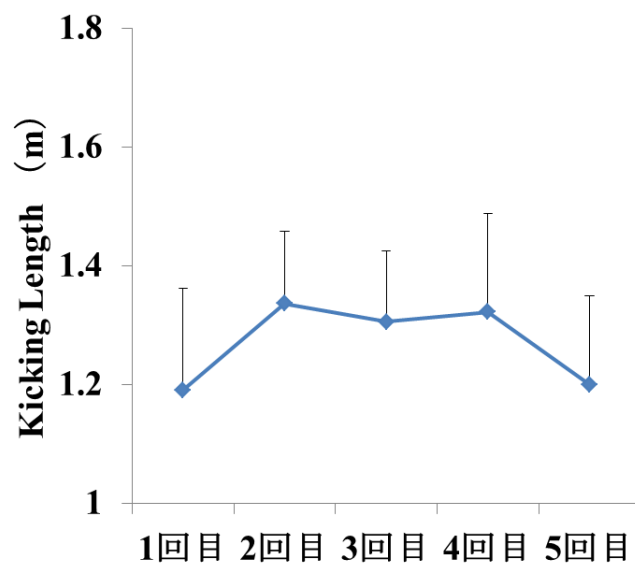
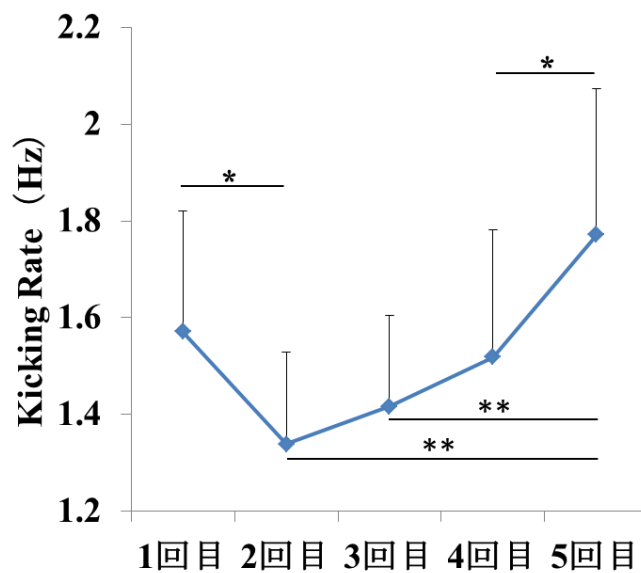


図 4-8 各日程のキック長



*:p<.05 **:p<.01

図 4-9 各日程のキック頻度

キック長は授業を通して有意な変化が認められなかった (図 4-8)。アプニア泳記録の変

化量と KL の変化量の関係について、ピアソンの積率相関分析を行った結果、有意な相関関係は認められなかった（2回目： $r=-.375$, n.s., 3回目： $r=-.258$, n.s., 4回目： $r=-.533$, n.s., 5回目： $r=-.492$, n.s.）。一方、キック頻度は、1回目（ $1.57\pm 0.25\text{Hz}$ ）から2回目（ $1.34\pm 0.19\text{Hz}$ ）に向けて有意に低下した後、徐々に増大する過程を経て、5回目（ $1.77\pm 0.30\text{Hz}$ ）には1回目と有意な差がみられなかった（図 4-9）。アプニア泳記録の変化量と KR の変化量の関係について、ピアソンの積率相関分析を行った結果、有意な相関関係は認められなかった（2回目： $r=-.061$, n.s., 3回目： $r=-.042$, n.s., 4回目： $r=-.182$, n.s., 5回目： $r=-.096$, n.s.）。

（2）動きの特徴を示すパラメータの変化とパフォーマンスとの関係

1) 身体の振幅

身体の振幅を表 4-3 に示した。上肢は、1回目（尺骨頭： $0.11\pm 0.05\text{m}$ 、肩峰： $0.08\pm 0.03\text{m}$ ）から2回目（尺骨頭： $0.16\pm 0.05\text{m}$ 、肩峰： $0.10\pm 0.03\text{m}$ ）で大きくなり、小さくなる傾向を経て、5回目（尺骨頭： $0.09\pm 0.05\text{m}$ 、肩峰： $0.07\pm 0.02\text{m}$ ）には2回目と有意に小さく、1回目と有意な差が認められなかった。下肢（大転子、膝関節、外踝、第五中足骨頭）は授業を通して有意な変化がみられなかったが、フィンの先端は1回目（ $0.26\pm 0.06\text{m}$ ）と比較して、2回目（ $0.33\pm 0.04\text{m}$ ）および4回目（ $0.33\pm 0.04\text{m}$ ）で有意に大きくなった。アプニア泳記録の変化量と身体の振幅における変化量の関係について、ピアソンの積率相関分析の結果を示した（表 3-4）。第五中足骨頭の振幅とアプニア泳記録との間が、全授業を通して、有意な負の相関関係が認められた。一方、尺骨頭の振幅とアプニア泳記録との間は、授業の後半（4回目、5回目）に有意な負の相関関係が認められた。

表 4-3 各日程の振幅

		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	F Value	多重比較
振幅 (m)	尺骨頭	0.11±0.05	0.16±0.05	0.14±0.06	0.13±0.05	0.09±0.05	6.866 **	1<2, 2>5
	肩峰	0.08±0.03	0.10±0.03	0.09±0.02	0.09±0.02	0.07±0.02	4.824 **	1<2, 2>5
	大転子	0.15±0.04	0.18±0.03	0.17±0.03	0.16±0.03	0.13±0.04	4.205 *	n.s.
	膝関節	0.25±0.05	0.29±0.04	0.27±0.04	0.27±0.03	0.25±0.04	2.753	
	外踝	0.27±0.06	0.32±0.04	0.32±0.04	0.31±0.03	0.30±0.05	3.413	
	第五中足骨頭	0.28±0.07	0.34±0.05	0.33±0.05	0.34±0.04	0.32±0.05	3.899 *	n.s.
	フィンの先端	0.26±0.06	0.33±0.04	0.32±0.06	0.33±0.04	0.30±0.04	3.015 *	1<2,4

表 4-4 振幅の変化量とアプニア泳記録の変化量との積率相関係数

	2回目	3回目	4回目	5回目
尺骨頭	-.092	-.526	-.615 *	-.655 *
肩峰	.026	-.332	-.475	-.522
大転子	-.482	-.419	-.536	-.647 *
膝関節	-.621 *	-.298	-.543	-.546
外踝	-.725 **	-.570	-.598 *	-.679 *
第五中足骨頭	-.754 **	-.647 *	-.658 *	-.674 *
フィンの先端	-.620 *	-.389	-.476	-.551

*:p<.05, **:p<.01

2) 上肢と下肢を動かすタイミング

身体の位相を確認するため、尺骨頭に対する肩峰、大転子、膝関節、外踝、第五中足骨頭およびフィンの先端の位相を表 4-5 に示した。位相が 360deg の場合、尺骨頭と下方へ移動するタイミングが同じであることを示す。尺骨頭と第五中足骨頭との位相は、1 回目 (391.7±34.7deg) と比較して 4 回目 (365.3±28.8deg) で位相が有意に小さくなった。アプニア泳の記録と尺骨頭に対する身体の位相との関係について、5 回目の大転子の位相 ($r=-.772, p<.01$) に有意な負の相関関係が認められた (表 3-6)。

表 4-5 各日程の尺骨頭に対する身体およびフィンの先端の位相

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	F Value	多重比較
位相 (deg) 肩峰	82.9±29.8	78.8±23.9	73.6±20.1	80.0±22.0	84.0±26.2	1.267	
大転子	218.4±35.7	210.1±32.5	207.4±24.9	207.5±25.9	215.5±28.4	1.714	
膝関節	284.8±31.9	274.8±28.3	274.4±23.4	276.8±27.5	289.1±31.3	3.309	*
外踝	356.5±29.0	341.1±26.3	341.0±24.4	342.5±30.9	355.3±33.9	2.831	*
第五中足骨頭	391.7±34.7	373.6±23.1	380.6±22.1	365.3±28.8	383.8±35.3	3.487	*
フィンの先端	473.4±49.8	478.7±35.5	469.2±41.1	464.2±41.2	510.1±72.5	3.015	*

表 4-6 位相の変化量とアプニア泳記録の変化量との積率相関係数

	2回目	3回目	4回目	5回目
肩峰	-.195	-.432	-.105	-.342
大転子	-.138	-.557	-.400	-.772 **
膝関節	-.173	-.485	.025	-.278
外踝	-.104	-.240	.380	.074
第五中足骨頭	-.144	-.207	.285	.205
フィンの先端	.272	.114	.229	.265

** : p<.01

3) 深度変化と潜行深度

身体の深度変化確認するため、表 3-7 に深度変化を示した。深度変化は値がほぼ 0 であり、有意な差は認められなかった。したがって、参加者はほぼ水平に進行していたことを示す。また、アプニア泳記録と深度変化は全ての日程で関係がみられなかった (表 3-8)。

表 4-7 各日程の深度変化

		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	F Value
深度変化 (m/s)	尺骨頭	0.00±0.04	0.00±0.03	0.02±0.02	0.01±0.03	0.00±0.03	1.321
	肩峰	0.00±0.04	0.00±0.03	0.01±0.02	0.01±0.03	0.00±0.03	0.766
	大転子	0.00±0.04	0.01±0.04	0.01±0.03	0.02±0.04	0.00±0.03	0.745
	膝関節	0.00±0.04	0.00±0.05	0.02±0.03	0.02±0.05	0.00±0.05	0.548
	外踝	0.00±0.05	0.00±0.06	0.01±0.04	0.01±0.05	0.01±0.06	0.218
	第五中足骨頭	0.00±0.05	0.00±0.06	0.01±0.04	0.01±0.05	0.00±0.07	0.234
	フィンの先端	0.00±0.06	-0.01±0.07	0.01±0.06	0.01±0.05	0.01±0.07	0.276

表 4-8 深度変化の変化量とアプニア泳記録の変化量との積率相関係数

	2回目	3回目	4回目	5回目
尺骨頭	-0.363	-.026	-.184	-.002
肩峰	-0.372	-.118	-.159	-.102
大転子	-.221	-.177	-.058	-.077
膝関節	-.123	-.169	-.021	-.024
外踝	-.349	-.195	-.273	.018
第五中足骨頭	-.217	-.172	-.298	.009
フィンの先端	-.344	-.201	-.351	-.080

潜行深度の変化を確認するため、表 4-9 に深度の結果を示した。上肢 (尺骨頭、肩峰) の深度は 2 回目、3 回目で深いが、下肢 (大転子、膝関節、外踝、第五中足骨頭) とフィンの先端には有意な差が認められなかった。これは、上肢が前傾し、下肢が水平を保つ傾向にあることを示す。4 回目および 5 回目は、尺骨頭、肩峰、大転子、膝関節、外踝、第五中足骨頭およびフィンの先端の深度がほとんど変わらない傾向であった。これは、身体が水平に近づいていることを示す。また、アプニア泳の記録と深度の関係について、全ての日程で関係がみられなかった (表 4-10)。

表 4-9 各日程の深度

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	F Value	多重比較
深度 (m) 尺骨頭	- 0.96±0.16	- 1.01±0.13	- 1.03±0.13	- 0.84±0.17	- 0.85±0.21	7.839	** 2,3<4,5
肩峰	- 0.91±0.17	- 0.95±0.13	- 0.95±0.13	- 0.79±0.19	- 0.78±0.26	6.363	** 2,3<4,5
大転子	- 0.94±0.15	- 0.98±0.14	- 0.96±0.12	- 0.83±0.20	- 0.85±0.28	2.871	* n.s.
膝関節	- 1.01±0.16	- 1.01±0.17	- 1.03±0.12	- 0.89±0.25	- 0.91±0.33	1.766	
外踝	- 0.91±0.20	- 0.91±0.21	- 0.94±0.16	- 0.80±0.28	- 0.85±0.42	0.91	
第五中足骨頭	- 0.90±0.20	- 0.91±0.25	- 0.94±0.17	- 0.80±0.25	- 0.83±0.43	0.874	
フィンの先端	- 0.89±0.26	- 0.88±0.26	- 0.95±0.23	- 0.78±0.27	- 0.80±0.40	1.067	

表 4-10 深度の変化量とアプニア泳記録の変化量との積率相関係数

	2回目	3回目	4回目	5回目
尺骨頭	.097	.400	-.036	-.368
肩峰	.135	.442	.046	-.287
大転子	-.003	.516	.016	-.300
膝関節	-.148	.527	-.008	-.239
外踝	.219	.547	.291	-.147
第五中足骨頭	.102	.511	.369	-.087
フィンの先端	.323	.439	.457	.029

(3) 参加者が抱える課題

参加者が記述した全日程の内省報告を表 4-11 に示した。この内省報告を元に面接調査を行った。その結果を図 4-10 に示した。テキスト化された内容は、キック、上肢の動き、水中姿勢、ゴールタッチ、周辺スキル、スタートに関する項目の 6 項目に集約された。この 6 項目は、「泳スキル」か「周辺スキル」の観点、「成就に関する難しさ」か「動作に関する難しさ」の観点によって分類できた。

表 4-11 内省報告の集計結果

事項	延べ件数（件）	
	難しい	できた
泳ぎ以外		
モノフィンの装着。	5	13
プールの入水、退水。	4	3
水中で泳がずに移動すること。	3	2
スタート時		
強く壁を蹴ること。	13	32
壁を蹴った後、素早く1回目のキックをすること。	6	4
泳ぎ		
<u>上半身</u>		
上半身をうねること。	25	14
ストリームラインの姿勢を維持すること。	5	10
<u>キック</u>		
膝を大きく曲げないこと。	17	4
素早くキックすること。	8	13
下方までキックすること。	5	18
モノフィンを力強く蹴ること。	3	2
キックの振幅を調節すること。	2	1
<u>バランス</u>		
まっすぐに進むこと。	24	14
上半身と下半身を動かすタイミングが合わせること。	11	18
左右対称にキックすること。	11	4
<u>その他</u>		
速い速度で進むこと。	7	12
1回のキックで進む距離を伸ばすこと。	3	4
無呼吸で泳ぐこと。	1	3
リラックスして泳ぐこと。		3
抵抗を少なくして泳ぐこと。		1
<u>ゴールタッチ</u>		
ゴールタッチを合わせること。	1	2

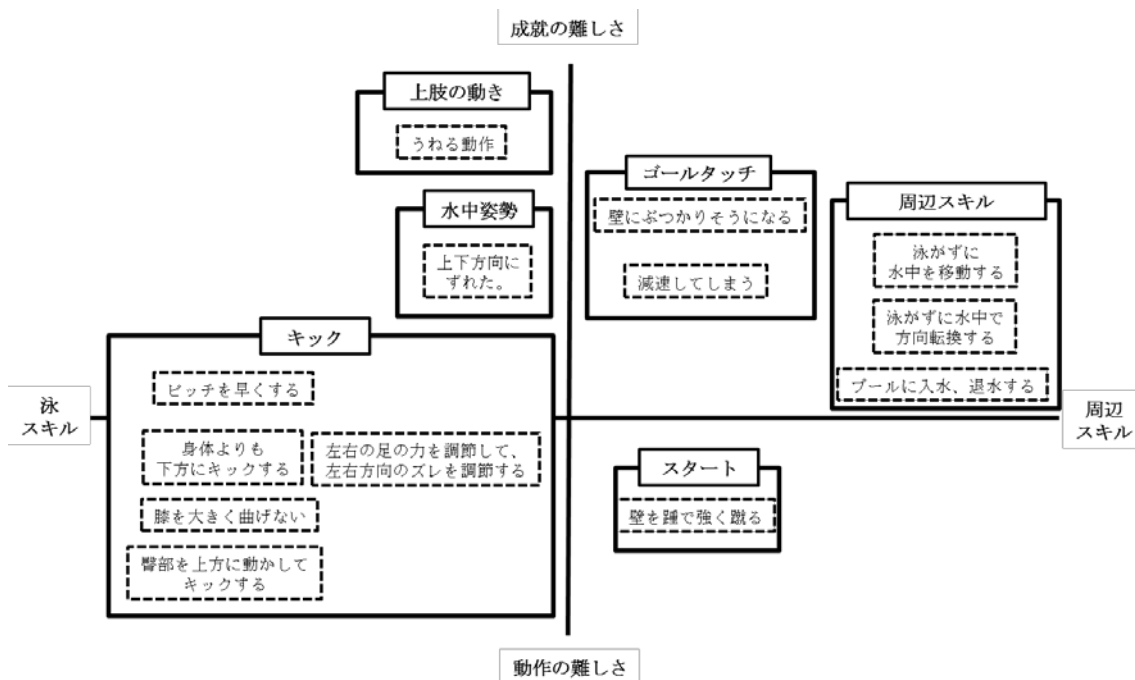


図 4-10 参加者が感じた難しさのチャート図

5. 考察

現在までの指導経験から、モノフィン着用歴のない競泳選手がアプニア泳を行った場合、バタフライキックと比較して、足部の振幅が小さくなるように感じる。その要因として、大きな表面積を持つモノフィンを着用することによって、水の抗力が増大し、モノフィンが重くて上下に移動しにくいことが考えられる。Gautier et al. (2004) は、上級者は初心者と比較して、下肢の振幅が大きいことを示した。このことから、下肢の振幅を大きくする必要があると考えられる。そのため、本トレーニングは、振幅を増大させることによってパフォーマンスを向上させる目的で行った。

(1) トレーニングによるパフォーマンスの変化

1) アプニア泳の記録と泳速度

アプニア泳はモノフィンを着用して競泳のバタフライキックを水中で行う運動である。参加者は日頃から競泳のトレーニングを行っているため、バタフライキックには慣れており、モノフィンを着用してアプニア泳法の練習を行えば、記録の向上が期待される。本研究の結果、授業の前半(2回目、3回目)の記録は1回目と比較して有意な差がなく、後半(4回目、5回目)は有意に速かった。本研究のトレーニングは、記録が即座に伸びるので

はなく、授業の後半に記録が向上することが示された。その要因として、「運動技能の習得に時間を要する点」と「今回のトレーニング方法による影響」、「スタート時の速度の増加、ゴールタッチ時の速度の減少の影響」の3つが考えられる。運動技能は、練習量に比例して上達するのではなく、「試行錯誤の段階」、「意図的な調節の段階」、「自動化の段階」の3つの段階を経て、向上と停滞を繰り返しながら上達することが報告されている（高橋ら，2007）。モノフィン着用歴がない競泳選手は、アプニア泳を行うために多くの課題が内在しており、参加者のアプニア泳の運動技能は「試行錯誤の段階」または「意図的な調節の段階」であったと考えられ、動作を変化させながら泳いでいたと推察される。2点目として、本トレーニングは運動現場の経験知から得られたトレーニング方法で指導を行った。トレーニングを行う順序を変更することや、指導方法を変えることによって、単発的に指導を行った場合でもトレーニング効果が得られると考えられる。3点目として、アプニア泳の記録はスタート局面、泳局面、ゴールタッチ局面で構成されていることから（谷川ら，2013）、それぞれの巧拙は記録に影響を与えると考えられる。そのため、泳速度の向上が認められる場合でも、スタート時に壁を蹴れずに推進力を得られない場合や、ゴールタッチ時に減速してしまう場合がある。本研究の結果、アプニア泳記録の変化量と泳速度の変化量の関係について、授業の全日程で有意な負の相関関係が認められた。このことから、アプニア泳の記録の変化は泳速度の変化によるものが大きいことが示された。今後、スタート時の速度やゴールタッチ時の速度の減少について検討する必要がある。以上のことから、アプニアの記録および泳速度に変化がみられなかった授業の前半（2回目、3回目）と向上がみられた後半（4回目、5回目）で、泳動作の様相が異なると考えられる。そこで、授業を前半（2回目、3回目）と後半（4回目、5回目）に分け、それぞれの泳ぎの特徴を考察していく。

