

論文 | Articles

水中ドルフィンキックにおける動作分析
—泳速度変化における動作の違い—

Motion Analysis in Underwater
Dolphin Kick:
Changes in Movement to Differences in Swimming
Speed for Underwater Dolphin Kick

仁木 康浩
NIKI, Yasuhiro

尚美学園大学
スポーツマネジメント学部
専任講師

Shobi University
Faculty of Sport Management

2020年12月

Dec.2020

論 文

水中ドルフィンキックにおける 動作分析

——泳速度変化における動作の違い——

仁木 康浩

Motion Analysis in Underwater Dolphin Kick: Changes in Movement to Differences in Swimming Speed for Underwater Dolphin Kick

NIKI, Yasuhiro

Abstract

[Purpose] The purpose of this study was to examine the Stroke Rate and Distance Per Stroke, as well as the vertical swing width and each joint angle, based on changes in swimming speed, for underwater dolphin kick movements for athletes who have experienced swimming. [Methods] The subjects were 19 swimmers. Each subject performed 25m underwater dolphin kick swim at the speeds of 100%, 80% and 50% of one's maximum speed. Four underwater cameras were used to take dolphin kick movement and analyze the kinematic variables. [Result] The results of the 25m underwater dolphin kick full-power swimming, 80% trial, and 50% trial in this study suggested that the SR and DPS tended to decrease as the swimming speed increased ($p < 0.05$). Regarding the amount of vertical displacement, the vertical width tended to decrease as the swimming speed increased. As for the joint angle, the maximum flexion angle of the trunk angle and the knee joint angle tended to decrease as the swimming speed increased. [Conclusion] It was suggested that the underwater dolphin kick movement can reduce the vertical movement of the lower end of the ribs, thereby reducing the trunk flexion angle, suppressing the knee joint flexion angle, and increasing the SR.

抄 録

【目的】 競泳を経験している選手（水泳選手）を対象に、水中ドルフィンキック動作を泳速

の変化から、Stroke RateとDistance Per Strokeの検討および、上下振り幅と各関節角度を検討することを目的とした。【方法】被験者は、水泳選手19名であった。試技は、25m水中ドルフィンキック全力泳、80%、50%の3試技とした。80%・50%試技の設定Timeは、全力泳のTime結果から算出した。被験者には、解剖学的計測点11点ランドマークを貼付し、右側方から水中カメラ (MTV-54B(K)ON) を用いて、撮影速度30fpsで撮影 (13.50m~18.20m区間) を行った。つま先の最下点から次の最下点までの1Strokeを分析対象とし、二次元動作分析から、鉛直変位量および各関節角度を算出した。【結果・考察】本研究の25m水中ドルフィンキック全力泳、80%試技、50%試技の結果から、泳速度増加にともないSRを大きくしDPSを小さくする傾向が示唆された ($p < 0.05$)。鉛直変位量においては、泳速度増加にともない上下幅が小さくなる傾向が示された。関節角度では、泳速度増加にともない体幹部角度と膝関節角度の最大屈曲角度小さくなる傾向が示された。【結論】水中ドルフィンキック動作は、肋骨下端の上下動作を小さくすることで、体幹部屈曲角度が小さくなり、膝関節屈曲角度も抑えることができ、SRを大きくできることが示唆された。

キーワード

水泳競技競泳 (Swimming)
水中ドルフィンキック (Underwater-Dolphin kick)
泳速度変化 (Swimming speed change)
水泳・水中運動、動作分析 (Underwater motion analysis)

はじめに

水中ドルフィンキックは、ストリームラインを維持した状態で、腰の上下動を使ったしなやかなバタフライキックを打ち、すねと足で水を捉える事で推進力を得ることのできる動作 (日本水泳連盟2019) である。競泳競技における水中ドルフィンキックは、スタート及びターン直後の水中お移動に用いられている。競技規則 (日本水泳連盟2018) では、体が完全に水没してもよい距離は、スタート及びターン後15mまでで、壁から15m地点までに頭が水面上に出なければならぬ。若吉ら (1992) による競泳競技レース分析では、スタート及びターン後15m距離に差があり、水上の4泳法だけでパフォーマンスが決まるわけではないと報告されている。競泳競技のパフォーマンスは、①水抵抗、②推進力、③生理的抑制、によって決まると報告 (Sanders, R. H., 2002) されており、特に①水抵抗を軽減するパフォーマンスが求められ、多くの水中研究がされている。例えば、過去、泳速度の約2乗に比例して水抵抗が増加すると考えられていたが、成田ら (2018) によって、泳法動作による自己推進時抵抗は、泳速度の約3乗に比例して増加することが明らかになったことから、泳速度を高めるにあたり水抵抗を削減することが、競泳のパフォーマンス・競技結果に大きく影響することがわかる。また、水上を泳法によって推進するより、水中で推進する方が水の抵抗が小さいことも報告 (Ltyle et al., 2000) され、水中移動動作が高く評価されるようになった。

1. 背景

水中移動動作には、「ドルフィンキック」以外に、「フラッターキック (ばた足)」や平泳ぎ特有の「ひと掻きひと蹴り」がある。しかし、2006年のルール改正により「ひと掻きひと蹴り」から最初の平泳ぎの蹴りの前にドルフィンキックが1回許されたことにより、ドルフィンキックが4泳法に共通する水中動作となった。水泳競技の競技パフォーマンスは、記録の向上とともに年々向上しており、特に競技レベルの高い選手ほど、以前よりも水中移動距離を伸ばし、水中移動動

