

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：32671

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K13136

研究課題名(和文) 一流競泳選手の水泳キック動作における 3次元特性の解明

研究課題名(英文) Study of three dimensional characteristics for swimming kick movements in skilled swimmers

研究代表者

山川 啓介(Keisuke, Kobayashi-Yamakawa)

日本女子体育大学・体育学部・講師

研究者番号：60783785

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、水泳で用いられる3種類のキック動作(フラッターキック、ドルフィンキック、平泳ぎキック)を対象に3次元動作分析と表面筋電図計測を行い、男子大学競泳選手における各キック動作の標準動作と筋活動の平均波形を示すことができた。また、泳速度増加の際には筋活動の増加による動作速度の向上が関与していること、さらに筋活動の増加に伴って足部で発揮された推進力が増加することが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水泳のキック動作は推進力に寄与していることが指摘されているものの、これまで詳細な動作分析が行われてこなかった。そのため、本研究で提示した3次元の標準動作と筋活動の平均波形は、各キック動作の指導法やトレーニング法を検討する上での基礎的かつ重要な資料になると考えられる。また、本研究の結果から、キック動作における筋活動、キネマティクス、推進力発揮の関係性が明らかになった。このことは、泳者が泳速度を増加させる際の適切なトレーニング戦略を立てる上で有益な知見になると考えられた。

研究成果の概要(英文)：In this study, we used in combination with 3D motion analysis and surface electromyography measurement for three kick movements in swimming (flutter kicking, dolphin kicking, and breaststroke kicking). As the results, it was shown that the standard motions in university male swimmers and the general muscle activity patterns during three kick movements. In addition, it was clarified that the swimmer increases swimming velocity with the increase in movement speed caused by the increase in muscle activity, and that the changes in propulsive force exerted in the foot were related to the changes in muscle activity.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：水泳 キック動作 3次元動作分析 表面筋電図 圧力分布計測

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

水泳は、上肢のストローク動作と下肢のキック動作によって推進する全身運動である。競泳競技で用いられるキック動作は、自由形・背泳ぎで用いられるフラッターキック、バタフライで用いられるドルフィンキック、平泳ぎキックに大別される。上肢のストローク動作と同様、キック動作も全身の推進に貢献し、特に平泳ぎでは全身の推進への貢献度が大きいことが明らかになっている。研究開始当初、競技現場ではキック動作中の股関節の内旋動作や内転動作の重要性が叫ばれており、これらの動作をサポートする水着の開発やトレーニング方法が提唱されていた。しかしながら、水泳のキック動作を対象に 3 次元動作分析を行った研究は非常に少なく、各キック動作における 3 次元的な運動構造は十分に明らかになっていなかった。一方で、水中用モーションキャプチャシステムや水中用表面筋電計などの測定機器の発展に伴い、近年では水中環境における 3 次元動作が従来よりも簡易かつ高い精度で分析できるようになってきている。さらに、角川ほか(2012)が報告した足部周りの圧力分布計測法を応用することにより、キック動作によって生じた流体力を推定することが可能であると考えられた。以上のことから、3 次元キネマティクス、筋活動、流体力の 3 つの観点から各キック動作を分析することで、各キック動作の適切な指導・トレーニング法の立案や障害予防策の検討に役立つ知見が提示できると期待された。

2. 研究の目的

本研究は、一流競泳選手における水泳キック動作について、キネマティクス、筋活動、流体力の 3 つの観点から分析し、各キック動作の 3 次元の特徴を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、上記の研究目的を達成するために、以下の 3 つの実験を行った。

(1) フラッターキック、ドルフィンキック、平泳ぎキックの 3 次元動作分析と筋活動計測

大学水泳部に所属する 8 名の男子競泳選手を対象として、実験用回流水槽でのフラッターキック泳、ドルフィンキック泳、平泳ぎキック泳中の 3 次元動作分析と表面筋電図計測を実施した。全ての試技は、対象者の 25 m 全力泳時の 90%の流速に設定してキック動作間の努力度を統一した。