2) キック長およびキック頻度の変化

キック長は授業を通して有意な差が認められなかったのに対し、キック頻度については、授業の1回目と比較して、授業の前半は低下するが、後半は差がみられなかった。モノフィン着用歴のない競泳選手が、本研究で実施した5回の授業を受けることで、キック長の変化よりもキック頻度の変化が大きいことが示された。次に、キック長およびキック頻度とアプニア泳パフォーマンスとの関係を明らかにするため、アプニア泳記録の変化量とキック長およびキック頻度の変化量の関係を検討した。キック長は、全授業で関係がみられ

なかった。大下ら (2008) は、世界選手権決勝進出者 (Finalist) と非進出者 (Non-Finalist) を比較し、キック頻度には差が認められないが、Finalistの方がキック長は長いことを示した。世界選手権で決勝を目指す Non-Finalist がキック長を増大させることは重要であるが、本研究の参加者の場合は、キック長の増大よりもキック頻度を増大させる方が良いと考えられる。また、KR も KL と同様に、全授業で関係がみられなかった。このことから、アプニア泳動作に関する指導を行った結果、KR は授業を通して変化するが、アプニア泳の記録との関係は小さい可能性があると考えられる。

(2) 動きの特徴を示すパラメータの変化とパフォーマンスとの関係

動きの特徴を示す、振幅、尺骨頭に対する身体の位相、深度変化および深度における 1 日毎の変化量とアプニア泳記録の変化量について、第五中足骨頭の振幅とアプニア泳記録との間が、全授業を通して、有意な負の相関関係が認められた。足部の振幅を大きくすることが、記録の短縮につながる可能性がある。一方、尺骨頭の振幅とアプニア泳記録との間は、授業の後半 (4 回目、5 回目) に有意な負の相関関係が認められた。また、尺骨頭に対する大転子の位相の変化量とアプニア泳記録の間に有意な負の相関関係が認められた。これらのことから、指導を行う前や指導開始時は、動作が習熟しておらず、動作の巧拙がアプニア泳記録に影響していたと考えられる。その一方、深度変化、深度とアプニア泳記録の関係が認められなかった。これらのことから、アプニア泳記録の短縮に寄与する動作、影響が小さい動作が存在することがわかる。そこで、動きの特徴を示す振幅、尺骨頭に対する身体の位相、深度変化、深度とパフォーマンスとの関係について考察する。

1) 振幅とキック頻度の関係

振幅とキック頻度は、前進速度を生み出すが、その間にトレードオフが存在することが報告されている (Nicolas et al., 2007)。このことから、泳速度向上や推進効率を高めるために振幅を大きくするとキック頻度が低下し、キック頻度を素早く行うと振幅が小さくなることがわかる。本研究の授業では、キック頻度を増大させるのではなく、前半に上肢、後半に下肢の振幅が大きくなるように指導を行った。その結果、授業の前半はキック頻度が低下し、上肢の振幅が大きくなった。この結果から、参加者は指導事項を忠実に実施したことが確認でき、振幅とキック頻度のトレードオフが本研究においても存在することが確認できた。しかしながら、授業の前半は下肢およびフィンの振幅を大きくするような指導

を行わなかったにも関わらず、フィンの振幅が大きくなった。このように、指導事項にならない動きが変化することは大変興味深い結果である。今後、指導を行う上で「指導を行わない点も変化する」ことを想定する必要があると考えられる。

授業の後半は、上肢の振幅が小さくなり、下肢の振幅は維持された。Gautier et al. (2004) は、上級者は初心者と比較して上肢の振幅が小さく、下肢の振幅が大きいことを示した。参加者の泳ぎは、先行研究の上級者の特徴に変化しつつあり、泳ぎが上達したと考えられる。さらに、後半のキック頻度は前半よりも早く、1回目との間に有意な差がみられなかった。このことから、参加者はキック頻度を維持した状態で足部の振幅を増大させたことがわかり、振幅とキック頻度のトレードオフが崩れたことが示された。参加者は、内省報告からも確認できたように、モノフィンの着用、移動、泳ぐスキル、スタート、ゴールタッチに慣れていない。そのため、筋発揮やアプニア泳技術が未発達であり、動作が熟練していなかったと考えられる。モノフィン着用歴のない競泳選手を指導する場合、振幅とキック頻度のトレードオフにとらわれずに振幅の増大とキック頻度の増大を目指して練習を行うと良いと考えられる。

2) 上肢と下肢を動かすタイミング

これまで、フィンスイミングの動作を位相で示した報告はみられない。本研究の授業では、振幅を大きくするための指導だけでなく、上肢と下肢のタイミングを合わせる指導も行った。モノフィンを着用した場合、より大きな力を必要とする。これまでのアプニア泳法の指導を経験した中で、下肢の力だけでなく、上肢をタイミングよく動かし、全身を使ってキックを行う必要があると考えられる。そこで、授業の前半に「手足の動作のタイミングを合わせる」指導を行った。その結果、尺骨頭と第五中足骨頭の位相は授業の前半に変化がなく、後半で位相が小さくなり、360deg に近づいたことが示された。位相 360deg は、尺骨頭が上方へ移動するとき、第五中足骨頭も同じタイミングで上方へ移動するような動きを示す(図 4-11)。位相によって、上肢と下肢の動かすタイミングを数値で示すことができた。授業2回目という早い段階で「手足の動作のタイミングを合わせる」指導は、参加者にとって難しい課題であったかもしれない。一方、授業の後半はアプニア泳の記録、泳速度およびキック頻度の増大がみられた。さらに、アプニア泳記録と尺骨頭に対する身体の位相の関係を検討した結果、授業の前半には有意な負の相関関係がみられた部位があるのに対し、3回目以降は関係がみられなかった。これは、授業の前半は尺骨頭に

対する身体の位相が参加者によって大きく異なっていたにも関わらず、授業の後半には、その差が小さくなったと考えられる。これらのことから、上肢と下肢を動かすタイミングが合うことによってパフォーマンスが向上する可能性が示された。平田ら（2003）は、ニジマス型とマグロ型の尾びれを持つ魚ロボットの最も高い速度が得られる位相を示した。モノフィンと形状が酷似しているニジマス型の最適な尾柄と尾びれの位相は、60deg.であり、大きすぎても、小さすぎても高い泳速度が発揮できない結果であった。このことから、ヒトがフィンスイミングを行う場合にも最適な位相が存在すると考えられる。本研究の結果からは、アプニア泳時の最適な位相を求めることはできない。今後、振幅、キック頻度を一定に保ちながら位相のみをコントロールできるようなシミュレーション的研究を行うことができれば、最適な位相を求めることができると考えられる。

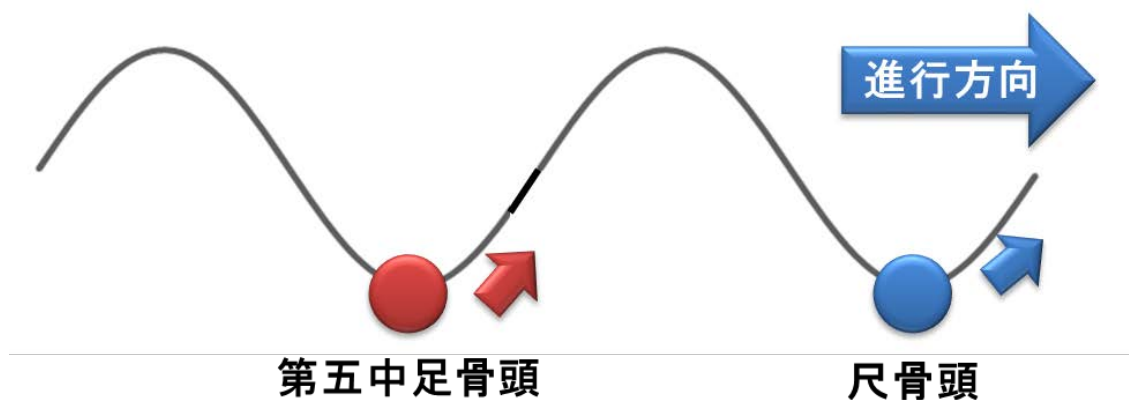


図 4-11 尺骨頭と第五中足骨頭の位相差が 360deg.の場合の例

3) 深度変化と潜行深度

内省報告から、「ストリームラインの姿勢を維持できない」、「上下方向に進んでしまう」などの難しさが挙げられた。アプニア泳は、全身を上下に動かすことによって水平方向に推進する。モノフィンの鉛直方向の移動量が上下で異なる場合、下方（床方向）もしくは上方（水面）に推進する。参加者はモノフィンを着用して泳ぐことに慣れていないため、水平に推進することが難しかったと考えられる。深度を確認すると、授業の前半は下肢と比較して上肢は深い深度であった。野村（1993）はスタート着水後に肩関節角度を大きくすることによって、身体がすばやく水平になりグライド速度が向上することを示した。このことから、上肢を伸展、屈曲することによって推進方向が変わることがわかる。参加者

は上肢を下方へ向けることによって、身体を沈める意図があったと推察される。しかしながら、鉛直速度はどの身体部位もほぼ0であることから、水平に推進していたことがわかる。つまり、参加者は、水平に推進するために、上肢が下肢よりも深くなるように調節することによって、結果的にはほぼ水平に推進したと考えられる。田古里ら（1986）は、できる限り身体を水平に保つことによって抵抗が軽減できることを示した。姿勢が水平でないことは、減速の要因となりうると考えられる。一方、授業の後半は、身体の深度がほとんど変わらず、鉛直速度もほぼ0であった。よって、上肢の調節なしに水平方向に推進しており、受動抵抗も小さかったと推察される。このように、身体の鉛直速度が小さくなり、深度も一定になれば、さらに記録が向上する可能性がある。

（４）参加者が抱える課題

参加者の内省報告と面接調査から、参加者が陥りやすい課題を整理することができた。難しかったことよりも、うまくできたことの方が多くことから、参加者の思い通りにアプニア泳ができていたのではないかと考えられる。しかし、スタートおよびキックに関する項目は動作の難しさがあり、上肢の動き、水中姿勢、ゴールタッチおよび周辺スキルに関する項目は成就の難しさがあると解釈できた。動作の難しさには、具体的な身体動作の方法に関する難しさが語られていた。このことから、参加者は、動作の成就に向けた方法論を理解しており、今後練習を継続することによって動作が改善され、動作が成就すると推察される。一方、成就に関する難しさには、具体的な動作の方法は記載されておらず、動作の成就に向けた方法論が語られていない。つまり、具体的な方法論がないため、成達は難しいと考えられる。授業形態の違いによって水泳4泳法の動作認識の差について検討した合屋（1997）の報告によると、各泳法ともに推進力を得る手、足の動きについては意識の集中が高まるが、体幹への気づきは難しいことを明らかにした。本研究のアプニア泳は、壁を蹴ることによる推進力とキック動作による推進力が主であることから、先行研究と同様の結果を得たと考えられる。これらのことから、モノフィン着用歴のない競泳選手が抱える課題は次のように整理される：上肢の動き、水中姿勢、ゴールタッチおよび周辺スキル。それらを踏まえ、指導内容を充実させ、実践することが示唆される。

6. まとめ

本章は、モノフィン着用歴のない高校女子競泳選手を対象にフィンスイミング授業を行

い、泳速度、キック長およびキック頻度の変化、参加者の泳動作の変容と参加者が抱える課題を明らかにすることを目的とした。その結果、下記の5点が明らかとなった。

1. モノフィン着用歴のない競泳選手を対象に、フィンスイミングの授業を5回実施した結果、アプニア泳の記録は授業の後半(4回目、5回目)に向上した。本研究のトレーニングでは、授業前半(2回目、3回目)で記録の向上がみられなかった。
2. 参加者の泳ぎの特徴について、授業の前半は振幅が大きくなるとキック頻度が低下するトレードオフがみられた。しかし、後半はキック頻度に差がなく(1回目: $1.57\pm 0.25\text{Hz}$, 5回目: $1.77\pm 0.30\text{Hz}$)、フィンの振幅が大きいことから(1回目: $0.26\pm 0.06\text{m}$, 4回目, $0.33\pm 0.04\text{m}$)、トレードオフが崩れたことが示された。
3. 尺骨頭と第五中足骨頭の位相は、4回目($365.3\pm 28.8\text{deg}$)で 360deg に近づいた。これは、上肢と下肢を動かすタイミングがほとんど同じであることを示す。位相によって、上肢と下肢の動かすタイミングを数値で示すことができた。
4. 水中姿勢と推進方向について、授業の前半は、上肢を下方へ向ける姿勢をとることによって、水平方向に推進する傾向であった。後半は姿勢を水平に維持しながら水平に推進する傾向であった。
5. 参加者の内省報告と面接調査から、参加者が陥りやすい課題を整理することができた。スタートや泳ぎに関する項目は、具体的な動作に対する難しさが回答された。一方、上肢の動き、水中姿勢、ゴールタッチおよび周辺スキルについては、具体的な動作に対する難しさが回答されなかった。これらは、モノフィン着用歴のない競泳選手の蹉跌をきたすポイントであると考えられる。

本章の結果、モノフィン着用歴がない競泳選手を対象にフィンスイミングの指導介入を行う際には、次の順序で指導することが提案された。

1. プールの入退水、泳がずに水中を移動、方向転換する方法等の周辺スキルを指導する。
2. フィンの振幅を増大させる。
3. キック頻度を増大させる。

文献

Gautier, J., Baly, L., Zanone, P. G., Watier, B. (2004) A KINEMATIC STUDY OF FINSWIMMING AT SURFACE. *Journal of Sports Science and Medicine*, 3, 91-95.

稲垣良介, 岸俊行 (2012) 本学学生の着衣泳 (水泳) 歴の実態と水泳指導の課題. *福井大学教育実践研究*, 36, 23-33.

合屋十四秋 (1997) .水中運動の動作認識とその変容について. *愛知教育大学教科教育センター研究報告*, 21, 253-260.

平田宏一, 春海一佳, 瀧本忠教, 田村兼吉, 牧野雅彦, 児玉良明, 富田宏 (2003) 魚ロボットに関する基礎的研究. *海上技術安全研究所報告*, 2 (3), 281-307.

川喜田二郎 (1967) 発想法:創造性開発のために, 136, 中央公論社:東京.

松尾知之, 平野裕一, 川村卓 (2010) 投球動作指導における着眼点の分類と指導者間の意見の共通性:プロ野球投手経験者および熟練指導者による投球解説の内容分析から, *体育学研究*, 55 (2), 343-362.

Nicolas, G., Bideau, B., Colobert, B., Berton, E. (2007) How are Strouhal number, drag, and efficiency adjusted in high level underwater monofin-swimming?, *Human movement science*, 26 (3) , 426-442.

野村照夫 (1993) .スタートの科学. *月刊スクールサイエンス*, 230, 23-28.

大下和茂, ロスみさき, 小泉和史, 矢野澄雄, 樫本俊兵, 高橋康輝, 川上雅之 (2008) 50mサーフィスにおける Waving 頻度, Waving 長および泳速の関係, *水泳水中運動科学*, 11 (1), 14-18.

高橋健夫, 小沢治夫, 柳沢和雄, 友添秀則, 落合優 (2007) .最新体育・スポーツ理論, 改

訂版，全国高等学校体育学科連絡協議会編．大修館書店：東京，52-55．

田古里哲夫（1986）水泳競技の流れ学—スポーツと工学—．東京大学公開講座スポーツ．東京大学出版会：東京，155-189．

谷川哲朗，片岡裕恵，小芝裕也，来田宣幸，野村照夫（2013）フィンスイミングのレース分析—継続的なレース分析プロジェクトを目指して—，日本体育学会体育方法専門領域会報，39，299-303．

矢野正，三村寛一（2005）小学校における安全な臨海学舎の実践研究，大阪教育大学紀要，54（1），159-176．

第5章 総括

本論文では、これまでに明らかにされなかった水中パフォーマンスを時間的・空間的に評価することを主目的とした。この主目的を達成するため、次の下位目的を設定した。

1. 競泳競技におけるバタフライの着壁動作を時間的・空間的に評価する。
2. モノフィン着用歴のない競泳選手におけるアプニア泳法の時間的・空間的パラメータの相互関係を検証する。
3. モノフィン着用歴のない競泳選手にアプニア泳法の指導を行い、時間的・空間的な動作の変容と課題を検証する。

その結果、次に示す成果が得られた。

1. バタフライの着壁動作の評価

各種のバタフライのゴールタッチをグライドタッチとダイレクトタッチに分類し、「ドルフィンキック動作の回数」、「うねり動作の有無」によって分類し、それぞれの有効性を検証した。従来のゴールタッチの評価方法は、レースの最後の5m区間の所要時間によって、評価されてきた。しかし、この方法では、1)最後の5mを通過する際の動作のタイミングによる影響、2)レース終盤の疲労による減速の影響、3)ゴールタッチ動作の巧拙の影響を受けると考えられる。本研究では、バタフライのゴールタッチのパフォーマンスを詳細に評価するため、ゴールタッチ直前の指尖部の着水位置を基準にその直前までの動作をストローク局面、その後の動作をゴールタッチ局面に分類し、ストローク局面の泳速度に対するゴールタッチ局面の速度の値(GVr)によってゴールタッチを評価した。これにより、1)と2)の影響を減らし、3)による影響を測定できるよう試みた。しかしながら、本研究ではGVrが100%を超える値、つまりゴールタッチ時に速度が向上した試行がみられた。これは実際にゴールタッチ時に速度が向上したのではなく、ゴールタッチ直前のストロークでの泳速度が減少し、最後のゴールタッチを素早く行うことによって生じた可能性が高いと考えられる。本研究では、ゴールタッチ直前の最後の指尖部の着水時までストロークタイムを一定に保って泳ぐように教示した。しかし、実験参加者は無意識のうちにゴールタッチ直前の指尖部の着水までに泳速度を減速させ、ゴールタッチを素早く行うような、ゴールタッチを合わせるための調節を行ったと考えられる。このような調節を行った選手に対して、ストローク局面とゴールタッチ局面の分類を説明し、ストローク局面で泳速度を落

とさないように泳ぐことを指導すれば、バタフライのゴールタッチのパフォーマンスを向上させることができると考えられる。今後、ゴールタッチ直前の指尖部の着水以前も含めて検討する必要がある。