作を重要視している傾向にある。水中ドルフィンキックは、飛び込み時の加速やターン後の壁蹴り出し時の加速を利用し、推進力を維持するための技術として用いられており、水上を泳ぐ泳法に加え第5の泳法とも呼ばれる (Collard et al., 2013) ようになった。水中ドルフィンキック動作の推進力は、①Stroke Rate、②身体形状の幅、③動作時間の位相差によって、決定されると報告 (Connaboy et al., 2009) されている。①ストローク頻度においては、水中移動速度とStroke Rateに相関関係が認められ、Stroke Rateを増加させることで、水中ドルフィンキックの泳速度が高くなると報告 (Arellano et al., 2002) されている。一方で、Stroke Rateには限界があり、Distance Per Strokeを伸ばす必要があるとも報告 (Gillis et al., 1997) されていることから、Stroke RateとDistance Per Strokeがともなわなければ、高い泳速度を獲得できないことが考えられる。②身体形状の幅においては、水中ドルフィンキック動作は、両足の上下動作の運動だけでなく、身体のうねりを利用してムチ運動を行い、下肢に力を伝えるため、矢状面に対しての末端部の足先の上下振り幅投が大きくなる (Hochstein and Blickhan, 2014)。Gautier et al., 2004によれば、競技レベルの差で振り幅が異なり、競技レベルが高いほど身体の上下動作は小さい振り幅の傾向で、膝関節屈曲角度が小さいと報告している。これらのことから、うねり動作にともなう上下振り幅を小さくすることで、関節可動範囲が狭くなり、矢状面に対しての投影面積を小さくしていることが考えられる。③動作時間の位相差においては、上肢から下肢にかけて、様々な筋肉と関節を協応させて上下に動かすことにより、運動連鎖 (位相差) が起こり、ムチのようなうねり動作によって、ドルフィンキック動作になる (Wang and Liu., 2006) とされている。さらに、下肢の運動連鎖をスムーズに行うことで、足先の移動速度が高くなり、泳速度に貢献していることも報告 (Atkison et al., 2014; 小笠原ら1988; 杉本ら2007) していることから、下肢に着目がおかれるようになった。

一方で、水中ドルフィンキックにおける上肢の姿勢は、ストリームラインの状態を保持している状態であり、上半身は動かないものとして考えられているが、水中ドルフィンキックは、全身運動である。矢状面における身体の鉛直変位量 (うねり動作) を利用し、下肢の末端である足先に力を伝えることで推進力を得ている (Hochstein and Blickhan., 2014) のであれば、少なからず上半身が上下動作していることは考えられる。ストリームラインの姿勢保持には、肩甲骨上腕関節と肩甲骨の運動により挙上運動がおこなわれている状態であり、胸椎の伸展運動、腰椎の前弯の増大、骨盤前傾が上肢の挙上運動を補助するといわれている (甲斐ら2010)。また、上肢挙上運動に伴う腰椎前弯の変化量が小さければ、胸椎の伸展運動量が大きいこともいわれている (鈴木ら2016)。その一方で、酒井ら (2006) によると、挙上最高到達点には、肩甲骨の可動性が優れていなければならない、高い到達点に達するほど競技レベルが高いとも報告されている。つまり、水泳選手は肩甲骨、胸椎、腰椎、骨盤の柔軟性が高く、特に競技レベルの高い選手は、肩甲骨の可動性が高く、胸椎の伸展運動量の範囲が大きいことが考えられる。さらに、小林ら (2016) の報告では、体幹、大腿、下腿における筋活動における筋活動様式において、交互に活動しているといわれており、上半身の上下動作は極めて僅かな動きであるが、水中ドルフィンキック動作における重要な要素になる事が考えられる。また、現場における水中ドルフィンキックの指導では、胸から動かすことで下肢に大きな力が伝えることができると考えられている。これらの研究背景をふまえると、水中ドルフィンキック動作において、胸椎および体幹から上下動作がおこなわれ、うねり動作に利用されていると考えられるが、これまでに検討した研究報告はない。これまでの水泳の競技パフォーマンス研究では、Time計測を基本指標として、Stroke RateやDistance Per Strokeの指標をもちいて、競技レベル差を評価する報告は多くある。一方で、水抵抗の評価をする研究 (Havriluk, R. (2005) では、ストリームライン姿勢において、牽引速度を変化させた研究報告や回流水槽で異なる速度条件で水着の素材や形状を評価 (Mollendorf et al., 2004) をした研究報告がある。しかし、競技パフォーマンスを評価するにあたり、受動的に推進する事ので

きる牽引や回流水槽による水流速度が固定された条件下では、パフォーマンスは評価できないことが考えられ、泳者による自己推進力を用いている状態で、パフォーマンスの検討することが求められる。競泳を経験する選手は、主観的感觉により泳速度をコントロールすることができ、客観的強度に合わせることができるともいわれている（合屋ら, 2005）。そこで、主観的 maximum 努力を全力泳として最大下速度を設定し、泳速度の違いから水中ドルフィンキック動作を検討することを考えた。

以上のことから、本研究は競泳を経験している選手を対象に、水中ドルフィンキックの動作分析を泳速の変化から、Stroke Rate と Distance Per Stroke の検討および、上下振り幅と各関節角度を検討することを目的とした。

2. 方法

(1) 被験者

被験者は、競泳競技を経験している男子選手（以下、競泳男子選手）19名であった。被験者の身体的特徴は表1に示した。なお本研究は、日本体育大学の倫理審査委員会の承諾（承認番号 第012-H30号）を受けて実施し、すべての被験者に実験手順と安全性に関する説明を行い、書面により実験参加の同意を得られたものを対象とした。

表1 被験者の身体的特徴

水泳選手 (n=19)				
Variable	unit	Mean		SD
年齢	(yrs)	21.0	±	2.5
身長	(cm)	173.4	±	5.8
体重	(kg)	70.2	±	7.5
競技歴	(yrs)	15.8	±	4.5

(2) 実験機材配置 (図1)

実験は多目的プール（長さ25m、幅18.50m、水深1.25m）の第3コース（側壁から5.50m）を使用した。水中ドルフィンキック動作撮影は、4台の水中カメラ（(MTV-54KON：Panasonic社製）を用いて30fpsで行った。水中カメラは、プール底から高さ65cm、プール壁から42cm離し、被験者の右側方に設置した。カメラ座標の定義として、進行方向（水平成分）をx軸とし、鉛直方向をy軸とした。水中カメラ配置距離は、スタート壁から1台目を8.80m、以降11.15m、13.50m、15.85m地点に設置し、1台の水中カメラの撮影範囲は4.70m区間で、水中カメラ画角の重ね撮影範囲は2.35mに設置した。4台の水中カメラから得られた映像は、それぞれ4つのビデオキャプチャー（GV-USB2：IO-DATA社製）を用いて4台のパソコンへ保存された。4台のビデオタイマー同期システム（FOR.A社製、VTG-10）を使用し、撮影画面中に時間を表示させ、4台の水中カメラの同期を行った。Speed Meter（Vine社製：以下SM）は、第3コーススタート台（水面から高さ1.25m）に設置し、サンプリング周波数500Hzで計測した。全ての計測機（4台の水中カメラ・ビデオタイマー同期システム・SM）は、スタートトリガー（九州ハードシステム社製）を用いて同期を行った。Time計測はストップウォッチ（SEIKO社製）を用いて手動で行った。