試技中の動作分析と筋活動計測のために、対象者の体幹、左下肢の 15 点にマーキングを行い、ワイヤレス表面筋電計 (DL-5000, S&ME 社製、サンプリングレート 1000 Hz) を臀部、大腿、下肢の 8 筋に貼付して試技を実施した(図 1)。表面筋電図測定の対象筋は、大腿直筋、外側広筋、長内転筋、大殿筋、中殿筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋内側頭を採用した。水中用モーションキャプチャシステムによる 3 次元動作分析を行うために、18 台のモーションカメラ (サンプリング 100 fps) を回流水槽側面および底面の水中窓越しに図 2 のように設置し、下肢の 3 次元実座標を収集した。



図1 身体マーキングと表面筋電計の貼付

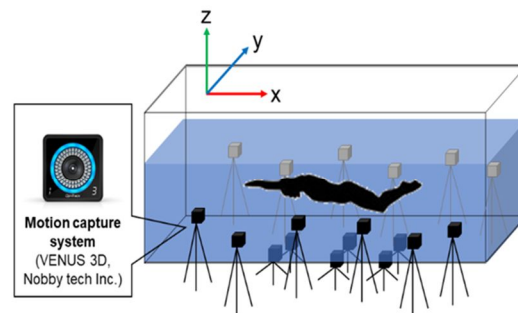


図2 モーションキャプチャシステムのカメラ設置位置

(2) 水中ドルフィンキックにおける泳速度変化に伴う動作と筋活動の変化に関する調査

大学水泳部に所属する 8 名の男子競泳選手を対象として、異なる泳速度での水中ドルフィンキック泳における 3 次元動作分析と表面筋電図計測を実施した。すべての試技は実験用回流水槽で実施した。水中ドルフィンキックの泳速度は、対象者の 25 m 全力泳時の 70%、80%、90%の流速に設定して対象者間の努力度を統一した。

試技中の動作分析と筋活動計測のために、(1)と同様の方法を用いて泳者の下肢の 3 次元動作分析と筋活動計測を行った。

(3) 平泳ぎキックにおける筋活動、キネマティクス、流体力の関係性に関する調査

大学水泳部に所属する 1 名の男子競泳選手を対象として、異なる泳速度での平泳ぎキック泳

における2次元動作分析,表面筋電図計測,足部周りの圧力分布計測を同時に行う実験を実施した。試技は実験用回流水槽で実施した。試技の設定流速は,0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1 m/s及び25m全力泳中の平均泳速度を採用した。

試技中の水中映像は,回流水槽側面と底面の水中窓越しに設置した2台のカメラ(GC-LJ20B, Sports Sensing社製,サンプリング100 fps)で撮影した。動作分析のために,身体分析点として肋骨下端,股関節大転子,大腿骨外側上果,足関節外果,第5中足骨端にマーキングを行った。また,筋活動計測のために,ワイヤレス表面筋電計(DL-5000, S&ME社製,サンプリングレート1000 Hz)を用いて,大腿直筋,長内転筋,大腿二頭筋,前脛骨筋,腓腹筋内側頭の表面筋電図を計測した。さらに,角川ほか(2012)を参考に,防水加工を施した小型圧力センサ(PS-05KC, 共和電業製,サンプリングレート200 Hz)を泳者の左足部の足底側と足背側の計8点に貼付し,足部表面の圧力分布を計測した(図3)。本研究では,足底側の圧力値から足背側の圧力値を差し引いて圧力差を算出し,圧力差に足底部の平面積を乗じて足部に生じた流体力の推定した。算出した足部流体力は,足部セグメントの法線ベクトルを使用して鉛直方向と水平方向の成分に分解し,流体力の水平方向の成分を泳者が発揮した推進力と定義した。