2. アプニア泳動作の評価

アプニア泳動作は、身体を上下にうねらせるようにして、規則的に泳ぐ。この動作を行う際、身体各部位が動く軌跡は波形を描く。これまでのアプニア泳の評価方法は、その波形の peak to peak を 1 サイクルとして、1 サイクルの振幅、キック頻度、キック長等を求め、それぞれ 3 サイクル以上のデータの平均値を比較している。この場合、1 サイクルのデータを統合して動作を評価しているため、身体を上下にうねらせる動作を繰り返すアプニア泳のトレンドを評価できない。そこで、アプニア泳動作が正弦波に酷似しているため、身体およびモノフィンの動作の鉛直成分の時系列データを正弦波 ($z=a_1 \times \sin(b_1 \times t+c_1)+d_1 \times t+e_1$) で近似させた。この式の定数から身体およびモノフィンの振幅、キック頻度、位相、深度変化、深度を算出した。水平成分については、1 次関数 ($y=a_2 \times t+b_2$) で近似し、泳速度を算出し、キック長を求めた。この手法を用いて、本研究の下位目的である、「2. モノフィン着用歴のない競泳選手におけるアプニア泳法の時間的・空間的パラメータの相互関係を検証する」と「3. モノフィン着用歴のない競泳選手にアプニア泳法の指導を行い、時間的・空間的な動作の変容と課題を検証する」を検討した。その結果、アプニア泳法の時間的・空間的パラメータの相互関係を示し、アプニア泳法の指導を行い、時間的・空間的な動作の変容と課題を示すことができた。このことから、アプニア泳動作を正弦波によって表すことが可能であることが提案できた。しかしながら、本論文では、身体およびモノフィンの変位変化を鉛直成分と水平成分に分けてデータを算出したため、関節角度の情報を算出できなかった。算出するためには、近似した後の鉛直成分と水平成分のデータを再合成して、再び関節角度を算出する必要がある。これには多くの手間がかかり、データの信頼性も今後検討する必要があると考えられる。

3. おわりに

本論文の成果により、競泳競技で今まで評価が困難であったバタフライの着壁動作を評価する方法と正弦波近似を利用したアプニア泳動作の新たな評価方法を提案した。これにより、これまでに明らかにされなかった水中パフォーマンスを時間的・空間的に評価でき

た。水中動作の定量化は、電子機器の防水性を高める問題が難しい。また、デジタルビデオカメラを用いて分析する場合、水の透明度が悪ければ、水中パフォーマンスを把握することができない。今後、科学技術の発達に加えて、水中パフォーマンスの評価方法を工夫することができれば、これまでスポーツ実践現場で感覚的に捉えられてきた水中パフォーマンスの方法をより詳細に指導できる可能性がある。これにより、将来、健康スポーツ、リハビリテーション、競技スポーツとしての水中運動の発展を目指す1つの資料となることが期待される。

謝辞

本研究は、京都工芸繊維大学 教授・野村照夫先生および准教授・来田宣幸先生のご指導とご教示のもとに遂行し得たものです。両先生方には、公私にわたり非常に有益なご教授を戴きました。そのことをここに記し、心より感謝の意を捧げる次第であります。

また、実験を遂行するにあたり、ご助言およびご協力を賜りました神戸市工業高等専門学校 教授・寺田雅裕先生、明治国際医療大学 助教・片岡裕恵先生、大阪教育大学 大学院生・松本智好様、京都工芸繊維大学 大学院生・神谷将志様に厚く御礼申し上げます。

さらに、論文作成ならびに研究生活全般にわたり多大なご支援を戴いた大阪教育大学 准教授・生田泰志先生、大阪大学 助教・小島理永先生、天理大学 助教・梅崎さゆり先生、びわこ成蹊スポーツ大学 助手・渡邊泰典先生、京都工芸繊維大学 大学院生・橋元真央様、京都工芸繊維大学 生体行動科学研究室の皆様、京都工芸繊維大学水泳部の皆様に感謝いたします。

最後に、日頃から様々な支援をしてくれた父、兄、妹に感謝いたします。

基礎論文

第2章 「競泳競技におけるバタフライの着壁動作の特徴」

谷川哲朗 長谷川弘実 生田泰志 来田宣幸 野村照夫

バタフライではどのようなゴールタッチが有効か？

コーチング学研究 第27巻 第1号, 67~76. 平成25年11月

第3章 「モノフィン着用歴のない競泳選手におけるアプニア泳動作の特徴」

Tetsuro Tanigawa, Masahiro Terada, Hiroe Kataoka, Tomoyoshi Matsumoto, Masashi Kamiya,
Azusa Taguchi, Noriyuki Kida, Teruo Nomura

Evaluation of motion on underwater monofin swimming for novice

Proceedings of the XIIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming
253-257.

第4章 「モノフィン着用歴のない競泳選手におけるフィンスイミングの指導介入」

谷川哲朗, 川西英里香, 来田宣幸, 野村照夫

高校女子水泳選手を対象としたフィンスイミング授業の指導実践

ーモノフィン泳未経験者を対象としてー

スポーツパフォーマンス研究, 6:113-133, 2014.

原著論文

バタフライではどのようなゴールタッチが有効か？

谷川哲朗¹⁾ 長谷川弘実²⁾ 生田泰志³⁾ 来田宣幸²⁾ 野村照夫²⁾

What kind of goal touch is effective in the butterfly?

Tetsuro Tanigawa¹⁾, Hiromitsu Hasegawa²⁾, Yasushi Ikuta³⁾, Noriyuki Kida²⁾ and Teruo Nomura²⁾

Abstract

In this study, we classified the kinds of goal touch in the butterfly as body undulation and the number of dolphin kicks. Then, we quantified the kinds of goal touch and examined the effectiveness. Participants consisted of ten male, well-trained college swimmers who were monitored with an underwater camera. The goal touch of butterfly was classified into six types, which were then quantified. The results indicated that at the goal touch there was no significant difference in velocity between body undulation and the number of dolphin kicks. However, two types of goal touch had a significant positive correlation: the percentage of stroke length for distance to the goal touch and the percentage of swim velocity for velocity at the goal touch. On the basis of these results, we believe that for an ideal goal touch, the distance must be adjusted on the last moments before the goal touch.

Key words: swimming, butterfly, goal touch, dolphin kick, undulation

水泳, バタフライ, ゴールタッチ, ドルフィンキック, うねり動作

I. 緒言

競泳はストロークだけでなく、スタート、ターンおよびゴールタッチの巧拙を含めた記録を競う競技である。ストローク時の速度の向上は競技力を高める重要な要素であるが、スタートやターンあるいはゴールタッチによって順位が覆り、好成績をあげた例が報告されている(生田ほか, 2002; 窪, 2005)。スタート及びターンに関する先行研究では、それぞれのパフォーマンスを評価するための指標が示されたが(合屋ほか, 1997; Takeda, 2009; 尾関ほか, 2010)、ゴールタッチに関する報告はみられない。競泳の実践現場ではゴールタッチの技術が従来から感覚的に捉えられ、練習での到達目標が明確でなかった。

ゴールタッチについて、競泳競技規則(日本水泳連盟競技委員会, 2010, pp.13-15)によると、クロールおよび背泳ぎのゴールタッチは身体の一部がゴール壁面

に触れば良いことに対し、バタフライおよび平泳ぎのゴールタッチは両手同時に行わなければならない。左右対称にストロークを行う平泳ぎおよびバタフライはゴールタッチを行うタイミングが重要となると考えられる。平泳ぎのストロークは腰部までストロークができないことが示されている(日本水泳連盟競技委員会, 2010, p.14)。そのため、1ストロークサイクル中で手部が進行方向に対して最も後方に位置する場合でも、腰部よりも後方へストロークすることができない。これに対して、バタフライは手部の可動範囲が進行方向に対して頭部の前方から腰部付近までと大きく、左右同時にストロークを行う。そのため、バタフライでは1ストロークサイクル中に手部が頭部よりも進行方向に対して後方に位置する場合があると考えられる。もし、この状態でゴール壁面に近づく場合、頭部がゴール壁面に最も近いいため、頭部でのゴールタッチとなる可能性がある。泳者は、頭部でのゴールタッ

1) 大阪体育大学体育学部

School of Health and Sport Sciences Osaka University of Health and Sport Sciences

京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科

Graduate school of Science and Technology, Kyoto Institution of Technology

2) 京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科

Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institution of Technology

3) 大阪教育大学大学院教育学研究科

Graduate School of Education, Osaka Kyoiku University

手を避けるため、ストロークを行わずに手部を前方で維持してゴールタッチを行うような、ストロークの調節を行わなければならないと推察される。一方、ゴールタッチの際に手部が進行方向に対して頭部よりも前方に位置する場合、このようなストロークの調節は必要としないと考えられる。つまり、ゴールタッチ直前の最後の手部の着水後、ストロークを行って、水上に出た手部が再び着水することなくゴール壁面に接するゴールタッチとなる。このように、バタフライのゴールタッチを行うタイミングによって、その方法が異なることが考えられた。

バタフライは手部の可動範囲が頭の前方から腰部付近までと大きく、ゴールタッチは両手同時に行うことが定められている(財団法人日本水泳連盟競技委員会, 2010, p.15)。そのため、バタフライのゴールタッチは4泳法の中で最も成否のタイム差が大きい泳法であると推察される。バタフライのゴールタッチに関する情報は、水泳の指導書や専門書に数多く記載されている(糸山, 1987; 椿本, 1989; 河合, 1990; 田中, 1993; 吉村・高橋, 1996; 財団法人日本水泳連盟, 2010)。これらを要約すると、減速が小さいバタフライのゴールタッチはゴールタッチ直前のストロークを終えた直後に肘を伸ばした状態で、指先でゴール壁面にゴールタッチすることである。しかし、泳速度はレースの進行に伴って減速することが報告されており(奥野ほか, 1999)、選手の調子の良し悪しによっても練習通りの泳ぎができない場合があると考えられる。その場合、選手は減速の小さなゴールタッチを目指しているものの、ゴールタッチを行う際の泳者とゴール壁面までの距離はレース毎に一定ではないためゴールタッチが合わず、減速の小さなゴールタッチができない可能性が高いと推察される。これらのゴールタッチを定量化し、失敗のゴールタッチを避ける方法が明らかになれば、バタフライの記録向上の手がかりとなると考えられる。

Maglischo (2003, p.165) はバタフライの推進力はストロークやドルフィンキックだけでなく、うねり動作によっても発揮されると述べた。これらの動作はゴールタッチ時の減速を小さく抑えると推察されるが、それらの有効性については未だ検討されていない。そこで本研究では、バタフライのゴールタッチを行う方法、うねり動作およびドルフィンキック動作の有効性を明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 実験参加者

実験参加者は1年間を通してトレーニングを実施している大学水泳部員男子10名(年齢 20.4 ± 1.2 歳, 身長 176.4 ± 4.3 cm, 体重 70.1 ± 7.3 kg, 水泳歴 13.4 ± 4.5 年)であった。実験参加者の専門種目およびベストタイムを表1に示した。実験参加者には本研究の目的, 方法, 危険性などに関して十分な説明を行った後, 書面にて研究参加への同意を得た。

2. 実験環境および実験手順

実験は50m屋外プール(8コース)にて行った。実験参加者はウォーミングアップ, バタフライのゴールタッチの練習を各自で行い, 準備ができた段階で試技を開始した。本研究はゴールタッチの出来不出来による減速のみに着目するため, 試技の距離は実際のレースよりも短く, ゴールタッチが合わないような状況を作るため, 14m, 15mおよび16mに設定した。試技は8コースの14m, 15mおよび16m地点から0m地点までのバタフライ泳とし, 14m試行, 15m試行および16m試行を各2試行ずつランダムな順序で計6試行実施した。なお, 14m, 15mおよび16m地点にプールフロアを壁に見立てるように鉛直に立てて設置し, そのプールフロアを蹴らせて高い速度が獲得できるようにした。実験参加者には, 最大努力かつ無呼吸で泳ぐことを教示した。

3. 撮影方法およびデータ分析

撮影は実験参加者の右側方, 1コースの水中に水中カメラ(YAMAHA社製, 水中モニターシステム)を設置し, 動作平面とカメラの光軸が直交するように行っ

表1 実験参加者の専門種目およびそのベストタイム

ID	専門種目	ベストタイム (m'ss.00)
1	100m 背泳ぎ	59.59
2	100m バタフライ	1'09.95
3	100m バタフライ	55.50
4	400m 自由形	4'24.79
5	200m 平泳ぎ	2'21.08
6	100m 平泳ぎ	1'06.94
7	200m 背泳ぎ	2'02.85
8	400m 個人メドレー	4'56.71
9	200m 個人メドレー	2'30.61
10	100m 自由形	53.69

た。本研究では、実験参加者の進行方向である水平方向をx軸、x軸に直交する鉛直方向をy軸とする静止座標系を設定し、ゴールタッチは2次元平面上で行われているものと仮定して、実験参加者の指尖部を分析の対象とした。水中カメラで撮影された映像はパーソナルコンピュータに取り込み、動作解析ソフト(DKH社製、Frame-DIAS IV)を使用して手動デジタイズを行った。

実験参加者の指尖部が着水してから再び着水するまでを1ストロークサイクルとし、実長換算法を用いて実験参加者の指尖部が着水およびゴールタッチした時点の時間および指尖部の実座標を計測した。得られたデータから、ゴールタッチ直前の指尖部の着水を基準に、その直前の2ストロークをストローク局面、ゴールタッチ直前の指尖部の着水からゴールタッチを行うまでをゴールタッチ局面に分類した(図1)。

4. ゴールタッチの分類

Maglischo (2003, p.165) はバタフライで推進力を発揮するためにはストロークやキックだけでなく、うねり動作も重要であることを示した。そこで、実験参加者が行った全試行をゴールタッチの種類、ドルフィンキック動作およびうねり動作の3つの観点から分類した。

1) ゴールタッチの種類

生田(1998)はゴールタッチの失敗の例として「壁との距離が遠すぎたために最後の1ストロークが入水し、流れた状態でゴールタッチをした例」と「壁との距離が近すぎたために最後の1ストロークのマッチングが失敗した例」を挙げた。そこで、ゴールタッチの種類はゴールタッチ直前の指尖部の着水後、指尖部が

水上に上がることなくゴールタッチを行った試行をGlide Touchとし、ゴールタッチ直前の指尖部の着水後、指尖部が再び水上に上がり、その後着水せずに水上のゴール壁面にゴールタッチを行った試行をDirect Touchとして2種類に分類した。

2) ドルフィンキック動作

ドルフィンキック動作は膝関節が屈曲し、最大屈曲した時点から最大伸展するまでを1回のドルフィンキック動作として、ゴールタッチ局面でドルフィンキックを行った回数を計測し、その回数によって動作を分類した。なお、うねり動作による脚の動きはドルフィンキック動作1回としてカウントしなかった。

3) うねり動作

うねり動作は頭部と肩部が下方に動いた後、臀部や足部が降下しながら再び頭部および肩部が浮かび上がるような動きを行ったものを主観的にうねり動作と判定した。しかし、Direct Touchは最後の指尖部の入水後、ストロークを行い、ゴールタッチを行うまでの間にうねり動作を行うことができないと考えられる。そこで、Direct Touchはうねり動作の分類から除外し、Glide Touchのみを分類の対象とした。うねり動作を行った試行はUndulation試行とし、うねり動作を行っていない試行をCalming試行として分類した。

5. 算出項目

図1で示されたように、ストローク局面における2ストロークについて、実験参加者の指尖部が着水した時点の実座標のx成分の値と指尖部が再び水面から浮上し、再び着水した時点の実座標のx成分の値の差から、1ストロークあたりに進む距離を2ストローク分算出した。次に、実験参加者の指尖部が着水した時点

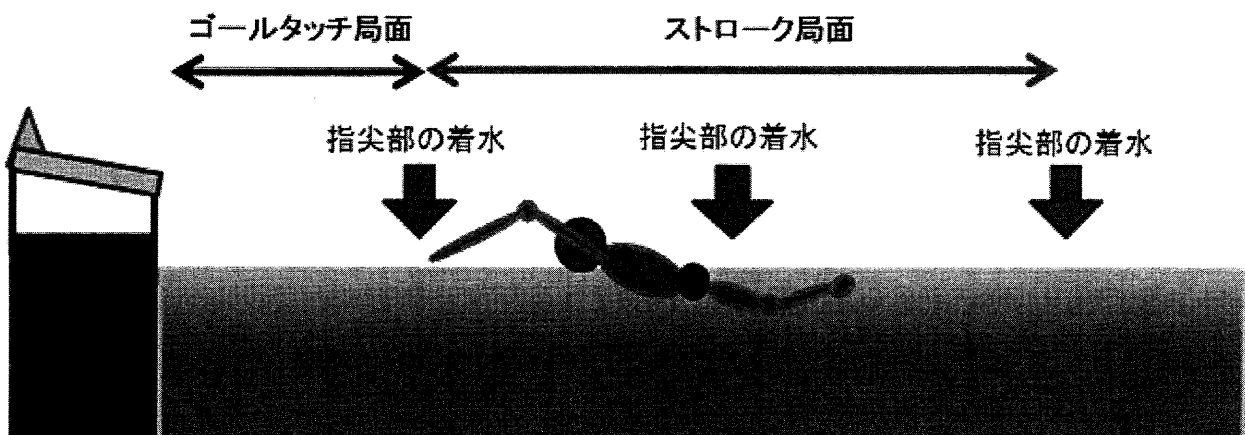


図1 ストローク局面とゴールタッチ局面の局面分け

と指尖部が再び水面から浮上し, 再び着水した時点の時間の差から, 1ストロークあたりの所要時間を2ストローク分算出した. そして, 2ストローク分の1ストロークあたりに進む距離を2ストローク分の1ストロークあたりの所要時間で除することによって, 1ストロークあたりの泳速度を算出した. その後, 得られたストローク局面における2ストローク分のデータを平均することによって, ストローク局面における1ストロークあたりに進む距離(ストローク長, m/stroke)として算出し, ストローク局面における1ストロークあたりの所要時間(ストロークタイム, s/stroke)として算出し, ストローク局面における1ストロークあたりの泳速度 (m/s) を算出した. 実験参加者が行った6試行のうち, 2ストロークの平均ストローク長が最も高い値と最も低い値の試行を1試行ずつ除外し, 残りの4試行の平均値を実験参加者の代表値とした.

ゴールタッチ局面については, ゴールタッチ直前の指尖部の着水地点からゴール壁面までの距離をGL (Goal Length, m) とし, その所要時間をGT (Goal Time, s) とし, その速度をGV (Goal Velocity, m/s) として求めた. また, ストローク局面における平均ストローク長に対するGLの値をGLr (Goal Length ration, %) とし, ストローク局面における平均ストロークタイムに対するGTの値をGTr (Goal Time ration, %) とし, ストローク局面における平均泳速度に対するGVの値をGVr (Goal Velocity ration, %) として求めた.

6. 統計処理

Direct Touchの試行間の比較にはドルフィンキック動作を要因とした1要因分散分析を行った. GLrと

GVrの関係は, Pearsonの積率相関分析を用いて行った. 統計処理には統計ソフトPASW Statistics 18を使用し, 統計上の有意水準は5%とした.

III. 結果

1. ストローク局面

ストローク局面における実験参加者毎のストローク長, ストロークタイムおよび泳速度の4試行の平均および標準偏差を表2に示した. 各実験参加者の4試行の平均値を実験参加者の代表値として扱った. 代表値の平均±標準偏差はストローク長が 1.76 ± 0.18 m/stroke, ストロークタイムが 1.06 ± 0.09 s/stroke, 泳速度が 1.65 ± 0.10 m/sであった.