(3) 実験プロトコル

被験者には解剖学的計測点（第三中手骨、尺骨茎状突起、上腕外側上顆、肩峰、剣状突起、肋骨下端、大転子、大腿骨外側上顆、外果、母子球）にマーカーを貼付後（図2）、ウォーミングアップを十分に行い、休憩を取った後に試技を開始した。実験プロトコルは、25m水中ドルフィンキック全力泳・80%・50%の3試技を行った。全力泳試技後、Time結果から被験者個々の最大泳速Timeから80%Timeおよび50%Timeを算出し、被験者はあらかじめ伝えられた設定Timeに合うように水中ドルフィンキック泳を行った。また、80%と50%の成功試技は、それぞれの泳速

が $80 \pm 5\%$ 、 $50 \pm 5\%$ の範囲とし、Time範囲外の失敗試技については、休憩をとったのち再度試技を行った。被験者にはSMの紐を腰に巻き、コース中心に引いてあるライン上で全ての試技を行うように指示し、掛け声「用意、スタート」で試技を開始した。

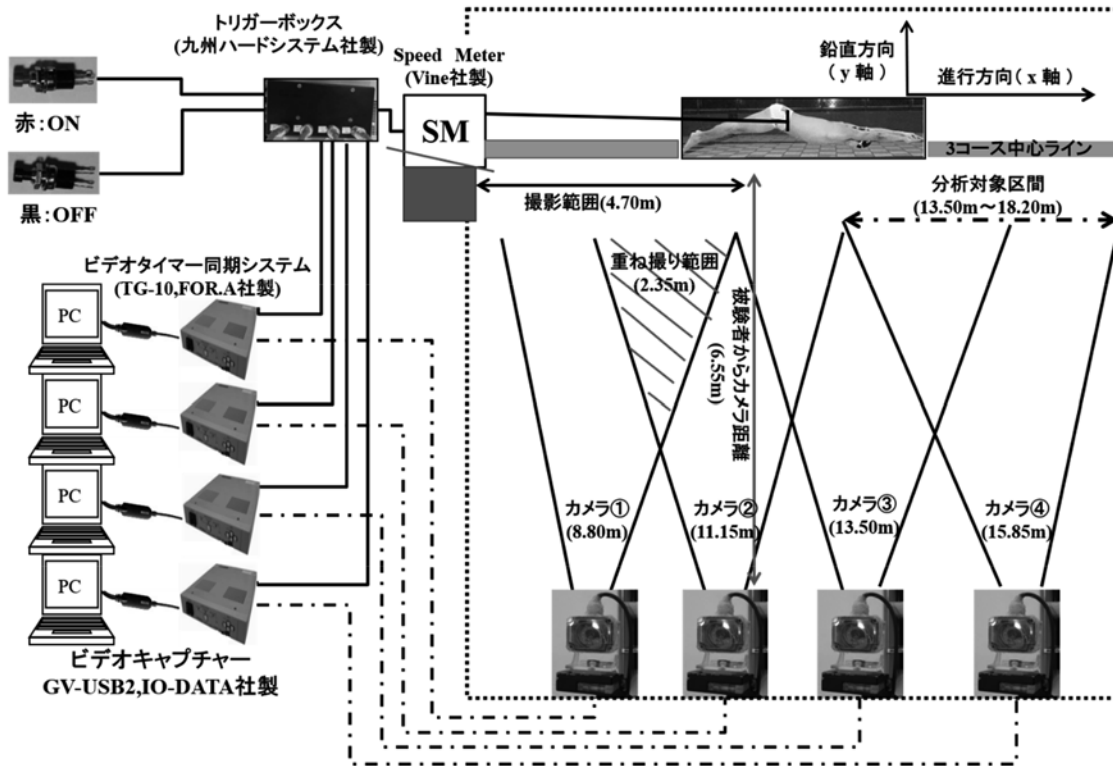


図1 実験設定図

水中カメラ①～④、SM：スピードメーター、トリガーボックス：SMとカメラ映像との同期

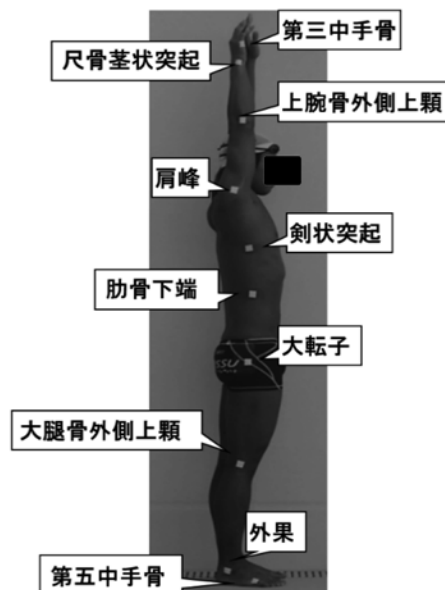


図2 解剖学的計測点のマーカ貼付位置

(4) データ分析

動作分析は4台の水中カメラで撮影を行い、壁の蹴り出し速度の影響、スピードメーターの速度波形が安定する地点、ドルフィンキック動作の安定を考慮し、分析対象は4台目の水中カメラ（撮影範囲：13.50m～18.20m）とした。また、撮影動作の初めの1ストローク（動作中の足指部の最下点から次の最下点までの1キック）とした（図3）。画像解析ソフトFrame-DIAS IV（DKH社製：以下FD）を用いて、リンクセグメントモデル阿江アスリート15点（阿江，1996）と剣状突起の計16点の解剖学的計測点にデジタル化を行い、2次元DLT法を用いて座標変換を行った。画像解析から得られた身体の各位置座標データは、残差分析法（Winter,1990）を用いて最適遮断周波数（3～5Hz）を決定した後、4次のバターワースローパスフィルター（3～5Hz）によって平滑化した。右側方矢状面における2次元動作解析による位置座標データから、各解剖学的計測的の鉛直成分の変位量と関節角度を算出した。鉛直変化の振り幅の定義は、ドルフィンキック動作1ストローク中の最下点から最高点まで（図4）とした。関節角度の定義（図5）は、肩（上腕骨外側上顆－肩峰－剣状突起）とのなす角度、胸（肩峰－剣状突起－肋骨下端）のなす角度、体幹（剣状突起－肋骨下端－大転子）とのなす角度、腰（肋骨下端－大転子－大腿骨外側上顆）とのなす角度、膝（大転子－大腿骨外側上顆－外果）とのなす角度、足（大腿骨外側上顆－外果－母指球）とのなす角度とした。関節角度は、伸展方向を全てプラスと定義した。また、得られた角度データについては、3次のスプライン関数を用いて平滑化した後、分析区間1ストロークの時間を100%に正規化し、それぞれについて2%ごとの値を求めた。水中カメラとタイマカウンターと同期されているSMの速度波形から、ドルフィンキックの1ストロークの波形を取り出し、ストローク数を算出した（図6）。ストップウォッチの25m計測結果とSMのストローク数から、①Stroke rate（Hz：以下SR）、②Distance per stroke（m：以下DPS）、③Mean Velocity（m/s：以下MV）を算出した。