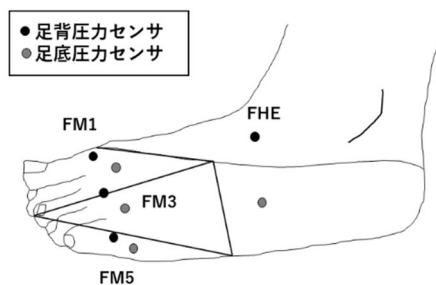


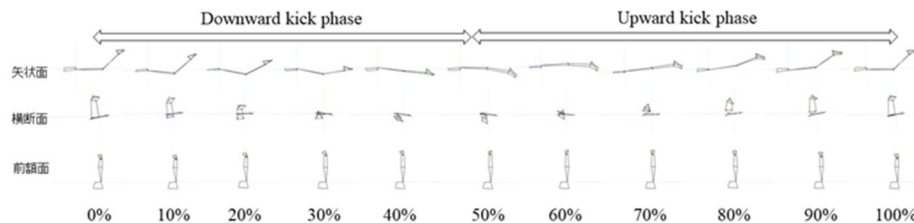
図3 圧力センサの貼付位置

4. 研究成果

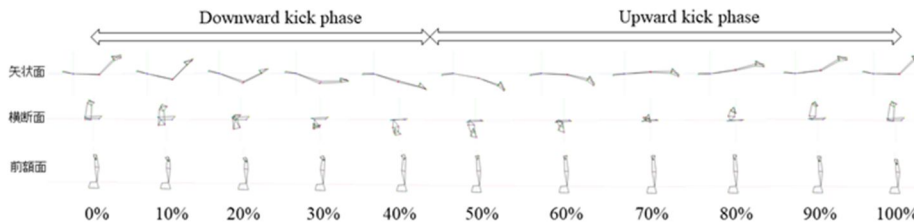
(1) フラッターキック, ドルフィンキック, 平泳ぎキックの標準動作と筋活動パターン

一定レベルの泳技能を有する泳者の詳細な動作情報は適切な指導やトレーニング法を検討する上での有益な資料となる。そこで本研究の(1)の実験における3次元動作分析と表面筋電図計測で得られたデータから,熟練した大学男子競泳選手における各キック動作中の標準動作と筋活動の平均波形を示すことができた(図4, 図5)。

フラッターキック



ドルフィンキック



平泳ぎキック

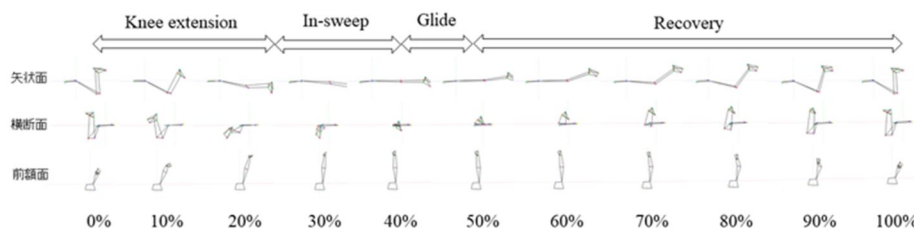


図4 大学男子競泳選手における3キック中の標準動作 (n=8)

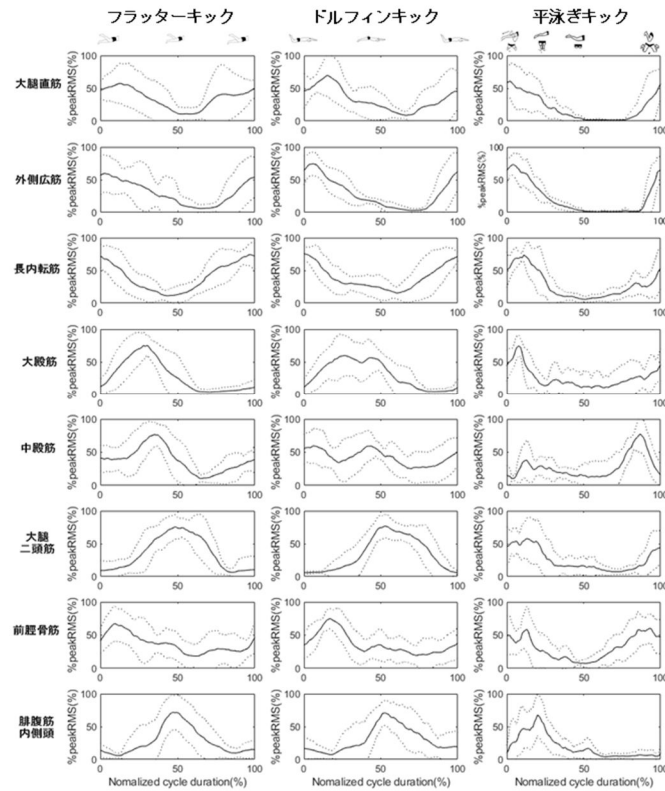


図5 大学男子競泳選手における3キック中の筋活動の平均波形 (n=8)