2. ゴールタッチの分類

実験参加者が行ったゴールタッチをタッチの種類, ドルフィンキック動作およびうねり動作で分類した結果を表3に示した. 60試行のうち, 分析可能であったDirect Touchが24試行, 分析可能であったGlide Touchが36試行みられた. 実験参加者は, 14m, 15mおよび16mの3種類の距離を2試行ずつ行うことによって, 2種類以上のゴールタッチを行った. また, 実験参加者が行った各距離2試行のうち, 同様のゴールタッチの方法が出現した試行は30試行(15ペア)であった. さらに, 3種類の試行のうち, 同様のゴールタッチの方法が出現した実験参加者は3名であった.

24試行のDirect Touchは, ドルフィンキックを2回行った試行(以下, 「2Kick_D試行」と略す)は9試行であり, 3回行った試行(以下, 3Kick_D試行)と略す]

表2 実験参加者のストローク局面におけるストローク長, ストロークタイム, 泳速度の最大値および最小値を除いた4試行の平均±標準偏差

ID	ストローク長* (m/stroke)	ストロークタイム* (sec/stroke)	泳速度* (m/sec)
1	1.73 ± 0.05	1.00 ± 0.02	1.73 ± 0.02
2	1.47 ± 0.04	0.92 ± 0.03	1.59 ± 0.02
3	2.14 ± 0.04	1.21 ± 0.02	1.75 ± 0.02
4	1.76 ± 0.01	1.16 ± 0.03	1.52 ± 0.03
5	1.59 ± 0.05	1.02 ± 0.03	1.57 ± 0.02
6	1.71 ± 0.03	1.04 ± 0.03	1.63 ± 0.02
7	1.81 ± 0.10	1.03 ± 0.04	1.75 ± 0.04
8	1.86 ± 0.04	1.04 ± 0.03	1.76 ± 0.07
9	1.76 ± 0.09	1.17 ± 0.08	1.50 ± 0.03
10	1.81 ± 0.08	1.03 ± 0.03	1.75 ± 0.07

*最大値と最小値を除いた4試行の平均値

表3 実験参加者が行ったゴールタッチの分類結果

ID	試技 距離(m)	Undulation		Calming			
		2Kick _D	3Kick _D	1Kick _G	2Kick _G		
1	14		1		1		
	15		1		1		
	16				2		
2	14		1	1			
	15				2		
	16			1	1		
3	14		1		1		
	15				1		
	16			2			
4	14	1					
	15		2				
	16			1	1		
5	14		1		1		
	15		2				
	16				2		
6	14	1	1				
	15	1			1		
	16	2					
7	14	1	1				
	15		2				
	16	1	1				
8	14				1		
	15	2			1		
	16				2		
9	14			2			
	15				2		
	16				2		
10	14				2		
	15		1				
	16				2		
計		9	15	3	6	23	4

は15試行であった。映像を確認すると、2Kick_D試行はゴールタッチ直前の最後の指尖部の着水後に1回目のドルフィンキックを行い、腕のアップスイープ時に2回目のドルフィンキックを行った後、指尖部が着水する前にゴールタッチを行う様子が観察された。3Kick_D試行は、1回目および2回目のドルフィンキック動作は2Kick_D試行と同様に行われているが、3回目のドルフィンキックが腕を前方に戻す動作であるリカバリー動作を行っている最中に行われていることが観察できた。

次に、36試行のGlide Touchのうち、Undulation試行は9試行であり、Calming試行は27試行であった。

Undulation試行のうち、ドルフィンキックを1回行った試行（以下、「1Kick_G試行」と略す）は3試行、2回行った試行（以下、「2Kick_G試行」と略す）は6試行であった。Calmingの27試行のうち、1Kick_G試行は23試行、2Kick_G試行は4試行であった。映像を確認すると、1Kick_G試行は、ゴールタッチ直前の最後の指尖部の着水後にドルフィンキックを行った後、ゴールタッチを行う様子が観察された。2Kick_G試行は、1回目のドルフィンキックが1Kick_G試行と同様のタイミングで行われ、ゴールタッチが行われる前に2回目のドルフィンキックを行う様子が観察された。1Kick_G試行のUndulation試行は、1回目のドルフィンキックが行わ

れながら頭部と肩部が下方に動いた後、臀部や足部が降下しながら再び頭部および肩部が浮かび上がる動作が確認できた。2Kick_G試行のUndulation試行は1Kick_G試行のUndulation試行と同様の動作が行われた後、ゴールタッチを行う前に2回目のドルフィンキックを行う様子が観察された。

3. ゴールタッチ直前の動作がパフォーマンスに与える影響

Direct Touchについて、ドルフィンキック動作を要因とした1要因分散分析を行った(表4)。その結果、GLでは3Kick_D試行(1.67±0.25m)が2Kick_D試行(1.45±0.19m)と比較して有意に高い値を示した($F(1, 22) = 4.785, p < .05$)。GTでは3Kick_D試行(1.05±0.17s)と2Kick_D試行(0.98±0.10s)の間に有意な差が認められなかった($F(1, 22) = 1.157, n.s.$)。GVでは3Kick_D試行(1.59±0.07m/s)が2Kick_D試行(1.47±0.10m/s)と比較して有意に高い値を示した($F(1, 22) = 8.836, p < .01$)。

GLrでは3Kick_D試行(96±14%)が2Kick_D試行(82±11%)と比較して有意に高い値であった($F(1, 22) = 8.836, p < .05$)。GTrでは3Kick_D試行(100±14%)と2Kick_D試行(94±9%)の間に有意な差が認められなかった($F(1, 22) = 1.535, n.s.$)。GVrでは3Kick_D試

行(96±6%)が2Kick_D試行(88±6%)と比較して有意に高い値であった($F(1, 22) = 8.756, p < .01$)。

Glide Touchの分類結果を表5に示した。GLでは1Kick_G試行のUndulation試行が1.08±0.32m, Calming試行が0.65±0.19mであり、2Kick_G試行のUndulation試行は1.18±0.21m, Calming試行は1.30±0.22mであった。GTでは、1Kick_G試行のUndulation試行は0.71±0.13sec, Calming試行は0.47±0.11secであり、2Kick_G試行のUndulation試行は0.81±0.07sec, Calming試行は0.87±0.09secであった。GVは1Kick_G試行のUndulation試行は1.50±0.21sec, Calming試行は1.38±0.18secであり、2Kick_G試行のUndulation試行は1.44±0.17sec, Calming試行は1.48±0.13secであった。GLrでは1Kick_G試行のUndulation試行は60±11%, Calming試行は37±10%であり、2Kick_G試行のUndulation試行は75±9%, Calming試行は72±14%であった。GTrでは、1Kick_G試行のUndulation試行は60±11%, Calming試行は44±10%であり、2Kick_G試行のUndulation試行は75±9%, Calming試行は83±12%であった。GVrでは、1Kick_G試行のUndulation試行は100±15%, Calming試行は83±9%であり、2Kick_G試行のUndulation試行は88±6%, Calming試行は86±8%であった。

表4 Direct Touchにおける分散分析の結果

	levene	2Kick _D (N=9)	3Kick _D (N=15)	F Value
GL (m)	0.211	1.45±0.19	1.67±0.25	4.785*
GT (sec)	0.165	0.98±0.10	1.05±0.17	1.157
GV (m/sec)	0.382	1.47±0.10	1.59±0.07	8.836**
GLr (%)	0.305	82±11	96±14	6.109*
GTr (%)	0.184	94±9	100±14	1.535
GVr (%)	0.745	88±6	96±6	8.756**

*: $p < .05$ **: $p < .01$

表5 Glide Touchの結果

	1Kick _G		2Kick _G	
	Undulation (N=3)	Calming (N=23)	Undulation (N=6)	Calming (N=4)
GL (m)	1.08±0.32	0.65±0.19	1.18±0.21	1.30±0.22
GT (s)	0.71±0.13	0.47±0.11	0.81±0.07	0.87±0.09
GV (m/s)	1.50±0.21	1.38±0.18	1.44±0.17	1.48±0.13
GLr (%)	61±18	37±10	66±9	72±14
GTr (%)	60±11	44±10	75±9	83±12
GVr (%)	100±15	83±9	88±6	86±8

表6 各ゴールタッチのGLrとGVrの相関関係

ゴールタッチの種類	相関係数	有意確率
2Kick _D	.726	.027*
3Kick _D	.364	.182
1Kick _G Calming	.611	.002**

*: $p < .05$ ** : $p < .01$

4. ゴールタッチの種類および方法別のGLrとGVrの関係

表6にゴールタッチの種類別にGLrとGVrの関係を示した。2Kick_D試行は、有意な正の相関関係が認められた ($r = .726, p < .05$) が、3Kick_D試行では有意な相関関係が認められなかった ($r = .364, n.s.$)。1Kick_G試行のCalming試行は有意な正の相関関係が認められた ($r = .611, p < .01$)。

IV. 考 察

1. 本研究における試技の妥当性

ゴールタッチの巧拙は、レース分析におけるフィニッシュ局面（レースにおける最後の5m）の所要時間によって評価されてきた（日本水泳連盟, 2005, pp.173-176）。しかし、野村（1996）はフィニッシュ局面の泳速度の減速が著しい場合は、ゴールタッチを正当に評価できないことを報告した。この報告から、フィニッシュ局面の所要時間は、ゴールタッチの出来不出来による影響と泳速度の減速による影響を受けると考えられる。若吉ほか（2000）は50m自由形レースの5m毎のストローク分析から、性別、競技レベルに関係なく、レース進行に伴う泳速度の低下傾向とストローク頻度の低下傾向が有意な関係にあることを明らかにした。そのため、実際のレースのフィニッシュ局面を検討する場合、本実験試技と比較してかなり疲労した状態であると推察される。また、レースの進行に伴う疲労から呼吸数も増え、呼吸が泳速度およびストローク、ゴールタッチに影響を与えられられる。このように、実際のレースでゴールタッチを評価する場合、多くの要因があるため、ゴールタッチの技術のみを正当に評価できない可能性があると考えられる。

そこで、本研究の実験試技は、競泳のレースの距離で最も短い50mよりもさらに短い14m、15mおよび16mに設定し、バタフライのゴールタッチの巧拙はストローク局面の速度を基準にゴールタッチの速度がどのように変化したのかを割合で示すGVrで評価し

た。そのため、実験参加者がストローク局面を全力で行わない場合、GVrは過大評価されることとなり、正当に評価できないと考えられる。そこで、実験に先立ち、実験参加者には無呼吸かつ最大努力で行うように教示した。その結果、疲労による測定誤差を小さくできると考えられるが、実際のレースの疲労状態とは異なると考えられる。このような理由から、実際のレースのゴールタッチを分析する場合でも、実験で行うゴールタッチを分析する場合にも、正当に評価するには限界があると考えられる。

2. バタフライのゴールタッチを行う方法

バタフライのゴールタッチがどのように行われたのかをゴールタッチの種類、ドルフィンキック動作およびうねり動作によって分類した（表3）。Direct Touchはドルフィンキック動作を2回またはドルフィンキック動作を3回行う様子が確認できたため2類型に整理できた。Glide Touchは、うねり動作の有無とドルフィンキックを2回行う場合と3回行う場合に分類でき、4類型に整理することができた。本研究の結果からはバタフライのゴールタッチをDirect Touchの2類型とGlide Touchの4類型を合わせて計6類型が観察され、整理することができた。しかし、本研究で行われたゴールタッチの試行数を比較すると、1Kick_GのUndulation試行は3試行、2Kick_GのCalming試行は4試行、Undulation試行は6試行であった。実験参加者がこれらのゴールタッチの方法を選択する場合は稀であると考えられるため、統計処理の対象から除外した。今後、これらの有効性を検討することができれば、新たなゴールタッチの方法を提案できる可能性があると考えられる。

また、本研究は14m、15mおよび16mの3種類の試技を設定し、ゴールタッチの方法を実験参加者に自由に選択させて実験を行った。そのため、各実験参加者に多種多様なゴールタッチを行う方法が出現した。また、同じ距離設定であれば同じゴールタッチを行うと考えられたが、同じ距離でも異なるゴールタッチを行った試行は半数であった。このことから、実験参加者はゴールタッチに向かってストロークの調節を行いながら近づき、ゴールタッチ直前の最後の指尖部の入水位置に応じて、ゴールタッチの方法を選択していることが考えられる。また、実験参加者のなかには14m、15mおよび16mのどの距離であっても、ゴールタッチ直前の最後の指尖部の入水位置を調節し、同様のゴールタッチの方法を行っていた者が3名いた。こ

これらの実験参加者のように、ゴールタッチで減速を小さくするためには、ゴールタッチ直前の最後の指尖部の入水位置によってゴールタッチの方法が異なるため、ゴールタッチに向かうまでにストロークを調節する必要性があると考えられる。

3. ゴールタッチ直前に行われる動作の分類とその有効性の検討

1) うねり動作

Maglischo (2003, p.165) は身体を水平な状態にして泳いだ方が抵抗は小さくなると考えられるが、バタフライの場合はうねり動作を行うことによって、高いスピードを獲得できると述べた。また、Sanders et al. (1995) はバタフライの身体のうちうねり動作は頭部と肩部が動くことによって臀部や足部が動き、頭部や肩部が沈む時に下方への速度が増加することを示した。その際、泳者は手部を進行方向前方に向け、下方への推進力を前方に置換させることで、水平方向の推進力を獲得できると推察され、うねり動作は前方への推進力を有すると考えられる。本研究では試行数が少数であったため、統計処理を行うことができなかった。今後、うねり動作の有効性を検討する必要がある。

2) ドルフィンキック動作

バタフライのストロークとドルフィンキックのタイミングは、手部の入水後に1回目のドルフィンキックを行い、ストローク中に2回目のドルフィンキックを行うことが示されている (Seifert et al., 2008)。また、水泳の専門書にも「バタフライは通常、1回ストローク中に2回ドルフィンキックを行い、1回目のドルフィンキックは、手の入水からアウトスイープ時に行い、2回目は腕のアップスイープ時に行う。」と記載されている (日本水泳連盟, 2006)。このことから、Glide Touchの2Kick_G試行における2回目のドルフィンキックは、ストロークは行っていないものの、ストローク中に行うドルフィンキックのタイミングと同様のタイミングでドルフィンキックが行われたと考えられ、そのタイミングよりも早くゴールタッチを行った場合は1Kick_Gになると考えられる。杉本ほか (2008) は水中ドルフィンキックの1キック中の速度変動をシミュレーション手法によって、ダウンビート開始に伴って加速していることを報告した。以上のことから、ゴールタッチ時の減速を小さくするためにGlide Touchでドルフィンキックによる推進力を十分に得るためには距離を要する可能性が示された。

一方、Direct Touchは、2回行う場合 (2Kick_D試行)

と3回行う場合 (3Kick_D試行) が観察できた。その有効性を検討したところ、GV_rは2Kick_D試行 (88 ± 6%) が3Kick_D試行 (96 ± 6%) と比較して有意に小さい値であった。しかし、映像を確認した結果、ゴールタッチ直前の最後の指尖部の着水後に1回目のドルフィンキックを行い、腕のアップスイープ時に2回目のドルフィンキックを行った後、リカバリー動作を行っている最中にドルフィンキックを行い、その直後にゴールタッチを行う動作が確認できた。これは、Glide Touchの場合と同様に、3Kick_D試行は3回目のドルフィンキックの膝関節が最大伸展した直後にゴールタッチを行うため、ドルフィンキックによる推進力が十分ではないと考えられる。そこで、GL_rの値を比較すると、2Kick_D試行 (82 ± 11%) は3Kick_D試行 (96 ± 14%) と比較して有意に低い値であった。このことから、実験参加者のストローク長に対して、ゴールタッチに要する距離がどの程度あるのかによって、ゴールタッチの巧拙に影響を及ぼす可能性があると考えられる。

4. ゴールタッチに要する距離がゴールタッチに与える影響

Glide Touchでうねり動作が行われず、ドルフィンキックを1回行う場合には、GL_rとGV_rに有意な正の相関関係が認められた (表6)。この結果は、実験参加者のストローク長に対するゴールタッチに要する距離の割合がどの程度短くなれば、どの程度速度が低下するのかを示す。つまり、実験参加者のストローク長よりもゴールタッチに要する距離が短くなればなるほど、ゴールタッチ時に減速する可能性が示された。Troup (1990) は、バタフライの1ストロークサイクルにおける速度変動について、リカバリーの後半に減速し、手部が着水した後、ドルフィンキックによって加速し、キャッチが行われる際が最も高い速度であることを示した。このことから手部の着水直後は速度が減速し、徐々に加速する局面であると推察された。Glide Touchを行う際には、ストローク長に対して、ゴールタッチに要する距離が短くなり過ぎるのを避ける方が良い可能性が示された。

Direct Touchにおけるストローク長に対するゴールタッチに要する距離は2Kick_D試行 (82 ± 11%) が3Kick_D試行 (96 ± 14%) と比較して、約14%有意に短いことが明らかとなった。2Kick_D試行は通常よりも早いタイミングでドルフィンキックを行おうとしても、3Kick_D試行と比較してゴール壁面までの距離が短いた

め、ドルフィンキックが行えなかった可能性が高いと推察される。さらに、2Kick_D試行では、GLrとGVrに有意な正の相関関係が認められた(表6)。このことから、3回目のドルフィンキックを行わない場合、ストローク長に対するゴールタッチに要する距離の短縮は、ゴールタッチ時の減速につながる事が推察された。Direct Touchはストロークを行った後、手部を進行方向前方へ戻すリカバリーの動作を行っている最中に行うゴールタッチである。実験参加者のストローク長に対して、ゴールタッチに要する距離が十分でない場合、手部を前方へ伸ばす前にゴールタッチを行うこととなるため、ゴールタッチ時で減速すると推察される。このように、Direct Touchを行う場合は、ストローク長がゴールタッチに要する距離に対して短くなり過ぎないようにすることによって、ゴールタッチ時の減速を小さくできる可能性が示された。

以上のことから、バタフライのゴールタッチを行う際には、Direct Touchを行う場合でもGlide Touchを行う場合でも泳者は自身のストローク長がどの程度なのか把握しながら、ゴール壁面までの距離を推測する必要があると考えられる。コーチングを行う際には、泳者にとってゴールタッチが行いやすいような、ゴールタッチ直前の最後の着水位置をコントロールさせるトレーニングを行う必要があると考えられる。

5. 本研究の課題

本研究の課題として、GVrが100%を超える値、つまりゴールタッチ時に速度が向上した試行がみられた。これは実際にゴールタッチ時に速度が向上したのではなく、ゴールタッチ直前のストロークでの泳速度が減少し、最後のゴールタッチを素早く行うことによって生じた可能性が高いと考えられる。実験参加者は無意識のうちにゴールタッチ直前の指尖部の着水までに泳速度を減速させ、ゴールタッチを素早く行うような、ゴールタッチを合わせるための調節を行ったと考えられる。このような調節を行った選手に対して、ストローク局面とゴールタッチ局面の分類を説明し、ストローク局面で泳速度を落とさないように泳ぐことを指導すれば、バタフライのゴールタッチのパフォーマンスを向上させることができると考えられる。今後、ゴールタッチ直前の指尖部の着水以前も含めて検討する必要がある。

V. 結論

本研究はバタフライのゴールタッチを定量化し、ゴールタッチの方法およびゴールタッチ直前に行う動作の有効性を検証することを目的とした。その結果、次の点が明らかとなった。

1. バタフライのゴールタッチの方法とゴールタッチ直前の動作を分類し、定量化することで、バタフライのゴールタッチ時に行われる動作の特徴を把握することができた。
2. ドルフィンキック動作やうねり動作の有効性は認められなかったが、ゴールタッチ直前の最後の指尖部の着水位置からゴール壁面までの距離を調節する必要性が示された。
3. ゴールタッチでの減速を避ける方法は、Direct TouchおよびGlide Touchのいずれの場合においても、ゴールタッチ直前の最後の指尖部の着水位置からゴール壁面までの距離がストローク長に対して小さくなりすぎるのを避けることであると示された。本研究の成果によって、理想的なバタフライのゴールタッチができなかった場合の次善策が明らかとなり、競泳のコーチング学への貢献を促すことができた。

文献

- 合屋十四秋, 松井敦典, 高木英樹 (1997) クロール泳におけるフリップターンの習熟過程, *バイオメカニクス研究*: 390-394.
- 生田泰志 (1998) バタフライの科学—スタート, ターン, フィニッシュについて—, *バタフライに関する調査研究報告書*: 51-59.
- 糸山直文 (1987) 初心者のための水泳教室, 高橋書店: 東京, 102.
- Troup, J.P. (1990) World Championships Video Analysis of Competitive Swimming, International Center for Aquatic Research annual The International Center for Aquatic Research 1989-91, United States Swimming Press: Colorado Springs, 81-100.
- 河合正治 (1990) 勝負を決めるスタート・ターン技術, *スイミング&ウォーターポロマガジン*, 14, 12, ベースボールマガジン社: 東京, 66-69.
- Maglischo, E.W. (2003) SWIMMING FASTEST, Human Kinetics: United States, 165-167.
- 野村照夫 (1996) 平泳ぎの科学—スタート, ターン, フィニッシュについて—, *平泳ぎに関する調査研究報告書*: 31-41.
- 奥野景介, 生田泰志, 本部洋介, 石川昌紀, 若吉浩二, 野村照夫 (1999) 男子50m自由形におけるストロークパラメータの変動に関する研究—1997年度日本選手権において—, *スポーツ方法学研究*, 12, 1: 17-24.