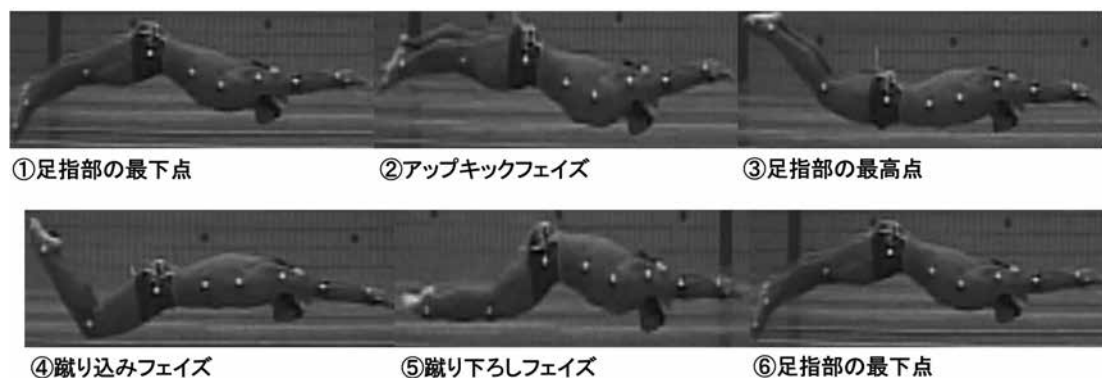


図3 ドルフィンキック1ストロークと動作局面の定義

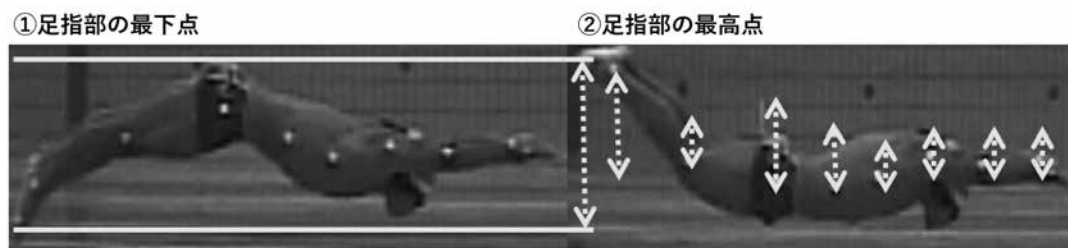


図4 各身体部位マーカー点の鉛直方向の振り幅の定義

A：肩部関節(上腕骨外側上顆－肩峰－剣状突起)、B：胸部関節(肩峰－剣状突起－肋骨下端)
 C：腹部関節(剣状突起－肋骨下端－大転子)、D：腰部関節(肋骨下端－大転子－大腿骨外側上顆)
 E：膝部関節(大転子－大腿骨外側上顆－外果)、F：足部関節(大腿骨外側上顆－外果－母指球)

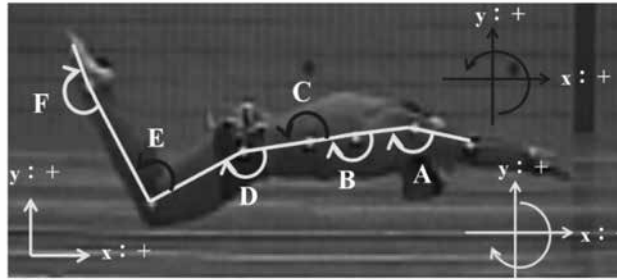


図5 関節角度の定義

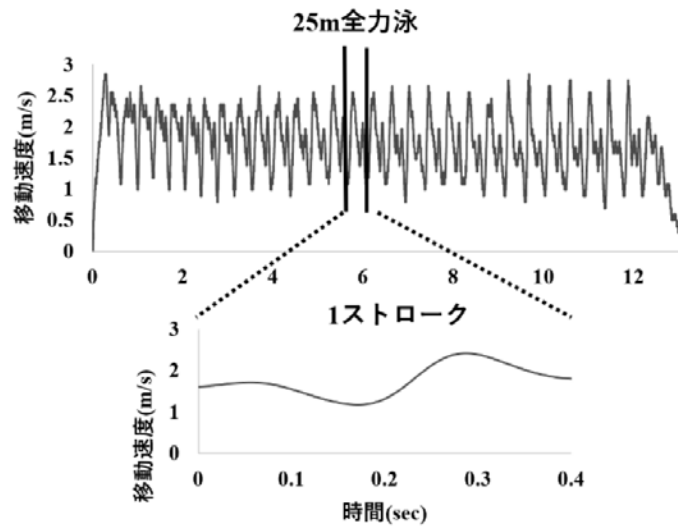


図6 スピードメーターから得られるドルフィンキック動作時の速度波形のデータサンプル (n=1)

(5) 統計処理

各算出項目の値は、すべて平均値 ± 標準偏差で示した。統計処理は、統計処理ソフト JMP ver 8.0 (SAS社製) を用いた。全力泳、80%試技、50%試技の速度変化における各測定項目は、対応有の一元分散分析を行い、その後 Bonferroni 法を用いて多重比較検定を行った。有意水準は危険率5%未満とした。

3. 結果

(1) 全力泳、80%、50%試技のTime、MV、SRおよびDPSの比較 (表2、図7)