(2) フラッターキックとドルフィンキックにおける下肢動作の差異

フラッターキック動作に関する知見はドルフィンキック動作に関する知見と比較して少なく、これまでフラッターキック動作の特徴を3次元的に記述した研究はなかった。そこで、本研究の(1)の実験で得られたフラッターキックとドルフィンキックの3次元動作を比較し、フラッターキック動作の3次元的な特徴について検討した。主な結果として、両キック動作において大きな推進力を生じるダウンキックにおいて足部の外旋動作を行っていることが明らかになった(図4)。Shimojo et al. (2019)は「水中ドルフィンキックではダウンキック時の足部の外旋動作によって推進力が増大する」と報告しており、本研究の結果はフラッターキック動作においても同様の現象が生じている可能性が示された。さらに、フラッターキックとドルフィンキックの動作の違いとして、フラッターキックでは股関節と足関節における内旋/外旋方向の動作範囲がドルフィンキックと比べて小さいことが明らかになった(図6)。この結果は、フラッターキックでは腰部のローリング動作が横断面上の回旋運動に影響していることが推察された。

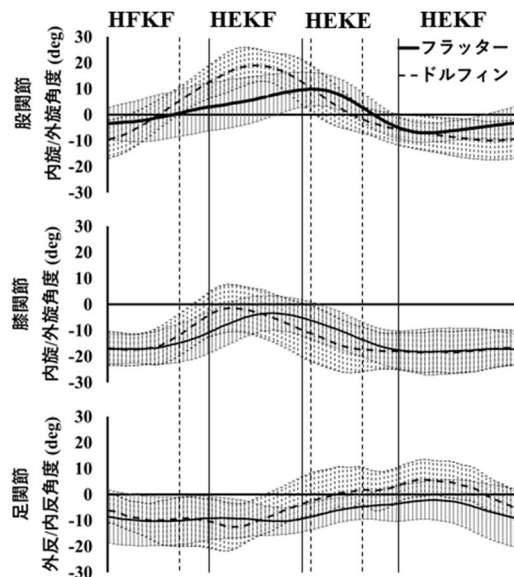


図6 両キック中の股関節，膝関節，足関節の内旋/外旋（外反/内反）方向の変位

(3) 水中ドルフィンキックにおける泳速度変化に伴う動作と筋活動の変化

水中ドルフィンキックの先行研究では、泳者の泳速度変化に伴って動作や筋活動がどのように変化するかは調査されていなかった。そこで本研究の(2)の実験において、3次元動作分析と筋活動計測により、泳速度変化に伴った動作や筋活動の変化について検討を行った。主な結果として、泳速度の増加に伴い、キック頻度、身体波速度、足先鉛直移動速度、股関節最大伸展速度、膝関節最大屈曲速度を増加することが明らかになった。また、90%流速の試技では、股関節最大内旋/外旋速度、膝関節最大内反/外反速度、足関節最大回外速度が増加することが示され、前額面や横断面の関節運動も泳速度の増加に寄与している可能性が示された。さらに、被験筋8筋におけるキック中の筋電図積分値の合算値は、泳速度の増加に伴って増加することが明らかになった(図7)。これらの結果から、水中ドルフィンキック中の泳速度を増加させる際、泳者は筋活動を増加させて動作速度を高め、結果としてキック頻度が増加することにより泳速度が増加するという一連のプロセスが明らかになった。