- 尾関一将, 桜井伸二, 田口正公 (2010) 競泳スタートにおける入水方法がパフォーマンスに与える影響, *バイオメカニクス研究*, 14, 1: 12-19.
- Sanders. R.H., Cappaertl. J.M., Devlini. R.K. (1995) WAVE CHARACTERISTICS OF BUTTERFLY SWIMMING, *J. Biomechanics* 28, 1, 9-16.
- Seifert L, Boulesteix L, Chollet D, Vilas-Boas JP. (2008) Differences in spatial-temporal parameters and arm-leg coordination in butterfly stroke as a function of race pace, skill and gender, *Human Movement Science*, 27, 1, 96-111.
- 杉本誠二, 中島 求, 市川 浩, 三輪飛寛, 武田 剛, 野村武男 (2008) シミュレーション解析による水中ドルフィンキック時の足関節底屈角度の増加がパフォーマンスに与える影響, *体育学研究*, 53, 51-60.
- 立 正伸 (2004) 第14回アジア大会におけるレース分析報告, *Japanese Journal of Sciences in Swimming and Water Exercise*, 6, 45-47.
- Takeda Tsuyoshi (2009) Do differences in initial speed persist to the stroke phase in front-crawl swimming?, *Journal of Sports Sciences*, 27, 13: 1449-1454.
- 田中孝夫監 (1993) 速くきれいに泳ぐ水泳教室 (第2版), 高橋書店: 東京, 106-109.
- 椿本昇三 (1989) ビギナーズ・スイミング, ナツメ社: 東京, 158.
- 若吉浩二, 劉 華, 森 弘暢, 福本隆行, 小野桂市 (2001) 日本選手権における競泳100m自由形レースにおける泳速度とストローク変数の変化に関する研究, *スポーツ方法学研究*, 14, 1, 33-40.
- 吉村 豊, 高橋雄介 (1996) スイミング, 池田書店: 東京, 100-103.
- 財団法人日本水泳連盟編 (2010) 水泳指導教本 (第3版), 大修館書店: 東京, 99-100.
- 財団法人日本水泳連盟編 (2006) 水泳教師教本 (第3版), 大修館書店: 東京, 31-33.
- 財団法人日本水泳連盟競技委員会 (2010) 競泳競技規則, 財団法人日本水泳連盟競技委員会: 東京, 13-15.

平成24年10月16日受付

平成25年2月14日受理

Evaluation of motion on underwater monofin swimming for novice

Tetsuro Tanigawa¹, Masahiro Terada², Hiroe Kataoka³, Tomoyoshi Matsumoto⁴, Masashi Kamiya¹, Azusa Taguchi¹, Noriyuki Kida¹, Teruo Nomura¹

¹Kyoto Institute of Technology, Japan, ²Kobe City College of Technology, Japan, ³Meiji University of Integrative Medicine, Japan, ⁴Graduate School of Osaka Kyoiku University, Japan

Keywords: finswimming, monofin, apnea, novice, sine wave

This study aims to evaluate the relationships between horizontal velocity, kick rate, kick length, and the range of motion of each body part in apnea finswimming. Research was conducted on 81 male and 26 female high-school swimmers without monofin swimming experience. Each subject swam at their maximum performance during the test. Measurements for motion analysis were taken for the wrists, elbows, shoulders, hips, knees, ankles and the tip of the monofin. We used the vertical displacement of each body part over time to approximate a sine wave ($z=a_1*\sin(b_1*t+c_1)+d_1*t+e_1$). Using these figures, we observed the following three points.

1) For male subjects, no correlations were observed between horizontal velocity and the length of amplitudes of the wrists, elbows, shoulders, hips and knees. For females, no correlations were found between horizontal velocity and the length of amplitudes of the shoulders and hips. 2) There was a negative correlation between kick rate and amplitudes for both males and females (Elbow $r = -.660$, $p < .01$) 3) There was a significant positive correlation between kick length and the amplitudes of the lower limbs. (Males: Ankle $r = .888$ $p < .01$, Females: Ankle $r = .863$ $p < .01$)

Introduction

Finswimming refers to 'progression with monofin or with two fins either on the surface or underwater, by means of the swimmers' muscular force only and without use of any mechanism', (World Underwater Federation 2013a). Finswimming encompasses the following four disciplines. Apnea is underwater finswimming with a large monofin resembling the tailfin of a dolphin. Immersion swimming involves diving with an oxygen tank. Surface swimming is swimming on the surface of water with snorkeling gear, and bifen swimming is swimming crawl style with two fins, as used for diving (World Underwater Federation 2013b). The world record for 50-meter apnea finswimming is 13.89 seconds, which is 7.02 seconds faster than the world swimming record 20.91 seconds (World Underwater Federation 2013c; International Swimming Federation 2013b). Finswimming enables athletes to swim at a high speed that cannot be experienced in regular swimming, but it is not as widespread as regular swimming. In order to promote the spread and development of finswimming, it is necessary to research common points of failure observed in inexperienced fin swimmers, and establish better instruction methodologies for beginners.

The research studies on finswimming (Rejman & Ochmann 2007; Rejman & Ochmann 2009; Nicolas et al. 2010) include kinematics studies, (Nicolas et al. 2007) physiological studies, (Zamparo et al. 2006; Boitel et al. 2010) and more. However, there are few previous studies focusing on inexperienced monofin swimmers. The study of Gautier et al. (2004) compared swimmers with low training levels to advanced swimmers, and found that the amplitude of the motion of the upper limbs was large, but the motion of the lower limbs was small. It is clear that the amplitude of each body part is an important factor in swimming speed, but despite the fins used in finswimming, the amplitude of the fin was not mentioned. We deemed it necessary to conduct an analysis including the motion of the fin. The previous studies showed that the relationship between amplitude and swimming speed differs for each body part, but the fin was not discussed. If any correlation between swimming speed and some aspect of a swimmer's motion is found, swimmers should receive more instruction in control of that motion. For parts of the motion that do not affect swimming speed, instruction in controlling that movement becomes lower priority. Thus, analyzing the relationships between the motion of each body part and swimming speed enables instructors to provide better guidance regarding form and technique for inexperienced monofin swimmers.

Rejman (2013) reported a correlation among propellant speed, kick rate, (number of kicks per second, Hz) kick length, (forward distance produced by one kick, m / kick) and amplitude. It is believed that finswimming enables swimmers to increase the amplitude of each body part. It also increases kick length and allows a faster kick rate, which improves swimming speed. However, Nicolas et al. (2007) stated, 'The Strouhal number is a trade-off between amplitude and frequency that generates a forward velocity.' This study showed that swimmers with higher kick rates and smaller amplitudes of motion, or slower kick rates with larger amplitudes, had improved swimming speeds. Unfortunately, the subjects were all international level swimmers, and no consideration was made of beginner finswimming competitions. Generally, inexperienced fin swimmers are unskilled at apnea finswimming, so they tend to have both small amplitudes and slower kick rates. In such cases, one might observe no negative correlations between kick rate and the amplitude of each body part, and thus not observe the 'trade-off', or correlation, described above. If there is no observable trade-off, it is possible to improve both the amplitude and kick rate for beginners. On the other hand, no studies about the relationship between amplitude and kick length had been published at the time of this writing, and the relationship between amplitude, kick rate, and kick length has not been verified. Clarifying these relationships would allow educators to find ways to enhance the swimming speeds of inexperienced monofin swimmers.

In this study, we had high-school swimmers without monofin swimming experience attempt apnea finswimming, and evaluated the relationships between the amplitude of each body part and swimming speed, kick rate, and kick length.

Methods

This study protocol was approved by the Kyoto Institute of Technology Ethics Committee for Scientific Research Involving Human Subjects. The subjects were 107 high-school swimmers without monofin swimming experience, comprised of 81 males (height: 170.1 (5.5) cm, weight: 58.1 (5.6) kg, FINA Points: 412.5 (107.2) points) and 26 females (height: 159.8(3.3) cm, weight: 50.0 (4.9) kg, FINA Points: 479.9 (108.5) points). The FINA Points system assigns points to swimming performances to allow comparison across different events, and helps to distinguish the levels of each category (International Swimming Federation 2013a). Prior to the experiment, all participants carried out warm-up exercises and equipped a monofin according to our instructions. As a safety precaution, we instructed swimmers on how to move in the water without swimming. We then had them swim 25 meters apnea at their maximum performance during the test. Images were taken from the swimmer's right side using an underwater video camera (SONY, HXR-MC1, 59.94 Hz). The video camera was set on a tripod to fix the angle of view, and recorded from between 7 and 11 meters from the right side of the participants. After recording, the videos were transferred to PC and analyzed using motion analysis software, (Frame DIAS-IV, DKH Co.,). The horizontal direction of the image was defined as the Y-axis and the vertical direction was defined as the Z-axis, with the coordinate system at rest. Apnea swimming includes none of the rolling motion of crawling, and performance was measured in a two-dimensional motion plane. The targets of our analysis were the motions of the subjects' wrists, elbows, shoulders, hips, knees, and ankles, and the tip of the fin. All points were digitised manually. The high frequency component was extracted using a Butterworth digital low pass filter with 6Hz cutoff frequency. One cycle is defined as the period starting when each body part reached its highest position, and ending when that body part returned to that high position. The coordinates of each body part were calculated by actual length conversion. Using the time and the coordinates of each body part, we approximated vertical position over time as a sine wave, to more easily calculate the amplitude. This approximation is described here as Formula 1.

$$z=a_1*\sin (b_1*t+c_1) +d_1*t+e_1 \quad \text{(Formula 1)}$$

In Formula 1, a_1 indicates amplitude/2, b_1 is for frequency, c_1 is the starting point of the sine wave, d_1 is the decline of the baseline, and e_1 indicates the offset of the baseline. The amplitude of each body part is $2a_1$. Kick rate is the average value of $b_1/2\pi$ for each body part. The horizontal component of hip movement over time was approximated using a linear function, as described in Formula 2 below.

$$y=a_2*t+b_2$$

(Formula 2)

The horizontal velocity (Ve, m/s) was set as a_2 . Kick length was calculated by dividing horizontal velocity by kick rate. The data for amplitude of each body part, Ve, kick rate, and kick length were analyzed by Pearson product-moment correlation coefficient. The significance level was set to less than 5%.

Results

The correlation coefficients between Ve, kick rate, kick length and amplitude of each body part are indicated in Table 1. No correlation was observed between wrists, elbows, shoulders, hips, and knees, but a significant positive correlation was observed for ankles and fin for male subjects. For female subjects, no correlation was observed between horizontal velocity and the movement of the shoulders and hips, but a negative correlation was found for wrists and elbows. The positive correlation between knees, ankles and fin was not observed. For both males and females, we observed a significant negative correlation between kick rate and all body parts, and a significant positive correlation between kick length and the lower limbs. In males, but not females, we observed a significant positive correlation between kick length and all body parts. For females, no significant correlation was found between kick length and wrists and elbows, but a significant positive correlation was observed between kick length and shoulders, hips, knees, ankles and fin.

Table 1 Correlation between Ve, kick rate and kick length and Amplitude of Each Body Part

Boys	Amplitude						
	Wrist	Elbow	Shoulder	Hip	Knee	Ankle	Fin
Ve (m/s)	-.153 n.s.	-.115 n.s.	.070 n.s.	.171 n.s.	.134 n.s.	.497 **	.409 **
KR (Hz)	-.551 **	-.660 **	-.552 **	-.505 **	-.572 **	-.311 **	-.367 **
KL (m/kick)	.448 **	.607 **	.687 **	.760 **	.767 **	.888 **	.862 **
Girls							
Ve (m/s)	-.434 **	-.415 **	.118 n.s.	.245 n.s.	.292 **	.591 **	.594 **
KR (Hz)	-.570 **	-.660 **	-.554 **	-.565 **	-.551 **	-.242 *	-.270 *
KL (m/kick)	.063 n.s.	.186 n.s.	.624 **	.772 **	.779 **	.803 **	.856 **

*p<.05, **p<.01

Ve: Horizontal Velocity (m/s), kick rate: Kicking Rate (Hz), kick length: Kicking Length (m/kick). The distance moved forward by one kicking

Discussion

With regard to the relationship between horizontal velocity and the amplitude of each body part, no correlation between horizontal velocity and wrists and knees was observed for male subjects, and no correlation between horizontal velocity and shoulders and hip was found for female subjects. To improve the swimming speed of inexperienced monofin swimmers, it is expected that teachers would prioritise training for the body parts associated with speed. Moreover, gender differences were observed for some body parts associated with horizontal velocity. In their functional model of monofin swimming technique, Rejman & Ochmann (2007) indicated, 'Our results pointed out the need to intensify the angular velocity of thigh extension and dorsal flexion of the feet, to strengthen velocity of attack of the tail and to accelerate the attack of the distal part of the fin.' It can be seen that the lower limbs' muscle power is required to increase swimming speed. Furthermore, Tachi (2003) measured isometric knee joint extension torque and leg extension power, and observed that these values were lower in females in comparison to males. The females who participated in our study are likely to lack the muscular development required for improvement of swimming speed. With regard to the difference in competition level, Geladas et al. (2005) suggested that beginners with little training show greater amplitude for the upper limbs, and a smaller amplitude for the lower limbs, compared to advanced swimmers with more training. The results of this study show a

connection between amplitude of the lower limbs and swimming speed, consistent with the previous study, for both males and females. Regarding the amplitude of the upper limbs, a negative correlation was found between horizontal velocity and amplitude of wrists and elbows for females. No such correlation was found for males, so this finding is not consistent with the previous study. This point can be considered a characteristic of inexperienced male monofin swimmers. Differences in finswimming ability due to competition levels were observed in our female subjects, but may not be observed for males. In conclusion, gender differences were observed in the relationships between horizontal velocity and the amplitude of each body part, but these differences may be affected by differing competition levels.

Nicolas et al. (2007) discussed the possibility of a 'trade-off' existing between kick rate and amplitude. If the amplitude of each part of the body is different, kick length and kick rate can be expected to differ as well. The results of this study indicate a negative correlation between the amplitude of each body part and kick rate for inexperienced monofin swimmers, and confirm the existence of the 'trade-off'. Even when increasing the amplitude to improve swimming speed, a decrease in kick rate is likely, but this is unlikely to improve swimming speed. As a result, in order to improve swimming speed for inexperienced monofin swimmers, it is necessary to perform drills to increase the amplitude of the lower limbs and speed training to improve the maximum kick rate.

On the other hand, there is no report about the relation between kick length and amplitude of each body part. Oshita (2008) compared finalists and non-finalists of the World Championships 50-meter surface race, and found a difference in kick length, but no difference in kick rate. Amplitude was not discussed. Two-dimensional DLT capture with a video camera is mainly used for calculating amplitude, (Nicolas & Bideau 2009). The disadvantage of this method is that it cannot be conducted in actual finswimming competitions, so it requires much time and effort to set up a test site. In contrast, kick length can be calculated by dividing horizontal velocity by kick rate. Horizontal velocity can be calculated by dividing the distance by time, and kick rate can be calculated by dividing the number of kicks by the swimmer's time. Thus, if the number of kicks can be measured, it is possible to calculate simplified velocity, kick rate and kick length. If the relationship between kick length and amplitude can be understood, it will be possible to estimate the amplitude of the lower limbs from kick length. The results of this study showed a significant positive correlation between kick length and the amplitude of the lower limbs for both males and females. This shows that it is possible to estimate the amplitude if kick length can be calculated. In the future, if the amplitude of the lower limbs can be estimated from kick length, (which is relatively easily calculated,) amplitude can be more easily used as an indicator for training.

Conclusions

The purpose of this study is to verify the relationship between the amplitude of body parts and swimming speed, kick rate and kick length in apnea finswimming by high-school swimmers without monofin swimming experience. Our results allow us to clarify the following three points. 1) Since no correlation was observed between the swimming speed and the amplitude of wrists and knees for males, and the amplitude of shoulders and hips for females, we can conclude that some body parts have no relation to swimming speed. 2) A negative correlation was observed between amplitude and kick rate, which verified the existence of a trade-off between amplitude and kick rate for inexperienced monofin swimmers. 3) A significant positive correlation was observed between kick length and the amplitude of the lower limbs, which indicates that it is possible to estimate the amplitude from kick length.

Acknowledgment

We received instructions and cooperation from many high school swimming club coaches and the many swimming club members who assisted in this study. We would like to take this opportunity to express sincere appreciation to all of you.