全力泳から80%、50%試技のTime結果において、80%試技 $17.8 \pm 2.8\text{sec}$ は50%試技 $22.9 \pm 4.0\text{sec}$ より4.9sec速く、全力泳 $15.3 \pm .5\text{sec}$ は50%試技 $22.9 \pm 4.0\text{sec}$ より6.3sec速く、統計上有意な差がみられた ($p < 0.05$)。一方、MV (全力泳： $1.67 \pm 0.25\text{m/s}$ VS 80%： $1.43 \pm 0.021\text{m/s}$ VS 50%： $1.12 \pm 0.18\text{m/s}$) においては、全ての値において統計上有意差がみられた ($p < 0.05$)。速度を構成するSR (全力泳： $2.3 \pm 0.2\text{Hz}$ 80%： $1.5 \pm 0.2\text{Hz}$ VS 50%： $1.0 \pm 0.2\text{Hz}$) およびDPS (全力泳： $0.90 \pm 0.09\text{m}$ VS 80%試技： $1.09 \pm 0.11\text{m}$ VS 50%試技： $1.25 \pm 0.21\text{m}$) においても、全ての値に統計上有意な差がみられた ($p < 0.05$)。

表2 全力泳、80%、50%試技のTime、MV、SR及びDPSの比較

Trial	Time(sec)		MV(m/s)		SR(Hz)		DPS(m)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
● 全力泳	15.3 ± 2.5		1.67 ± 0.25		2.1 ± 0.3		0.90 ± 0.09	
■ 80%試技	17.8 ± 2.8		1.43 ± 0.21		1.5 ± 0.2		1.09 ± 0.11	
◆ 50%試技	22.9 ± 4.0		1.12 ± 0.18		1.2 ± 0.3		1.25 ± 0.21	
多重比較	b,c		a,b,c		a,b,c		a,b,c	

a:全力泳vs80%, b:80%vs50%, c:全力泳vs50%

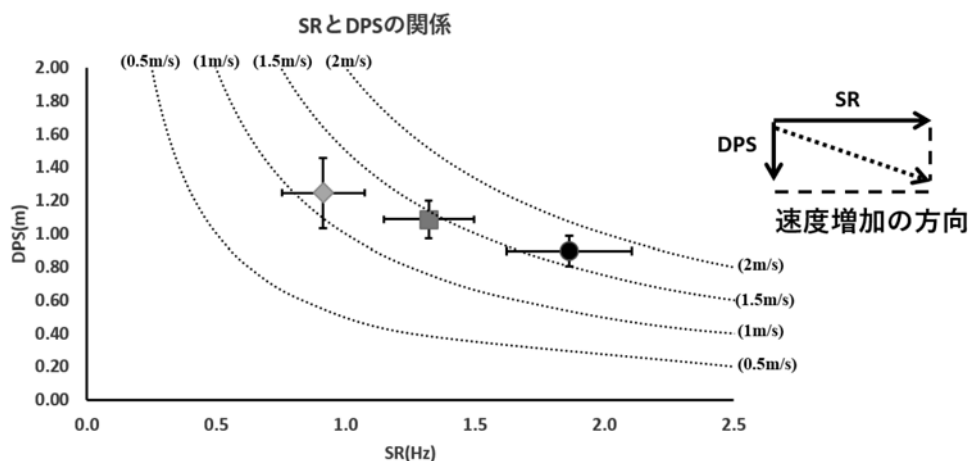


図7 水中ドルフィンキック1ストローク中における、全力泳、80%、50%試技のSRとDPSの関係

(2) 全力泳、80%、50%試技の25m水中ドルフィンキック1ストロークにおける鉛直成分の変位量の比較 (図8)

水中ドルフィンキック全力泳、80%、50%試技の1ストローク中における身体部位鉛直成分の変位量は、第三中手骨から下肢のつま先にかけて鉛直変位量が大きくなる傾向を示した。鉛直変位量の比較結果においては、肩峰を除いた解剖学ランドマーク点において、全力泳（第三中手骨：7.4±4.0cm、尺骨茎状突起：6.3±3.6cm、上腕骨外側上顆：4.8±2.4cm、肩峰：5.7±1.3cm、剣状突起：6.5±1.4cm、肋骨下端：7.8±1.8cm、大転子：13.0±3.2cm、大腿骨外側上顆：25.7±3.4cm、外果：41.2±5.0cm、母指球：51.7±5.4cm、つま先：58.6±6.1cm）は50%試技（第三中手骨：13.3±6.8cm、尺骨茎状突起：12.5±5.7cm、上腕骨外側上顆：9.5±4.0cm、肩峰：7.5±1.4cm、剣状突起：7.9±1.4cm、肋骨下端：11.5±2.2cm、大転子：16.5±3.5cm、大腿骨外側上顆：34.2±4.6cm、外果：49.6±7.3cm、母指球：60.3±8.0cm、つま先：66.6±8.8cm）よりも小さい値を示し、統計上有意な差がみとめられた（ $p < 0.05$ ）。肩峰においては、全力泳5.7±1.3cmは80%試技6.9±1.3cmより1.2cm小さく、80%試技6.9±1.3cmは50%試技7.5±1.4cmより0.6cm小さく、統計上有意な差がみとめられた（ $p < 0.05$ ）。一方、肋骨下端（全力泳：7.8±1.8cm、80%試技：9.4±1.9m、50%試技：11.5±2.2cm）と大腿骨外側上顆（全力泳：25.7±3.4cm、80%試技：30.2±3.5cm、50%試技：34.2±4.6cm）においては、全ての値において統計上有意な差がみとめられた（ $p < 0.05$ ）。