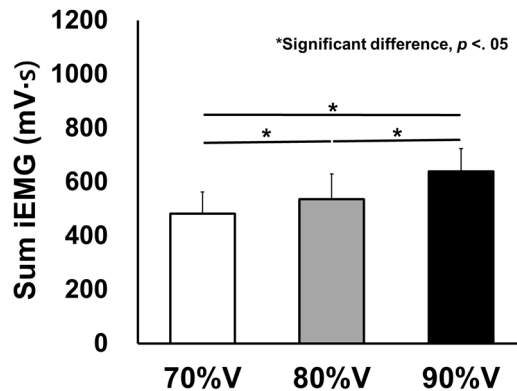


図7 泳速度の変化に伴う下肢8筋の筋電図積分値合計の変化

(4) 平泳ぎキックにおける筋活動, キネマティクス, 流体力の関係に関する事例的考察

平泳ぎキックでは足部で生じる流体力推定法が確立されているため、本研究の(3)の実験では、キック中の筋活動, キネマティクス, 流体力の関係性について事例的に調査を行った。主な結果として、ストローク頻度, 下肢の平均筋活動の合算値, キック中の平均推進力が泳速度に対する約1.6~2.2乗の範囲で指数関数的に増加することが示された(図8)。さらに、平均筋活動の合算値および平均推進力はストローク頻度の増加に伴って直線的に増加することが示され、平均筋活動の合算値と平均推進力も直線的に増加することが確認された。以上のことから、事例的な結果ではあるものの、平泳ぎキックでは筋活動の増加による動作速度の増加が足部で発揮される推進力を増加させ、結果として泳速度が増加することが示唆された。今後は対象者を増やすことで、これらの関係性をさらに詳細に解明できると考えられる。

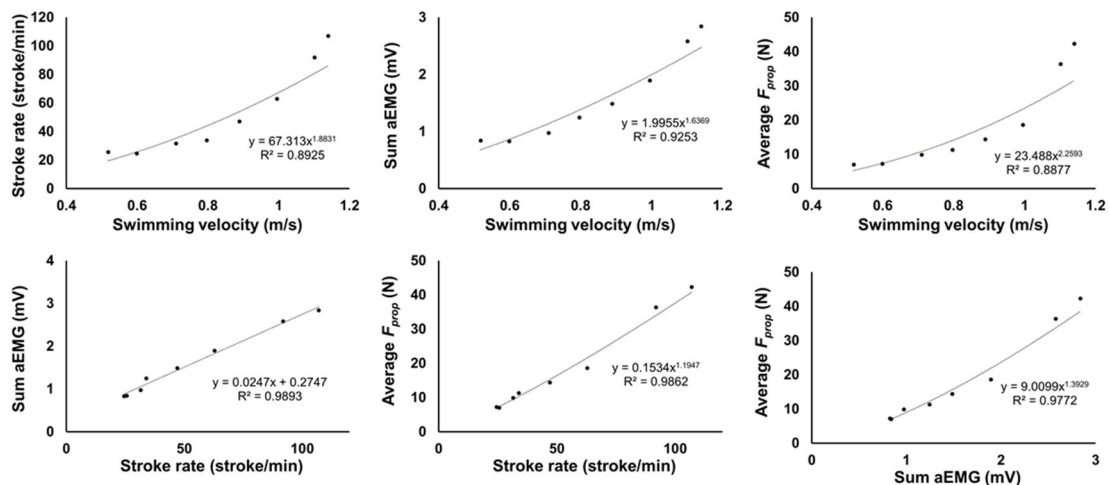


図8 平泳ぎキック中の泳速度の増加に伴う筋活動, キネマティクス変数, 足部流体力の関係(n=1)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamakawa, K. K., Homoto, K., Shimojo, H., Sengoku, Y., & Takagi, H.	4. 巻 -
2. 論文標題 Changes of kinematics during underwater undulatory swimming with increasing swimming velocity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 38th International Society of Biomechanics in Sport Conference	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yamakawa K.K., Takagi H., Sengoku Y.	4. 巻 -
2. 論文標題 Three-dimensional analysis of hip and knee joint movements during dolphin kicking and butterfly swimming.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of XIIIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 山川啓介、甫本研太、高木英樹、仙石泰雄
2. 発表標題 フラッターキックとドルフィンキック における下肢動作の違い-3次元動作分析を用いた検討-
3. 学会等名 日本水泳・水中運動学会 2020年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yamakawa K.K., Shimojo H., Takagi H., Sengoku Y.
2. 発表標題 Analysis of muscle coordination during underwater dolphin kicking using muscle synergy method
3. 学会等名 24th Annual Congress of the European College of Sports Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	仙石 泰雄 (Sengoku Yasuo)		
研究協力者	高木 英樹 (Takagi Hideki)		
研究協力者	下門 洋文 (Shimojo Hirofumi)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------