References

- Federation International de Natation (2013a). FINA Point Scoring 2013 Women, Long Course (50m). Retrieved November 27, 2013, from Federation International de Natation Web site: http://www.fina.org/H2O/docs/FINApoints/2013_LCM_Women.pdf
- Federation International de Natation (2013b). Swimming World Records. Retrieved November 27, 2013, from Federation International de Natation Web site: http://www.fina.org/H2O/docs/WR_Oct82013.pdf
- Gautier, J., Baly, L., Zanone, P. G. & Watier, B. (2004). A kinematic study of finswimming at surface. *Journal of Sports Science and Medicine*, 3, 91-95.
- Nicolas, G., Bideau, B., Colobert, B. & Berton, E. (2007). How are Strouhal number, drag, and efficiency adjusted in high level underwater monofin-swimming?. *Human movement science*, 26(3), 426-442.
- Nicolas, G. & Bideau, B. (2009). A kinematic and dynamic comparison of surface and underwater displacement in high level monofin swimming. *Human movement science*, 28(4), 480-493.
- Oshita, K., Ross, M., Koizumi, K., Yano S., Kashimoto, S., Takahashi, K. & Kawakami, M. (2008). Relationships of Waving rate, Waving length, and swimming velocity in the 50 m Surface — Comparison of the finalists and the non-finalists in the world championships of Finswimming —. *Japanese Society of Sciences in Swimming and Water Exercise*, 11(1), 14-18.
- Rejman, M. & Ochmann, B. (2007). Functional model of monofin swimming technique based on the construction of neural networks. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(2), 193-203.
- Rejman, M. (2013). Analysis of Relationships between the Level of Errors in Leg and Monofin Movement and Stroke Parameters in Monofin Swimming. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12, 171-181.
- Tachi, M., Ushiyama, J., Miyatani, M., Kuno, K., Kanehisa, H., Fukunaga, T. (2003). Age- and gender related differences in knee extension torque and lag extension power. *The Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 52, 141-148.
- World Confederation of Underwater Activities (2013a). About Finswimming. Retrieved Dec. 25, 2013, from World Confederation of Underwater Activities Web site: <http://www.cmas.org/finswimming/about-2012032622>
- World Confederation of Underwater Activities (2013b). Finswimming Rules. Retrieved Dec. 25, 2013, from World Confederation of Underwater Activities Web site: <http://www.cmas.org/document?sessionId=&fileId=2538&language=1>
- World Confederation of Underwater Activities (2013c). World Records. Retrieved Dec. 25, 2013, from World Confederation of Underwater Activities Web site: <http://www.cmas.org/document?sessionId=&fileId=2776&language=1>

高校女子水泳選手を対象としたフィンスイミング授業の指導実践 ーモノフィン泳未経験者を対象としてー

谷川哲朗¹⁾, 川西英里香²⁾, 来田宣幸¹⁾, 野村照夫¹⁾

¹⁾京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科

²⁾夙川学院中学校高等学校

キーワード: フィンスイミング, 体育授業, モノフィン, アプニア, 未経験者

【要旨】

本研究は、モノフィン着用歴のない高校女子競泳選手 12 名を対象に、フィンスイミング授業を行い、泳速度、Kicking Length および Kicking Rate (KR) の変化、泳動作の変容と参加者が抱える課題を明らかにすることを目的とした。トレーニングは、足部の振幅を増大させて泳速度を高める目的で行い、週 1 回の頻度で 5 週間連続して実施された。トレーニング終了後、25m アプニア泳を最大努力泳で実施させた。その結果、アプニア泳の記録は授業 1 回目 (14.21±2.48s) と比較して、5 回目 (11.83±1.42s) が有意に向上した。フィン先端の振幅は 0.26m から 0.30m 以上に増大した。動作の習熟により、アプニア泳記録と振幅は負の相関から正の相関に変化した。アプニア泳記録と KR との関係は、2 回目以降に有意な負の相関関係がみられた。アプニア泳の難しさについて、内省報告および面接調査を行った結果、上肢の動き、水中姿勢、ゴールタッチおよび周辺スキルは、具体的な動作に対する難しさが回答されなかった。以上のことから、フィンスイミング指導では、次の順序で指導することが提案された。1. プールの入退水、泳がずに水中を移動、方向転換する方法等の周辺スキルを指導する。2. フィンの振幅を増大させる。3. KR を増大させる。

スポーツパフォーマンス研究, 6, 113-125, 2014 年, 受付日:2013 年 11 月 30 日, 受理日:2014 年 7 月 23 日

責任著者: 谷川哲朗 〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎橋上町 京都工芸繊維大学 1 号館 503 号室

E-mail:d9811007@edu.kit.ac.jp

Coaching inexperienced female high school swimmers in mono fin swimming

Tetsuro Tanigawa¹⁾, Erika Kawanishi²⁾, Noriyuki Kida¹⁾, Teruo Nomura¹⁾

¹⁾ Graduate school of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology

²⁾ Shukugawa Gakuin Junior high school & High school

Key Words: fin swimming, physical education, mono fin, apnea swimming,
inexperienced swimmer

[Abstract]

In the present study, 12 female high school swimmers who had never used a mono fin were given fin-swimming lessons aimed at clarifying changes in their swimming speed, kick length, kick rate, and swimming motion, and also at identifying any problems. Training was given once a week for 5 weeks, aiming to increase their swimming speed by increasing the span of their leg swing. After that, they did apnea swimming for 25 meters at maximum effort. The participants' apnea swimming improved significantly from the first time (14.21 ± 2.48 s) to the fifth time (11.83 ± 1.42 s). The swing of the fin edge increased from 0.26 m to 0.30 m. By mastering the leg motions, the correlation between the participants' apnea swimming results and their swing changed from negative to positive. After the second training session, the correlation between their apnea swimming speed and their kick rate was significant. Introspective reports and interviews with the participants did not reveal any difficulty in specific motions such as upper limb motion, underwater posture, goal touch, or other related skills. These results suggest that coaching mono fin swimming should be provided in the following order: (a) entering and leaving the swimming pool, moving in the water without swimming, and related skills such as turning, (b) increasing the fin swing, and (c) increasing the kick rate.

I. 緒言

フィンスイミング競技は、足ひれを使用して水面または水中を泳ぎ、その記録を競う競技である(World Confederation of Underwater Activities, 2013a)。足ひれの種類は2種類に大別され、イルカのような大きな1枚の足ひれ(モノフィン)とダイビングで使用されるような2枚の足ひれ(ビーフィン)がある。フィンスイミングの泳法は、潜行するアブニア泳法、酸素ボンベで呼吸を行いながら潜行するイマージョン泳法、シュノーケルを装着して水面を泳ぐサーフィス泳法、ビーフィンを装着してクロールを泳ぐビーフィン泳法の4泳法がある(World Confederation of Underwater Activities, 2013b)。50m アブニアの世界記録は13.89秒(World Confederation of Underwater Activities, 2013c)であり、競泳の世界記録である20.91秒(Federation International de Natation, 2013a)よりも7.02秒速い。このように、フィンスイミングは、競泳では体験することができないスピードで泳げる魅力がある。また、アブニア泳法はモノフィンを用いてバタフライキックを行うことから、競泳のバタフライ競技と同様のキック動作で推進力を獲得する。したがって、競泳経験を有している場合、習得が容易な動作であると考えられる。

ところが、2013年度のフィンスイミング日本選手権の出場数は、競泳の日本選手権出場者数681名(公益財団法人日本水泳連盟, 2013)と比較して、248人と少数であった(特定非営利活動法人日本水中スポーツ連盟, 2013)。フィンスイミング競技の人数が少ない要因の1つとして、フィンスイミング競技特有の動作の難しさがあると考えられる。現在、日本代表選手が中心となって、フィンスイミング体験会やデモンストレーション等の普及活動が日本各地で行われている。この体験会での指導方法は、運動指導現場における経験知によって行われているが、そのようなトレーニング方法がアブニア泳中の動作に与える影響について検討された報告はない。フィンスイミングの初心者を対象とした研究は、サーフィス種目の上級者と未経験者の動作を比較した報告(Jimmy et al., 2004)のみであり、指導に関する研究は報告されていない。そのため、フィンスイミングの初心者指導は、上達に必要な指導方法や指導時のポイントが不明確な状態で行われていることがわかる。これらのことから、フィンスイミングの普及・発展には、モノフィン着用歴のない競泳選手の特徴や蹉跌をきたすポイントを整理する必要があると考えられる。これが明らかとなれば、フィンスイミング競技の経験豊富な選手や指導者でなくとも、フィンスイミング競技の指導を行うことができる。稲垣と岸(2011)は、着衣泳に関する実践的な研究、矢野と三村(2005)は、安全な臨海学舎を目指した実践的な研究を行い、指導現場に必要な方法や情報を整理、把握した。これらの例から、フィンスイミングに必要な指導を探求する方法は、フィンスイミング体験会で実際に行われている指導を実施することによって、参加者が行った動作を評価し、参加者が感じた内省を整理、把握する必要があると考えられる。動作の特徴は、キネマティクスの研究を行うことによって数値で示すことができるが、蹉跌をきたすポイントについては、体験者の内省を聞く必要があると考えられる。松尾(2010)は、投球動作指導における着眼点の分類と指導者間の意見の共通性を定性的な観察法によって整理・分類した。体験者の内省を整理し、泳者が感じる難しさが明らかになれば、フィンスイミング体験会時の指導のポイントになると考えられる。

そこで本研究では、モノフィン着用歴のない高校女子競泳選手を対象にフィンスイミング授業を行い、泳速度、Kicking Length および Kicking Rate の変化、参加者の泳動作の変容と参加者が抱える課題を明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. フィンスイミング授業の参加者

フィンスイミング授業は、A高等学校のスポーツ総合演習(水泳)の授業の一部として行われた。その参加者は年間を通じて競泳の練習を行っており、モノフィン着用歴のない高等学校女子競泳選手 12名(身長:1.59±0.06m, 体重:51.4±6.7kg, 水泳歴:12.5±4.2年, FINA Point:572.6±161.7ポイント)であった。FINA Point は各競技種目の世界記録を基準にポイント化した指標である(Federation International de Natation, 2013a)。これにより、バタフライ、背泳ぎ、平泳ぎ、自由形などの異なる競技種目であっても、世界記録を基準とした泳力レベルで比較することができる。参加者の競技レベルは、都道府県大会出場レベルからインターハイ出場レベルであった。なお、本研究の遂行にあたり、京都工芸繊維大学のヒトを対象とする研究倫理審査委員会の承認を得た。さらに、参加者が属する高等学校の学校長、水泳部顧問および参加者の保護者、参加者に書面で研究参加への同意を得た。

2. 授業の内容

(1) 指導プログラム

フィンスイミング授業(授業)は、25m 温水室内プール(7コース)にて、1時間の指導を週1回の頻度で5週間連続して実施された。この指導プログラムは、フィンスイミング競技の競技歴6年(競技最高成績:2007年フィンスイミング世界選手権 第5位、元アジア記録保持者)および特定非営利活動法人日本水中スポーツ連盟の第3級の審判資格を持った経験者1名によって行われた。

表1 授業の各日程の主な指導事項

授業	指導事項
1回目	モノフィンの取り扱い方 壁の蹴り方
2回目	上肢を上下に動かす 手足の動作のタイミングを合わせる
3回目	2回目の復習
4回目	お尻を上方に動かす 下方までキックをする 膝を曲げすぎない
5回目	4回目の復習

フィンのはきかた

■ モノフィン編

モノフィンは、自分の足サイズより少し小さめの物を選ぶ場合がほとんどなので、力任せにはくとフィンの破損につながる。

はき方は、脱ぎ方が数種類あるが、ここでは基本的な方法を記載する。

①はくための準備

フィンははきやすくするため、ワセリンや石鹸をほんの少量使用する。

摩擦を減らすために、ビニールやソックス等を使用したりもする場合もある。



ブーツの中と足の甲の周りに少量塗ると容易にはける。

②はき方

フィンに対して足をまっすぐ入れてまっすぐ力を加える。

写真のように斜めに足をいれ、力を加えると破損の原因やはきにくくなる。

間違っただき方



正しいまっすぐはき方



片足ずつ、まっすぐ



③脱ぎ方

はき方の逆の方法でフィンを抜く。



かかとの部分をはずしてからまっすぐ片足ずつフィンを脱ぐようにする。

図1 モノフィンの履き方と脱ぎ方

表1に授業の各日程の主な指導内容を示した。第1回目は「アブニア泳法の実施と指導」の前に経験者1名による模範泳法(動画1)を行った。その後、モノフィンの破損や参加者の安全のため、モノフィンの履き方と脱ぎ方(図1)、陸上を座って移動する方法(動画2)、水中でつま先やフィン先で立たないこと、泳がずに水中を移動する場合は、背中の方へ移動することを指導した。次に、スタートする

際に、つま先で壁を蹴るとフィンがたわみ、推進力を獲得することができないため、踵を壁につけて蹴るように指示した(動画 3)。第 2 回目は、上肢の使い方の指導を行った。モノフィン着用によって、より筋力が必要となり、水面および水中での足部の振幅が小さくなる可能性がある。そこで、上半身も大きく動かすことによって、上肢と下肢が連動して動き、足部やフィンの振幅が増大することをねらい、泳速度を向上させる目的で行った。また、運動実践現場では、手部と足部を同じタイミングで振幅させれば、全身の筋力を発揮しやすく、振幅が増大できると考えられている。そのため、上半身を動かすタイミングは、手部と足部を同じタイミングで振幅させるよう指導した。第 3 回目は、第 2 回目で行った内容の確認・復習を行った。第 4 回目は、モノフィンの振幅が主に身体よりも下方にキックできるように、お尻を上方に動かすこと、下方までキックを行うこと、膝を曲げすぎないことを指導した。膝を曲げすぎると、進行方向に対して足部およびモノフィンが垂直に位置し、水の抵抗を大きく受け、減速すると考えられる。第 5 回目は 4 回目で行った内容の復習を行った。

次に、表 2 に授業の 1 日の流れを示した。「アプニア泳法の実施と指導」では、参加者にビーフィンを着用して 25m を 16 回泳ぐ練習とモノフィンを着用して 25m を 8 回泳ぐ練習を行わせた。これらの練習間には十分な休息を設け、休息中に参加者に対して動作の指導を行った。その後、十分な休息をとり、参加者に 25m 潜行(アプニア泳)を最大努力泳で 1 回行わせた。

表 2 授業の 1 日の流れ

時刻	授業の 1 日の流れ
13:50 ~ 14:00	本日の内容説明
14:00 ~ 14:10	ウォーミングアップ
14:10 ~ 14:40	アプニア泳の実践と指導
14:40 ~ 15:00	25mアプニア泳の測定
15:00 ~ 15:10	内省報告の記入
15:10 ~ 15:20	クールダウン・終了

(2) 参加者の内省報告と面接調査

参加者による内省報告は、アプニア泳終了後直ちにプールサイドにて実施された。その記入用紙を図 2 に示した。参加者は動作に関する難しかったこと、うまくできたこと、感想を自由に記入させた。内省報告書に記入された内容を正確に把握するため、全授業日程終了後、10 分程度の面接調査を実施した。内省報告書に記載されたアプニア泳法の動作の難しかったこと、うまくできたことについて、具体的な回答ができるように質問を行った。

図 2 内省報告の調査用紙

3. データの取得

(1) アブニア泳の記録

アブニア泳の記録は、参加者の足部がプール壁面から離れ、手部がプール壁面に触れるまでをストップウォッチ (SEIKO 社製, SVAS003) を用いて計測した。

(2) 撮影方法

ハイスピードカメラ (Casio 社製, EX-F1, 撮影速度 30Hz, シャッタースピード 1/2000 秒) を用いて、参加者の進行方向に対して右側方にある水中窓の外側から撮影した。カメラは 4 コースの 7m 地点から 11m 地点までが撮影できるように三脚で画角を固定し、動作平面とビデオカメラの光軸が直交するように設置した。

(3) 面接調査

参加者の内省を整理するため、全 5 回の内省報告を集計した。内省報告の集計データをもとに、面接調査は実施された。その内容は、IC レコーダ (SONY 社製, ICD-UX512) を使用して録音された。

4. データ処理

(1) ビデオカメラから取得した映像

撮影されたビデオ画像は、パーソナルコンピュータ (DELL 社製, Vostro460) に取り込み、ビデオ動作解析システム (DKH 社製, Frame DIAS-IV) を用いて画像上の 7 点 (右側の尺骨頭、肩峰、大転子、膝関節、外踝、第五中足骨頭、フィンの先端) および 20 点のリファレンスマークを、毎秒 30 フレームで、参加者の身体各部位の peak-to-peak を 1 サイクルとし、3 サイクルにわたってデジタル化した (図 3)。得られた身体部分点の二次元座標は、2 次元 DLT 法を用いて、リファレンスマークをもとに実長換算した。最適遮断周波数は、参加者のキック動作の周波数が $1 \sim 2$ Hz 程度であるため、Butterworth Low-Pass Digital Filter を用いて 4 Hz の範囲で平滑化した。



図3 デジタイズを行った身体部位

(2) データ算出

得られた身体各部位の実座標とその時刻から、3 サイクル以上の波形を対象に、身体の鉛直成分の時系列データを正弦波で近似させた(式 1)。

$$z = a_1 \times \sin(b_1 \times t + c_1) + d_1 \times t + e_1 \quad (\text{式 1})$$

ここで、 a_1 は振幅/2、 b_1 は周波数、 c_1 は正弦波の起点、 d_1 は基線の傾き、 e_1 は基線の切片を示す。その詳細について、 a_1 、 b_1 、 c_1 は図 4、 d_1 、 e_1 は図 5 に示した。

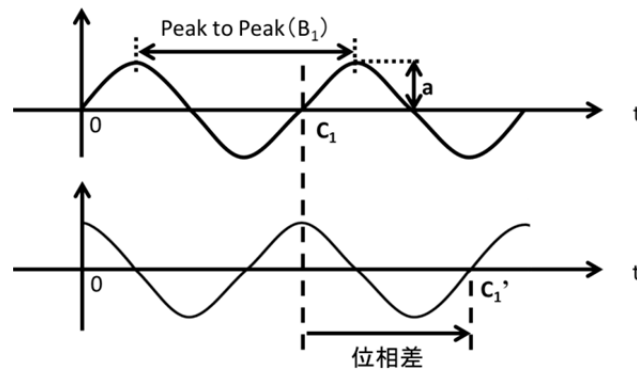


図4 $z = a_1 \times \sin(b_1 \times t + c_1) + d_1 \times t + e_1$ (式 1) の a_1 、 b_1 、 c_1 の説明

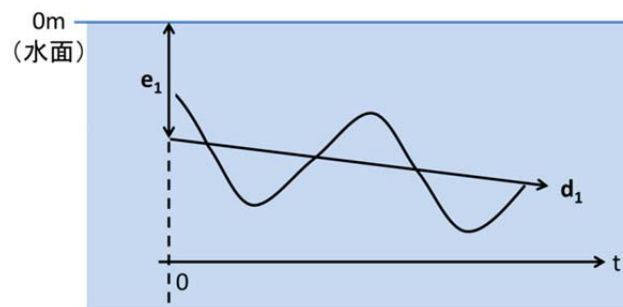


図5 $z = a_1 \times \sin(b_1 \times t + c_1) + d_1 \times t + e_1$ (式 1) の d_1 、 e_1 の説明

身体の振幅(m)は $2a_1$ とした。1サイクルに要する時間として、Kicking Rate(KR, Hz)は $b_1/2\pi$ とした。尺骨頭に対する身体およびフィンの位相差(位相, deg.)は c_1 より算出された。時間あたりの e_1 を基準とした深度変化(深度変化, m/s)として d_1 を用いた。 d_1 の値が正の場合、泳者は水面に向かって泳いでいることを示し、負の場合は水底に向かって泳いでいることを示している。デジタイズ開始地点の時間を0とした時の身体の深さ(深度, m)を示す指標として e_1 を用いた。