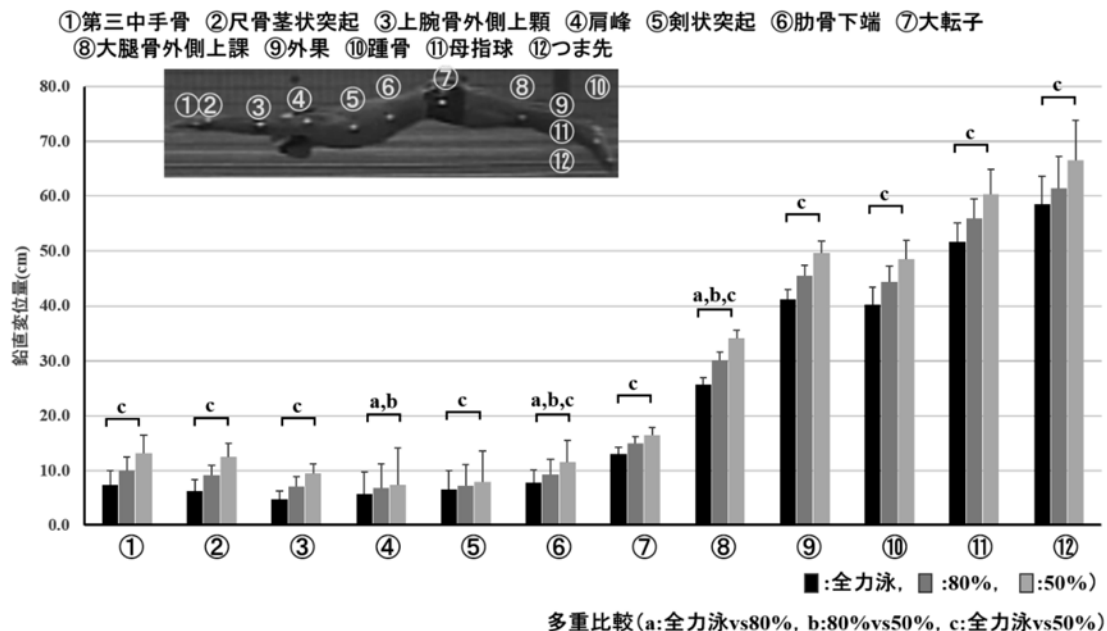


図8 水中ドルフィンキック1ストローク中における、全力泳、80%、50%試技の解剖学的ランドマーク点の鉛直方向の比較

(3) 全力泳、80%、50%試技の25m水中ドルフィンキック1ストロークにおける各関節角度および角度範囲の比較 (表3、4、5、図9)

水中ドルフィンキック全力泳、80%、50%試技の1ストローク中における各関節角度の比較結果において、最大伸展角度(表3)においては、全ての値において統計上有意差はみられなかった。一方で、最大屈曲角度(表4)では、体幹部角度において、全力泳 $164.2 \pm 5.5 \text{deg}$ は80%試技 $157.0 \pm 10.0 \text{deg}$ より 7.2deg 小さく、全力泳 $164.2 \pm 5.5 \text{deg}$ は50%試技 $156.2 \pm 5.6 \text{deg}$ より 8.0deg 小さく、統計上有意差がみとめられた ($p < 0.05$)。腰部角度では、全力泳 $145.4 \pm 9.8 \text{deg}$ は80%試技 $138.2 \pm 9.7 \text{deg}$ より 7.2deg 小さく、統計上有意差がみとめられた ($p < 0.05$)。膝関節角度では、全力泳 $112.3 \pm 8.2 \text{deg}$ は80%試技 $98.4 \pm 11.3 \text{deg}$ より 13.9deg 小さく、全力泳 $112.3 \pm 8.2 \text{deg}$ は50%試技 $101.4 \pm 7.5 \text{deg}$ より 10.9deg 小さく、統計上有意差がみとめられた ($p < 0.05$)。各関節角度範囲(表5)では、体幹部角度範囲において、全力泳 $18.5 \pm 3.8 \text{deg}$ は80%試技 $29.0 \pm 6.6 \text{deg}$ より 8.5deg 小さく、全力泳 $18.5 \pm 3.8 \text{deg}$ は50%試技 $28.6 \pm 4.5 \text{deg}$ より 9.9deg 小さく、統計上有意差がみとめられた ($p < 0.05$)。膝関節角度範囲においては、全力泳 $77.3 \pm 8.6 \text{deg}$ は80%試技 $90.3 \pm 11.9 \text{deg}$ より 13.0deg 小さく、統計上有意差がみとめられた ($p < 0.05$)。

表3 全力泳、80%、50%試技の各関節における最大伸展角度の比較

Trial	肩関節(deg)		胸椎(deg)		体幹部(deg)		腰部(deg)		膝関節(deg)		足関節(deg)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
全力泳	168.2	± 14.1	198.9	± 5.8	182.7	± 7.0	184.0	± 4.6	189.6	± 6.4	203.4	± 12.7
80%試技	166.7	± 13.6	201.4	± 9.2	186.1	± 11.2	182.9	± 6.5	188.7	± 7.0	207.7	± 12.8
50%試技	164.9	± 12.0	199.9	± 6.5	184.7	± 8.2	183.7	± 5.0	187.8	± 6.4	207.6	± 15.7
多重比較												

表4 全力泳、80%、50%試技の各関節における最大屈曲角度の比較

Trial	肩関節(deg)		胸椎(deg)		体幹部(deg)		腰部(deg)		膝関節(deg)		足関節(deg)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
全力泳	157.4 ± 12.7		176.6 ± 6.0		164.2 ± 5.5		145.4 ± 9.8		112.3 ± 8.2		148.6 ± 9.8	
80%試技	152.9 ± 11.0		176.1 ± 7.1		157.0 ± 10.0		138.2 ± 9.7		98.4 ± 11.3		143.0 ± 8.9	
50%試技	154.3 ± 11.3		178.3 ± 8.1		156.2 ± 5.6		143.8 ± 7.4		101.4 ± 7.5		148.2 ± 6.2	
多重比較							a,c		a		a,c	

a:全力泳vs80%, c:全力泳vs50%

表5 全力泳、80%、50%試技の各関節における角度範囲の比較

Trial	肩関節(deg)		胸椎(deg)		体幹部(deg)		腰部(deg)		膝関節(deg)		足関節(deg)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
全力泳	8.6 ± 3.2		22.4 ± 4.9		18.5 ± 3.8		35.6 ± 7.6		77.3 ± 8.6		54.7 ± 14.9	
80%試技	12.4 ± 4.4		25.3 ± 5.6		29.0 ± 6.6		45.6 ± 10.3		90.3 ± 11.9		48.3 ± 8.3	
50%試技	10.6 ± 3.8		21.6 ± 6.6		28.6 ± 4.5		39.8 ± 7.9		86.3 ± 9.6		59.3 ± 14.6	
多重比較							a,c			a		