次に、大転子の水平成分の時系列データを一次関数直線で近似させた(式2)。

$$y = a_2 \times t + b_2 \text{ (式 2)}$$

Kicking Velocity(KV, m/s)は、 a_2 値とした。さらに、KVをKRで除することによって、1サイクルに進む距離としてKicking Length(KL, m)を算出した。

算出されたアブニア泳の記録、KV、KL、KR、振幅、位相、深度変化、深度について、1回目と2回目、1回目と3回目、1回目と4回目および1回目と5回目の変化量を算出した。

(3) 内省報告および面接調査

川喜田(1967)のKJ法を参考に、参加者のアブニア泳動作に対する難しさを整理した。ICレコーダで録音した音声をテキスト化し、アブニア泳動作を行う際の難しさに関する内容を抽出した。抽出された内容を「キックに関する内容」や「上半身に関する内容」等のようにキーワードで名前をつけ、グループに分類した。グループ化した内容を泳スキルに関する内容か、周辺スキルに関する内容かの観点と、動作に関する難しさについて述べた内容か、成就に関する難しさについて述べた内容かの観点で分類した。

(4) 統計処理

キネマティクスデータの授業を通じた変化を比較するため、対応のある一要因分散分析を行った。球面性が仮定できない場合は、Greenhouse-Geisserの検定によって自由度を調節した。主効果が認められた場合の多重比較検定には、Scheffeの検定を用いた。アブニア泳の記録における1回目に対する2回目から5回目までの変化量とKV、KL、KR、振幅、位相、深度変化および深度の1回目に対する2回目から5回目までの変化量の関係を明らかにするために、ピアソンの積率相関係数を算出した。また、危険率は5%未満とした。

III. 結果

1. パフォーマンスの変化

アブニア泳記録は、1回目(14.21±2.48s)、2回目(14.25±1.93s)および3回目(13.74±1.66s)で、有意な差は認められなかったが、4回目(12.52±1.37s)および5回目(11.83±1.42s)は1回目、2回目、3回目と比較して、有意に記録が向上した(図6)。KVの結果は、図7に示した。KVは、1回目(1.85±0.24m/s)、2回目(1.78±0.23m/s)および3回目(1.84±0.22m/s)の間に、有意な差が認められなかった。しかし、4回目(1.97±0.20m/s)は1回目、2回目および3回目と比較して、有意に速かつ

た。さらに、5 回目(2.09±0.21m/s)は、4 回目よりも有意に速かった。アプニア泳記録の変化量と KV の変化量の関係について、ピアソンの積率相関分析を行った結果、2 回目($r=-.588, p<.05$)、3 回目($r=-.686, p<.05$)、4 回目($r=-.781, p<.01$)および 5 回目($r=-.628, p<.05$)であった。

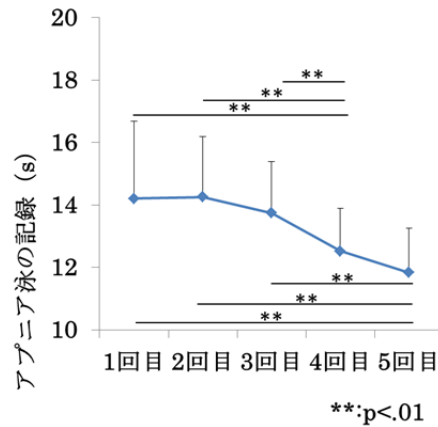


図 6 各日程のアプニア泳の記録

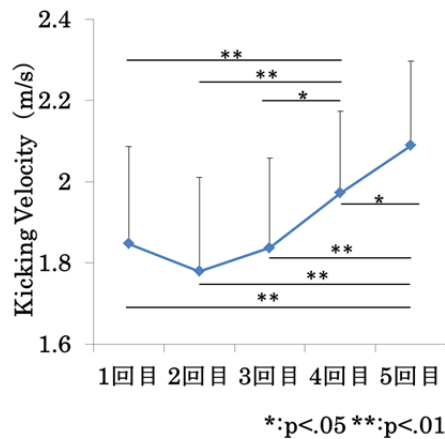


図 7 各日程の Kicking Velocity

KLは授業を通して有意な変化が認められなかった(図8)。アプニア泳記録の変化量とKLの変化量の関係について、ピアソンの積率相関分析を行った結果、有意な相関関係は認められなかった(2 回目: $r=-.375, n.s.$, 3 回目: $r=-.258, n.s.$, 4 回目: $r=-.533, n.s.$, 5 回目: $r=-.492, n.s.$)。一方、KRは、1 回目(1.57±0.25Hz)から 2 回目(1.34±0.19Hz)に向けて有意に低下した後、徐々に増大する過程を経て、5 回目(1.77±0.30Hz)には 1 回目と有意な差がみられなかった(図 9)。アプニア泳記録の変化量と KR の変化量の関係について、ピアソンの積率相関分析を行った結果、有意な相関関係は認められなかった(2 回目: $r=-.061, n.s.$, 3 回目: $r=-.042, n.s.$, 4 回目: $r=-.182, n.s.$, 5 回目: $r=-.096, n.s.$)。

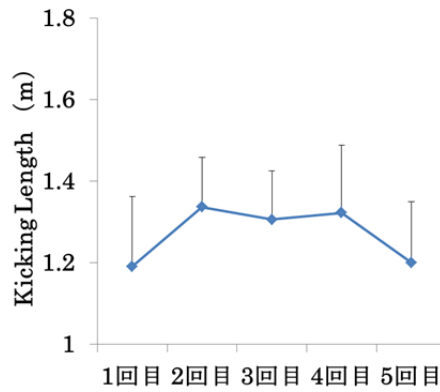


図 8 各日程の Kicking Length

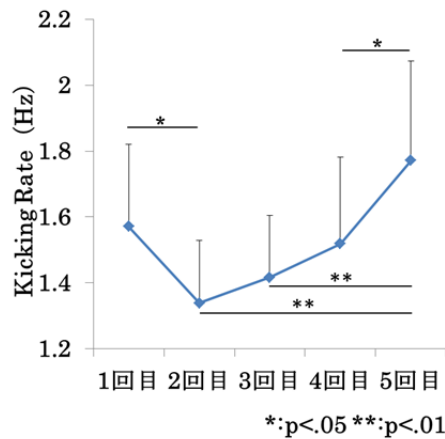


図 9 各日程の Kicking Rate

2. 動きの特徴を示すパラメータの変化とパフォーマンスとの関係

(1) 身体の振幅

身体の振幅を表 3 に示した。上肢は、1 回目 (尺骨頭:0.11±0.05m、肩峰:0.08±0.03m) から 2 回目 (尺骨頭:0.16±0.05m、肩峰:0.10±0.03m) で大きくなり、小さくなる傾向を経て、5 回目 (尺骨頭:0.09±0.05m、肩峰:0.07±0.02m) には 2 回目と有意に小さく、1 回目と有意な差が認められなかった。下肢 (大転子、膝関節、外踝、第五中足骨頭) は授業を通して有意な変化がみられなかったが、フインの先端は 1 回目 (0.26±0.06m) と比較して、2 回目 (0.33±0.04m) および 4 回目 (0.33±0.04m) で有意に大きくなった。アプニア泳記録の変化量と身体の振幅における変化量の関係について、ピアソンの積率相関分析の結果を示した (表 4)。第五中足骨頭の振幅とアプニア泳記録との間が、全授業を通して、有意な負の相関関係が認められた。一方、尺骨頭の振幅とアプニア泳記録との間は、授業の後半 (4 回目、5 回目) に有意な負の相関関係が認められた。

表 3 各日程の振幅

		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	F Value	多重比較
振幅 (m)	尺骨頭	0.11±0.05	0.16±0.05	0.14±0.06	0.13±0.05	0.09±0.05	6.866	** 1<2, 2>5
	肩峰	0.08±0.03	0.10±0.03	0.09±0.02	0.09±0.02	0.07±0.02	4.824	** 1<2, 2>5
	大転子	0.15±0.04	0.18±0.03	0.17±0.03	0.16±0.03	0.13±0.04	4.205	* n.s.
	膝関節	0.25±0.05	0.29±0.04	0.27±0.04	0.27±0.03	0.25±0.04	2.753	
	外踝	0.27±0.06	0.32±0.04	0.32±0.04	0.31±0.03	0.30±0.05	3.413	
	第五中足骨頭	0.28±0.07	0.34±0.05	0.33±0.05	0.34±0.04	0.32±0.05	3.899	* n.s.
	フィンの先端	0.26±0.06	0.33±0.04	0.32±0.06	0.33±0.04	0.30±0.04	3.015	* 1<2,4

表 4 振幅の変化量とアプニア泳記録の変化量との積率相関係数

	2回目	3回目	4回目	5回目
尺骨頭	-.092	-.526	-.615 *	-.655 *
肩峰	.026	-.332	-.475	-.522
大転子	-.482	-.419	-.536	-.647 *
膝関節	-.621 *	-.298	-.543	-.546
外踝	-.725 **	-.570	-.598 *	-.679 *
第五中足骨頭	-.754 **	-.647 *	-.658 *	-.674 *
フィンの先端	-.620 *	-.389	-.476	-.551

*p<.05, **p<.01

(2) 上肢と下肢を動かすタイミング

身体の位相を確認するため、尺骨頭に対する肩峰、大転子、膝関節、外踝、第五中足骨頭およびフィンの先端の位相を表5に示した。位相が360degの場合、尺骨頭と下方へ移動するタイミングが同じであることを示す。尺骨頭と第五中足骨頭との位相は、1回目(391.7±34.7deg)と比較して4回目(365.3±28.8deg)で位相が有意に小さくなった。アプニア泳の記録と尺骨頭に対する身体の位相との関係について、5回目の大転子の位相(r=-.772, p<.01)に有意な負の相関関係が認められた(表6)。

表 5 各日程の尺骨頭に対する身体およびフィンの先端の位相

		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	F Value	多重比較
位相 (deg)	肩峰	82.9±29.8	78.8±23.9	73.6±20.1	80.0±22.0	84.0±26.2	1.267	
	大転子	218.4±35.7	210.1±32.5	207.4±24.9	207.5±25.9	215.5±28.4	1.714	
	膝関節	284.8±31.9	274.8±28.3	274.4±23.4	276.8±27.5	289.1±31.3	3.309	* n.s.
	外踝	356.5±29.0	341.1±26.3	341.0±24.4	342.5±30.9	355.3±33.9	2.831	* n.s.
	第五中足骨頭	391.7±34.7	373.6±23.1	380.6±22.1	365.3±28.8	383.8±35.3	3.487	* 1>4
	フィンの先端	473.4±49.8	478.7±35.5	469.2±41.1	464.2±41.2	510.1±72.5	3.015	*

表 6 位相の変化量とアプニア泳記録の変化量との積率相関係数

	2回目	3回目	4回目	5回目
肩峰	-.195	-.432	-.105	-.342
大転子	-.138	-.557	-.400	-.772 **
膝関節	-.173	-.485	.025	-.278
外踝	-.104	-.240	.380	.074
第五中足骨頭	-.144	-.207	.285	.205
フィンの先端	.272	.114	.229	.265

**p<.01

(3) 深度変化と潜行深度

身体の深度変化を確認するため、表7に深度変化を示した。深度変化は値がほぼ0であり、有意な差は認められなかった。したがって、参加者はほぼ水平に進行していたことを示す。また、アプニア

泳記録と深度変化は全ての日程で関係がみられなかった(表 8)。また、潜行深度の変化を確認するため、表 9 に深度の結果を示した。上肢(尺骨頭、肩峰)の深度は 2 回目、3 回目で深いが、下肢(大転子、膝関節、外踝、第五中足骨頭)とフィンの先端には有意な差が認められなかった。これは、上肢が前傾し、下肢が水平を保つ傾向にあることを示す。4 回目および 5 回目は、尺骨頭、肩峰、大転子、膝関節、外踝、第五中足骨頭およびフィンの先端の深度がほとんど変わらない傾向であった。これは、身体が水平に近づいていることを示す。また、アプニア泳の記録と深度の関係について、全ての日程で関係がみられなかった(表 10)。

表 7 各日程の深度変化

深度変化 (m/s)		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	F Value
尺骨頭		0.00±0.04	0.00±0.03	0.02±0.02	0.01±0.03	0.00±0.03	1.321
肩峰		0.00±0.04	0.00±0.03	0.01±0.02	0.01±0.03	0.00±0.03	0.766
大転子		0.00±0.04	0.01±0.04	0.01±0.03	0.02±0.04	0.00±0.03	0.745
膝関節		0.00±0.04	0.00±0.05	0.02±0.03	0.02±0.05	0.00±0.05	0.548
外踝		0.00±0.05	0.00±0.06	0.01±0.04	0.01±0.05	0.01±0.06	0.218
第五中足骨頭		0.00±0.05	0.00±0.06	0.01±0.04	0.01±0.05	0.00±0.07	0.234
フィンの先端		0.00±0.06	-0.01±0.07	0.01±0.06	0.01±0.05	0.01±0.07	0.276

表 8 深度変化の変化量とアプニア泳記録の変化量との積率相関係数

	2回目	3回目	4回目	5回目
尺骨頭	-.363	-.026	-.184	-.002
肩峰	-.372	-.118	-.159	-.102
大転子	-.221	-.177	-.058	-.077
膝関節	-.123	-.169	-.021	-.024
外踝	-.349	-.195	-.273	.018
第五中足骨頭	-.217	-.172	-.298	.009
フィンの先端	-.344	-.201	-.351	-.080

表 9 各日程の深度

深度 (m)	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	F Value	多重比較
尺骨頭	-0.96±0.16	-1.01±0.13	-1.03±0.13	-0.84±0.17	-0.85±0.21	7.839 **	2,3<4,5
肩峰	-0.91±0.17	-0.95±0.13	-0.95±0.13	-0.79±0.19	-0.78±0.26	6.363 **	2,3<4,5
大転子	-0.94±0.15	-0.98±0.14	-0.96±0.12	-0.83±0.20	-0.85±0.28	2.871 *	n.s.
膝関節	-1.01±0.16	-1.01±0.17	-1.03±0.12	-0.89±0.25	-0.91±0.33	1.766	
外踝	-0.91±0.20	-0.91±0.21	-0.94±0.16	-0.80±0.28	-0.85±0.42	0.91	
第五中足骨頭	-0.90±0.20	-0.91±0.25	-0.94±0.17	-0.80±0.25	-0.83±0.43	0.874	
フィンの先端	-0.89±0.26	-0.88±0.26	-0.95±0.23	-0.78±0.27	-0.80±0.40	1.067	

表 10 深度の変化量とアプニア泳記録の変化量との積率相関係数

	2回目	3回目	4回目	5回目
尺骨頭	.097	.400	-.036	-.368
肩峰	.135	.442	.046	-.287
大転子	-.003	.516	.016	-.300
膝関節	-.148	.527	-.008	-.239
外踝	.219	.547	.291	-.147
第五中足骨頭	.102	.511	.369	-.087
フィンの先端	.323	.439	.457	.029

3. 参加者が抱える課題

参加者が記述した全日程の内省報告を表 11 に示した。この内省報告を元に面接調査を行った。その結果を図 10 に示した。テキスト化された内容は、キック、上肢の動き、水中姿勢、ゴールタッチ、周辺スキル、スタートに関する項目の 6 項目に集約された。この 6 項目は、「泳スキル」か「周辺スキル」の観点、「成就に関する難しさ」か「動作に関する難しさ」の観点によって分類できた。

表 11 内省報告の集計結果

事項	延べ件数(件)	
	難しい	できた
泳ぎ以外		
モノフィンの装着。	5	13
プールの入水、退水。	4	3
水中で泳がずに移動すること。	3	2
スタート時		
強く壁を蹴ること。	13	32
壁を蹴った後、素早く1回目のキックをすること。	6	4
泳ぎ		
上半身		
上半身をうねること。	25	14
ストリームラインの姿勢を維持すること。	5	10
キック		
膝を大きく曲げないこと。	17	4
素早くキックすること。	8	13
下方までキックすること。	5	18
モノフィンを力強く蹴ること。	3	2
キックの振幅を調節すること。	2	1
バランス		
まっすぐに進むこと。	24	14
上半身と下半身を動かすタイミングが合わせること。	11	18
左右対称にキックすること。	11	4
その他		
速い速度で進むこと。	7	12
1回のキックで進む距離を伸ばすこと。	3	4
無呼吸で泳ぐこと。	1	3
リラックスして泳ぐこと。		3
抵抗を少なくして泳ぐこと。		1
ゴールタッチ		
ゴールタッチを合わせること。	1	2

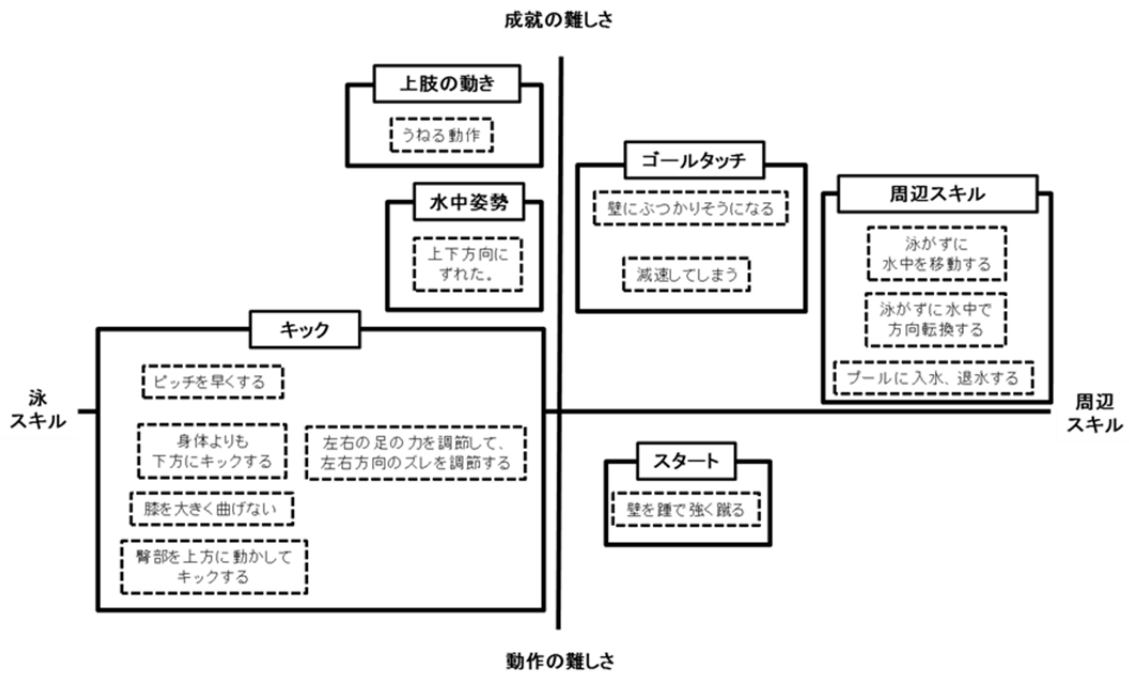


図 10 参加者が感じた難しさのチャート図

IV. 考察

現在までの指導経験から、モノフィン着用歴のない競泳選手がアプニア泳を行った場合、バタフライキックと比較して、足部の振幅が小さくなるように感じる。その要因として、大きな表面積を持つモノフィンを着用することによって、水の抗力が増大し、モノフィンが重くて上下に移動しにくいことが考えられる。Gautier et al. (2004) は、上級者は初心者と比較して、下肢の振幅が大きいことを示した。このことから、下肢の振幅を大きくする必要があると考えられる。そのため、本トレーニングは、振幅を増大させることによってパフォーマンスを向上させる目的で行った。