a:全力泳vs80%, c:全力泳vs50%

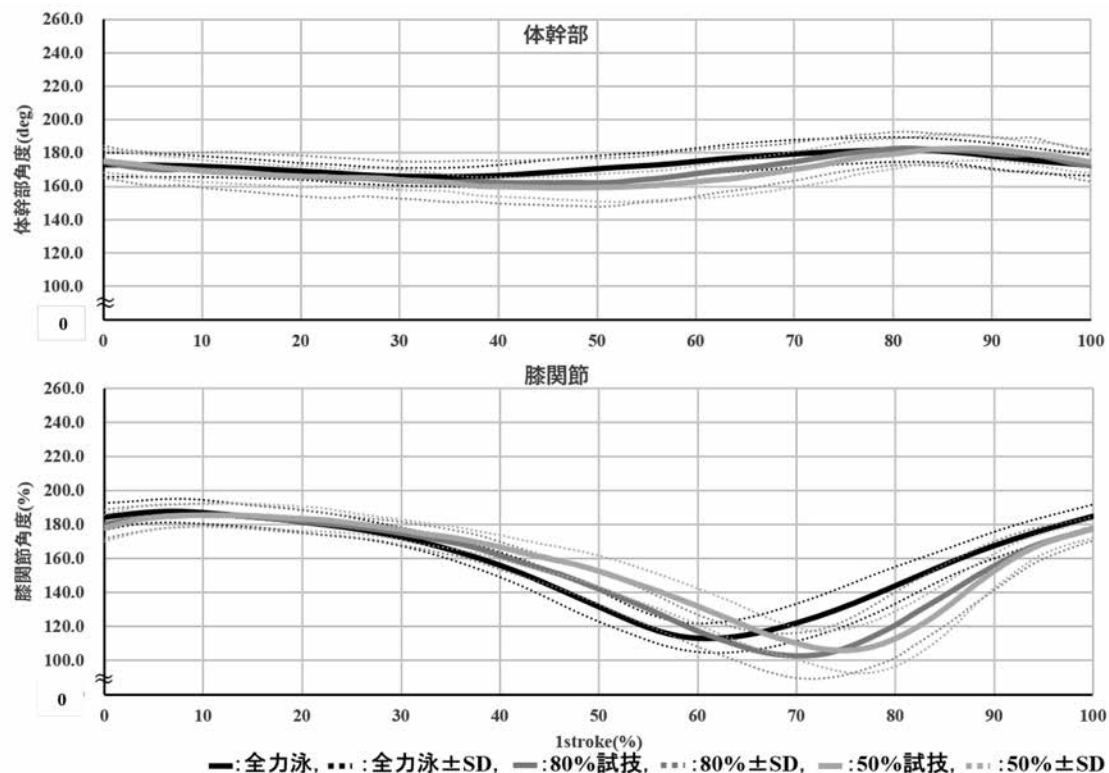


図9 25m水中ドルフィンキック1ストローク中における全力泳、80%、50%試技の体幹角度および膝関節角度の比較

4. 考 察

本研究における水泳選手の25m水中ドルフィンキック全力泳、80%試技、50%試技のTime、MV、SRおよびDPSの結果(表2)から、泳速度を高めるためにはSRを大きくし(全力泳: $2.1 \pm 0.3\text{Hz} > 80\% \text{試技}: 1.5 \pm 0.2\text{Hz} > 50\% \text{試技}: 1.2 \pm 0.3\text{Hz}$)、DPSを小さくする(全力泳: $0.90 \pm$

0.09m < 80% 試技 : 1.09 ± 0.11 m < 50% 試技 : 1.25 ± 0.21 m) 傾向が示された。Arellano et al., (2002) は、競技レベル差を用いて水中ドルフィンキックの泳速度を比較し、SRが大きいことが差であると報告した結果と類似した。一方で、Gillis et al., (1997) は、泳速度に関わるSRには限界があり、DPSを伸ばす必要があるとも報告していたが、本研究では、泳速度向上にともないDPSが短くなる傾向を示し異なる結果であった。本研究の水泳選手で最も速い記録は、12.5secであったが、速度増加にともないSRは大きくDPSは小さくしている傾向であり、それ以上のTime記録での確認は困難であった。より競技レベルの高い選手、あるいは初心者での比較検討によって生じる事例として考えた。以上のことから、水中ドルフィンキックの泳速度は、競技レベルに問わず、泳速度増加にともないSRが大きくDPSは小さくなることが示唆された。

各身体部位の鉛直成分の変位量の比較結果 (図8) では、水中ドルフィンキックの泳速度に関わらず手先から下肢の末端部である足先に向かって上下振り幅が大きくなる傾向を示した。先行研究 (Hochstein and Blickhan, 2014) では、水中ドルフィンキック動作は、身体のうちねりを利用してムチ運動を行い、下肢に力を伝えるため末端部の足先の上下振り幅が大きくなる報告結果と類似する結果となった。また、水中ドルフィンキック動作の泳速度増加にともない、各身体部位の鉛直変位量は小さくなる傾向を示した。Gautier et al., 2004によれば、泳速が高いほど身体の上動作は小さい振り幅の傾向を示すと報告している。さらに、矢状面における下肢の膝関節が泳速度に起因すると報告しており、本研究の大腿骨外側上顆 (全力泳 : 25.7 ± 3.4 cm、80% 試技 30.2 ± 3.5 cm、50% 試技 34.2 ± 4.6 cm) は泳速度増加にともない小さくなる傾向と類似する結果となった。肋骨下端の鉛直変位についても小さくなる傾向 (全力泳 : 7.8 ± 1.8 cm、80% 試技 : 9.4 ± 1.9 cm、50% 試技 : 11.5 ± 2.2 cm) が示された。小林ら (2016) は、体幹、大腿、下腿における筋活動における筋活動様式が交互に行なわれていることを報告しており、本研究の肋骨下端の鉛直変位から上下動作がおこなわれていることがいえる。さらに、関節角度における体幹部屈曲角度では、全力泳 164.2 ± 5.5 deg は80% 試技 157.0 ± 10.0 deg および50% 試技 156.2 ± 5.6 deg より小さい傾向を示した。また、膝関節屈曲角度においても、全力泳 112.3 ± 8.2 deg は80% 試技 98.4 ± 11.3 deg および50% 試技 101.4 ± 7.5 deg より小さい傾向を示した。各関節における屈曲角度は、矢状面における水抵抗とも考えられており (Gautier et al., 2004)、水中ドルフィンキックの泳速度に起因していることから、屈曲角度を小さくすることで、水抵抗を小さくできるといえる。これまでの水中ドルフィンキック動作の研究では、上肢は挙上運動によってストリームライン姿勢が保持されており、推進方向を定めるために固定されているという概念があった。しかし、本研究の肋骨下端における上下振り幅および体幹部屈曲角度から、水中ドルフィンキックのうちねり動作であるムチ運動は、ストリームラインの姿勢を極力崩さずに、肋骨下端から上下動作をおこなっていることが考えられる。一方で、(Wang and Liu., 2006) は、上肢から下肢にかけて、様々な筋肉と関節を協応させて上下に動かすことにより、運動連鎖 (位相差) が起こり、ムチのようなうねり動作によって、ドルフィンキック動作になるお報告している。本研究においても、上肢から下肢にかけて各身体部位の鉛直変位量 (図8) と各関節角度の屈曲伸展動作 (表3、4、5) が確認されており、(Wang and Liu., 2006) と類似する結果となった。以上のことから、水中ドルフィンキック動作の分析においては、下肢の膝関節屈曲角度のみに着目するのではなく、小林ら (2016) がEMGによって体幹の筋活動も報告されていることから、上半身にも着目し、全身運動としてとらえる必要があることがわかった。

5. 結 論

水中ドルフィンキックにおける動作の特徴を明らかにするために、泳速度変化を用いて動作の違いを検討した結果、水中ドルフィンキック動作は、肋骨下端の上下動作を小さくすることで、体幹部屈曲角度が小さくなり、膝関節屈曲角度も抑えることができ、SRを大きくできることが示唆された。

6. 今後の展望

本研究では、被験者を水泳経験者として大きな群としてまとめ、泳速度を変化させて動作分析を行った。今後は、被験者間の競技レベル差を用いて群分けを行い、群間および各測定項目での比較検討を試みてみる。また、速度変化を用いて水中ドルフィンキック動作の違いを検討したが、1 Kick動作中の時間軸における動作変化を検討しておらず、速度変化における1 stroke中の動作変化を明らかにすることを試みる。

引用・参考文献

- 文部科学省 (2014) 水泳指導の手引き [三訂版] 学校体育実技指導資料 (学校体育実技指導資料 第4集) 公益財団法人 日本水泳連盟. (2019) 水泳指導教本 [三訂版]. 大修館書店
- 公益財団法人 日本水泳連盟 (2018) 競泳競技規則
- 若吉 浩二. (1992) 競泳のレース分析～レース分析とその現場への応用～. *J. Biomechanisms.*, 16(2): 93-100
- Sanders, R. H., (2002) New analysis procedure for giving feedback to swimming coaches and swimmers. *Biomechanics in Sports swimming.*, : 1-14
- Collard, L., Gourmelin, E and Schwob, V. (2013) The fifth stroke: the effect of learning the dolphin kick technique on swimming speed in 22 novice swimmers. *Journal of Swimming Research* 21(1)
- 成田建造, 中島求, 仙谷泰雄, 本間三和子, 椿本昇三, 高木英樹. (2018) 多段階の泳速度におけるクロール泳中の自己推進時抵抗とストリームライン姿勢中の受動抵抗の比較. *体育学研究.*, 63: 505-515
- Ltlyle, A. D., Blanksby, B. A., Elliott, B. C. and Lloyd, D. G. (2000) Net forces during tethered simulation of underwater streamlined gliding and kicking techniques of the freestyle turn. *J. Sports Sci.*, 18(10): 801-807
- 杉本 誠二, 中島 求, 市川 浩, 野村武男 (2008) 水中ドルフィンキックの推進力と関節トルクのシミュレーション解析. *バイオメカニズム学会誌*, 32(2): 90-97.
- Connaboy Chris, Coleman S., and Sanders R. H. (2009) Hydrodynamics of undulatory underwater swimming: A review. *Sports Biomechanics*, 8(4): 360-380
- Arellano R, Pardillo S., and Gavilan A. (2002) Underwater undulatory swimming: Kinematic characteristics, vortex generation and application during the start, turn and swimming strokes. *Journal of Swimming Research*,
- Gary B.Gills. (1997) Anguilliform locomotion in an elongate salamander (*Sirenintermedia*): effects of speed on axial undulatory movements. *Journal of Experimental Biology*, 200 : 767-784
- Hochstein, S and Blickhan, R. (2014) Body movement distribution with respect to swimmer's glide position in human underwater undulatory swimming. *Hum. Mov. Sci.*, 38: 305-318.
- Gautier J., Baly L., Zanone P. G., and Watier B. (2004) A kinematic study of finswimming at surface. *Journal of Sports Science and Medicine*, 3: 91-95
- Wang Ning and Liu Y. T. (2006) Kinetic chain application to the dolphin kick in butterfly swimming. *International Symposium on Biomechanics in Sports*, : 11-15
- Atkison, R. R., Dickey, J. P., Dragumas, A. and Nolte, V. (2014) Importance of sagittal kick symmetry for underwater dolphin kick performance. *Hum, Mov. Sci.*, 33: 298-311.

- 小笠原 悦子, 田口 信教, 辻 浩幸, 深代千之. (1988) バタフライのドルフィンキックにおける下肢3関節の屈伸の時相差. 鹿屋体育大学研究紀要, 3: 91-100
- 杉本誠二, 中島求, 野村武男. (2007) シミュレーション解析による足関節底屈角度増加が水中ドルフィンキックのパフォーマンスに与える影響. 日本機械学会シンポジウム講演論集: 194-199
- 甲斐義浩, 村田 伸, 堀江 淳: 上肢拳上角と脊柱湾曲角 との関係—健全成人における検討—. 理学療法科学, 2010, 25(1): 19-22
- 鈴木雄太, 浦辺幸夫, 前田慶明, 笹代純平, 森田美穂. (2016) 競泳ストリームライン姿勢での上肢拳上角度と脊柱アライメントの関係—大学選手と一般大学選手での比較—. 理学療法科学31(2): 209-212
- 酒井洋紀: 大学競泳選手による肩甲骨の可動性—最高到達 点測定による評価—. 水と健康医学研究会誌, 2006, 9(1): 19-23.
- 小林 啓介, 下門 洋文, 高木 英樹, 椿本 昇三, 仙石 泰雄 (2016) エリート女性競泳選手の水の中ドルフィンキックにおける体幹, 大腿, 下腿の筋活動の様式. 体育学研究61巻(1): 185-195
- Havriluk, R. (2005) Performance level differences in swimming: a meta-analysis of passive drag force. Res. Q. Exerc. Sport, 76: 112-118.
- Mollendorf, J. C., ALBERT C TERMIN, I., Oppenheim, E., and Pendergast, D. R. (2004) Effect of swim suit design on passive drag. Med. Sci. Sports Exerc., 36: 1029-1035.
- 合屋十四秋, 野村照夫, 杉浦加枝子 (2005) 女子水泳選手におけるクロール泳の速度出力調整と動作との関係. スポーツ方法学研究 第18巻(1): 75-83
- 阿江 通良. (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. J. Sports Science, 15(3): 155-162
- Winter, D.A., (1990) Biomechanics and Moter Control of Human Movement, John Wiley&Sons, New York