1. トレーニングによるパフォーマンスの変化

(1) アプニア泳の記録と泳速度

アプニア泳はモノフィンを着用して競泳のバタフライキックを水中で行う運動である。参加者は日頃から競泳のトレーニングを行っているため、バタフライキックには慣れており、モノフィンを着用してアプニア泳法の練習を行えば、記録の向上が期待される。本研究の結果、授業の前半(2回目、3回目)の記録は1回目と比較して有意な差がなく、後半(4回目、5回目)は有意に速かった。本研究のトレーニングは、記録が即座に伸びるのではなく、授業の後半に記録が向上することが示された。その要因として、「運動技能の習得に時間を要する点」と「今回のトレーニング方法による影響」、「スタート時の速度の増加、ゴールタッチ時の速度の減少の影響」の3つが考えられる。運動技能は、練習量に比例して上達するのではなく、「試行錯誤の段階」、「意図的な調節の段階」、「自動化の段階」の3つの段階を経て、向上と停滞を繰り返しながら上達することが報告されている(高橋ら, 2007)。モノフィン着用歴のない競泳選手は、アプニア泳を行うために多くの課題が内在しており、参加者のアプニア泳の運動技

能は「試行錯誤の段階」または「意図的な調節の段階」であったと考えられ、動作を変化させながら泳いでいたと推察される。2 点目として、本トレーニングは運動現場の経験知から得られたトレーニング方法で指導を行った。トレーニングを行う順序を変更することや、指導方法を変えることによって、単発的に指導を行った場合でもトレーニング効果が得られると考えられる。3 点目として、アプニア泳の記録はスタート局面、泳局面、ゴールタッチ局面で構成されていることから(谷川ら, 2013)、それぞれの巧拙は記録に影響を与えると考えられる。そのため、泳速度の向上が認められる場合でも、スタート時に壁を蹴れずに推進力を得られない場合や、ゴールタッチ時に減速してしまう場合がある。本研究の結果、アプニア泳記録の変化量とKVの変化量の関係について、授業の全日程で有意な負の相関関係が認められた。このことから、アプニア泳の記録の変化は泳速度の変化によるものが大きいことが示された。今後、スタート時の速度やゴールタッチ時の速度の減少について検討する必要がある。以上のことから、アプニアの記録および泳速度に変化がみられなかった授業の前半(2回目、3回目)と向上がみられた後半(4回目、5回目)で、泳動作の様相が異なると考えられる。そこで、授業を前半(2回目、3回目)と後半(4回目、5回目)に分け、それぞれの泳ぎの特徴を考察していく。

(2) KL および KR の変化

KL は授業を通して有意な差が認められなかったのに対し、KR については、授業の 1 回目と比較して、授業の前半は低下するが、後半は差がみられなかった。モノフィン着用歴のない競泳選手が、本研究で実施した 5 回の授業を受けることで、KL の変化よりも KR の変化が大きいことが示された。次に、KL および KR とアプニア泳パフォーマンスとの関係を明らかにするため、アプニア泳記録の変化量と KL および KR の変化量の関係を検討した。KL は、全授業で関係がみられなかった。大下(2008)は、世界選手権決勝進出者(Finalist)と非進出者(Non-Finalist)を比較し、KR には差が認められないが、Finalist の方が KL は長いことを示した。世界選手権で決勝を目指す Non-Finalist が KL を増大させることは重要であるが、本研究の参加者の場合は、KL の増大よりも KR を増大させる方が良いと考えられる。また、KR も KL と同様に、全授業で関係がみられなかった。このことから、アプニア泳動作に関する指導を行った結果、KR は授業を通して変化するが、アプニア泳の記録との関係は小さい可能性があると考えられる。

2. 動きの特徴を示すパラメータの変化とパフォーマンスとの関係

動きの特徴を示す、振幅、尺骨頭に対する身体の位相、深度変化および深度における 1 日毎の変化量とアプニア泳記録の変化量について、第五中足骨頭の振幅とアプニア泳記録との間が、全授業を通して、有意な負の相関関係が認められた。足部の振幅を大きくすることが、記録の短縮につながる可能性がある。一方、尺骨頭の振幅とアプニア泳記録との間は、授業の後半(4回目、5回目)に有意な負の相関関係が認められた。また、尺骨頭に対する大転子の位相の変化量とアプニア泳記録の間に有意な負の相関関係が認められた。これらのことから、指導を行う前や指導開始時は、動作が習熟しておらず、動作の巧拙がアプニア泳記録に影響していたと考えられる。その一方、深度変化、深度と

アプニア泳記録の関係が認められなかった。これらのことから、アプニア泳記録の短縮に寄与する動作、影響が小さい動作が存在することがわかる。そこで、動きの特徴を示す振幅、尺骨頭に対する身体の位相、深度変化、深度とパフォーマンスとの関係について考察する。

(1) 振幅と KR の関係

振幅と KR は、前進速度を生み出すが、その間にトレードオフが存在することが報告されている (Nicolas et al., 2007)。このことから、泳速度向上や推進効率を高めるために振幅を大きくすると KR が低下し、KR を素早く行くと振幅が小さくなることがわかる。本研究の授業では、KR を増大させるのではなく、前半に上肢、後半に下肢の振幅が大きくなるように指導を行った。その結果、授業の前半は KR が低下し、上肢の振幅が大きくなった。この結果から、参加者は指導事項を忠実に実施したことが確認でき、振幅と KR のトレードオフが本研究においても存在することが確認できた。しかしながら、授業の前半は下肢およびフィンの振幅を大きくするような指導を行わなかったにも関わらず、フィンの振幅が大きくなった。このように、指導事項にない動きが変化することは大変興味深い結果である。今後、指導を行う上で「指導を行わない点も変化すること」を想定する必要があると考えられる。

授業の後半は、上肢の振幅が小さくなり、下肢の振幅は維持された。Gautier et al. (2004) は、上級者は初心者と比較して上肢の振幅が小さく、下肢の振幅が大きいことを示した。参加者の泳ぎは、先行研究の上級者の特徴に変化しつつあり、泳ぎが上達したと考えられる。さらに、後半の KR は前半よりも早く、1 回目との間に有意な差がみられなかった。このことから、参加者は KR を維持した状態で足部の振幅を増大させたことがわかり、振幅と KR のトレードオフが崩れたことが示された。参加者は、内省報告からも確認できたように、モノフィンの着用、移動、泳ぐスキル、スタート、ゴールタッチに慣れていない。そのため、筋発揮やアプニア泳技術が未発達であり、動作が熟練していなかったと考えられる。モノフィン着用歴のない競泳選手を指導する場合、振幅と KR のトレードオフにとらわれずに振幅の増大と KR の増大を目指して練習を行うと良いと考えられる。

(2) 上肢と下肢を動かすタイミング

これまで、フィンスイミングの動作を位相で示した報告はみられない。本研究の授業では、振幅を大きくするための指導だけでなく、上肢と下肢のタイミングを合わせる指導も行った。モノフィンを着用した場合、より大きな力を必要とする。これまでのアプニア泳法の指導を経験した中で、下肢の力だけでなく、上肢をタイミングよく動かし、全身を使ってキックを行う必要があると考えられる。そこで、授業の前半に「手足の動作のタイミングを合わせる」指導を行った。その結果、尺骨頭と第五中足骨頭の位相は授業の前半に変化がなく、後半で位相が小さくなり、360deg に近づいたことが示された。位相 360deg. は、尺骨頭が上方へ移動するとき、第五中足骨頭も同じタイミングで上方へ移動するような、動きを示す (図 11)。

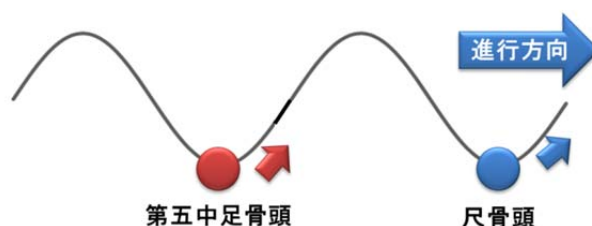


図 11 尺骨頭と第五中足骨頭の位相差が 360deg. の場合の例

位相によって、上肢と下肢の動かすタイミングを数値で示すことができた。授業 2 回目という早い段階で「手足の動作のタイミングを合わせる」指導は、参加者にとって難しい課題であったかもしれない。一方、授業の後半はアプニア泳の記録、泳速度およびKRの増大がみられた。さらに、アプニア泳記録と尺骨頭に対する身体の位相の関係を検討した結果、授業の前半には有意な負の相関関係がみられた部位があるのに対し、3 回目以降は関係がみられなかった。これは、授業の前半は尺骨頭に対する身体の位相が参加者によって大きく異なっていたにも関わらず、授業の後半には、その差が小さくなったと考えられる。これらのことから、上肢と下肢を動かすタイミングが合うことによってパフォーマンスが向上する可能性が示された。平田ら(2003)は、ニジマス型とマグロ型の尾びれを持つ魚ロボットの最も高い速度が得られる位相を示した。モノフィンと形状が酷似しているニジマス型の最適な尾柄と尾びれの位相は、60deg.であり、大きすぎても、小さすぎても高い泳速度が発揮できない結果であった。このことから、ヒトがフィンスイミングを行う場合にも最適な位相が存在すると考えられる。本研究の結果からは、アプニア泳時の最適な位相を求めることはできない。今後、振幅、KR を一定に保ちながら位相のみをコントロールできるようなシミュレーション的研究を行うことができれば、最適な位相を求めることができると考えられる。

(3) 深度変化と潜行深度

内省報告から、「ストリームラインの姿勢を維持できない」、「上下方向に進んでしまう」などの難しさが挙げられた。アプニア泳は、全身を上下に動かすことによって水平方向に推進する。モノフィンの鉛直方向の移動量が上下で異なる場合、下方(床方向)もしくは上方(水面)に推進する。参加者はモノフィンを着用して泳ぐことに慣れていないため、水平に推進することが難しかったと考えられる。深度を確認すると、授業の前半は下肢と比較して上肢は深い深度であった。野村(1993)はスタート着水後に肩関節角度を大きくすることによって、身体がすばやく水平になりグライド速度が向上することを示した。このことから、上肢を伸展、屈曲することによって推進方向が変わることがわかる。参加者は上肢を下方へ向けることによって、身体を沈める意図があったと推察される。しかしながら、深度変化はどの身体部位もほぼ0であることから、水平に推進していたことがわかる。つまり、参加者は、水平に推進するために、上肢が下肢よりも深くなるように調節することによって、結果的にはほぼ水平に推進したと考えられる。田古里ら(1986)は、できる限り身体を水平に保つことによって抵抗が軽減できることを示した。姿勢が水平でないことは、減速の要因となりうると考えられる。一方、授業の後半は、身体の深度がほとんど変

ならず、深度変化もほぼ 0 であった。よって、上肢の調節なしに水平方向に推進しており、受動抵抗も小さかったと推察される。このように、身体の深度変化が小さくなり、深度も一定になれば、さらに記録が向上する可能性がある。

4. 参加者が抱える課題

参加者の内省報告と面接調査から、参加者が陥りやすい課題を整理することができた。難しかったことよりも、うまくできたことの方が多くことから、参加者の思い通りにアブニア泳ができていたのではないかと考えられる。しかし、スタートおよびキックに関する項目は動作の難しさがあり、上肢の動き、水中姿勢、ゴールタッチおよび周辺スキルに関する項目は成就の難しさがあると解釈できた。動作の難しさには、具体的な身体動作の方法に関する難しさが語られていた。このことから、参加者は、動作の成就に向けた方法論を理解しており、今後練習を継続することによって動作が改善され、動作が成就すると推察される。一方、成就に関する難しさには、具体的な動作の方法は記載されておらず、動作の成就に向けた方法論が語られていない。つまり、具体的な方法論がないため、成達は難しいと考えられる。授業形態の違いによって水泳 4 泳法の動作認識の差について検討した合屋(1997)の報告によると、各泳法ともに推進力を得る手、足の動きについては意識の集中が高まるが、体幹への気づきは難しいことを明らかにした。本研究のアブニア泳は、壁を蹴ることによる推進力とキック動作による推進力が主であることから、先行研究と同様の結果を得たと考えられる。これらのことから、モノフィン着用歴のない競泳選手が抱える課題は次のように整理される: 上肢の動き、水中姿勢、ゴールタッチおよび周辺スキル。それらを踏まえ、指導内容を充実させ、実践することが示唆される。

V. 結論

本研究の結果、下記の 5 点が明らかとなった。

1. モノフィン着用歴のない競泳選手を対象に、フィンスイミングの授業を 5 回実施した結果、アブニア泳の記録は授業の後半(4 回目、5 回目)に向上した。本研究のトレーニングでは、即時的な記録の向上がみられなかった。
2. 参加者の泳ぎの特徴について、授業の前半は振幅が大きくなると KR が低下するトレードオフがみられた。しかし、後半は KR に差がなく(1 回目: $1.57 \pm 0.25\text{Hz}$, 5 回目: $1.77 \pm 0.30\text{Hz}$)、フィンの振幅が大きいことから(1 回目: $0.26 \pm 0.06\text{m}$, 4 回目, $0.33 \pm 0.04\text{m}$)、トレードオフが崩れたことが示された。
3. 尺骨頭と第五中足骨頭の位相は、4 回目 ($365.3 \pm 28.8\text{deg}$) で 360deg に近づいた。これは、上肢と下肢を動かすタイミングがほとんど同じであることを示す。位相によって、上肢と下肢の動かすタイミングを数値で示すことができた。
4. 水中姿勢と推進方向について、授業の前半は、上肢を下方へ向ける姿勢をとることによって、水平方向に推進する傾向であった。後半は姿勢を水平に維持しながら水平に推進する傾向であった。

5. 参加者の内省報告と面接調査から、参加者が陥りやすい課題を整理することができた。スタートや泳ぎに関する項目は、具体的な動作に対する難しさが回答された。一方、上肢の動き、水中姿勢、ゴールタッチおよび周辺スキルについては、具体的な動作に対する難しさが回答されなかった。これらは、モノフィン着用歴のない競泳選手の蹉跌をきたすポイントであると考えられる。

本研究の結果、モノフィン着用歴がない競泳選手を対象にフィンスイミングの指導を行う際には、次の順序で指導することが提案された。1. プールの入退水、泳がずに水中を移動、方向転換する方法等の周辺スキルを指導する。2. フィンの振幅を増大させる。3. KRを増大させる。

VI. 参考文献一覧

- ・ Federation International de Natation (2013a). FINA Point Scoring 2013 Women, Long Course (50m). Retrieved November 27, 2013, from Federation International de Natation Website: http://www.fina.org/H2O/docs/FINApoints/2013_LCM_Women.pdf
- ・ Federation International de Natation (2013b). Swimming World Records. Retrieved November 27, 2013, from Federation International de Natation Website: http://www.fina.org/H2O/docs/WR_Oct82013.pdf
- ・ Gautier, J., Baly, L., Zanone, P.G., & Watier, B. (2004). A KINEMATIC STUDY OF FINSWIMMING AT SURFACE. *Journal of Sports Science and Medicine*, 3, 91-95.
- ・ 合屋十四秋 (1997). 水中運動の動作認識とその変容について. 愛知教育大学教科教育センター研究報告, 21, 253-260.
- ・ 平田宏一, 春海一佳, 瀧本忠教, 田村兼吉, 牧野雅彦, 児玉良明, & 富田宏. (2003). 魚ロボットに関する基礎的研究. 海上技術安全研究所報告, 2(3), 281-307.
- ・ 稲垣良介, 岸俊行 (2012). 本学学生に着衣泳(水泳)歴の実態と水泳指導の課題. 福井大学教育実践研究, 36, 23-33.
- ・ 川喜田二郎. (1967). 発想法: 創造性開発のために (Vol.136). 中央公論社.
- ・ 公益財団法人日本水泳連盟 (2013). JAPAN SWIM 2013 登録団体別集計表. 2013年11月28日取得, 公益財団法人日本水泳連盟ウェブサイト: <http://www.japan-swim.com/long2013/pdf/web3.pdf>
- ・ 松尾知之, 平野裕一, 川村卓 (2010). 投球動作指導における着眼点の分類と指導者間の意見の共通性: プロ野球投手経験者および熟練指導者による投球解説の内容分析から. *体育学研究*, 55(2), 343-362.
- ・ Nicolas, G., Bideau, B., Colobert, B., & Berton, E. (2007). How are Strouhal number, drag, and efficiency adjusted in high level underwater monofin-swimming?. *Human movement science*, 26(3), 426-442.
- ・ 野村照夫 (1993). スタートの科学. 月刊スクールサイエンス, 230, 23-28.

- ・ 大下和茂, ロスみさき, 小泉和史, 矢野澄雄, 榎本俊兵, 高橋康輝, 川上雅之(2008).50m サーフィスにおける Waving 頻度, Waving 長および泳速の関係—フィンスイミング世界選手権決勝出場者と非出場者の比較—.水泳水中運動科学, 11, 14-18.
- ・ 高橋健夫, 小沢治夫, 柳沢和雄, 友添秀則, 落合優(2007).最新体育・スポーツ理論, 改訂版, 全国高等学校体育学科連絡協議会編. 大修館書店.52-55.
- ・ 田古里哲夫(1986).水泳競技の流れ学—スポーツと工学—. 東京大学公開講座スポーツ. 東京大学出版会. 東京, 155-189.
- ・ 谷川哲朗, 片岡裕恵, 小芝裕也, 来田宣幸, 野村照夫(2013).フィンスイミングのレース分析—継続的なレース分析プロジェクトを目指して—, 日本体育学会体育方法専門領域会報, 39, 299-303.
- ・ 特定非営利活動法人日本水中スポーツ連盟(2013).第 25 回フィンスイミング日本選手権大会結果 .2013 年 11 月 28 日 取得 , フィンスイミング ニュース ウェブ サ イ ト:http://finswimming-news.cocolog-nifty.com/blog/files/JAPAN2013_.pdf
- ・ World Confederation of Underwater Activities(2013a).About Finswimming. Retrieved November 28, 2013 , from World Confederation of Underwater Activities Website:<http://www.cmas.org/finswimming/about-2012032622>
- ・ World Confederation of Underwater Activities(2013b).Finswimming Rules. Retrieved November 27, 2013 , from World Confederation of Underwater Activities Website:<http://www.cmas.org/document?sessionId=&fileId=2538&language=1>
- ・ World Confederation of Underwater Activities(2013c).World Records. Retrieved November 27, 2013 , from World Confederation of Underwater Activities Website:<http://www.cmas.org/document?sessionId=&fileId=2776&language=1>
- ・ 矢野正, 三村寛一(2005).小学校における安全な臨海学舎の実践研究.大阪教育大学紀要, 54(1), 159-176.