

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：33918

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2022

課題番号：19K24305

研究課題名（和文）男女の身体的特徴の違いが平泳ぎキック動作に与える影響

研究課題名（英文）Effects of differences in physical characteristics between the genders on breaststroke kicking motion

研究代表者

松田 有司 (Yuji, Matsuda)

日本福祉大学・スポーツ科学部・准教授

研究者番号：50636371

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：平泳ぎのキックとプルの推進貢献度は、男女で異なり、特に女子選手はキック動作において大きな泳速度を獲得していた。キック動作の3次元分析において、女子選手は男子選手と比較して、1) 足部の動きが横方向に相対的に大きい、2) 股関節内旋・外旋角度・角速度が他の関節と比較して相対的に大きいことが明らかになった。女子と男子で股関節で異なる動作パターンを示すことが明らかになった。異なる動作は、関節可動域の違いに関連することが示唆された。下肢筋の活動パターンに関しては男女で同様の活動パターンを示す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

本研究は、ヒトの泳ぎの基礎的動作にも関わらず、今なお未解明な平泳ぎの下肢動作の推進メカニズムを、3次元動作分析、筋活動パターン、身体的特徴など多角的な観点から分析した点において学術的に価値があるといえる。本研究成果を鑑みて、指導現場において、男女で部分的に指導方法を分ける必要性があることが示唆された。平泳ぎは学校教育にも取り入れられる基礎的な動作であり、本研究成果は学校教育における初心者指導にも、男女で異なる指導法の必要性についての根拠を示すものである。

研究成果の概要（英文）：The propulsive contribution of the kick and pull in breaststroke differed between male and female swimmers, with female swimmers in particular gaining greater swimming velocity in the kicking motion. Three-dimensional analysis of the kicking motion revealed that females compared to males 1) moved their feet relatively lateral and 2) had relatively greater internal/external rotation angle and angular velocities compared to other joints. It was found that females and males exhibit different movement patterns at the hip joint. It was suggested that the different movements were related to joint range of motion differences. With regard to the muscle activation pattern of the lower limb, it was demonstrated that men and women showed similar patterns of activation.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：水泳 男女差 指導法 股関節 パフォーマンス

1. 研究開始当初の背景

平泳ぎのキック動作は、競技力に大きく影響する動作であるが、動作が複雑であり、科学的理論に基づいた技術指導論はない。また、多くの指導書に記載されている指導法は男女共通のものである。しかし、下肢の可動域や構造は男女で大きな差がある、競技現場で見る男女の下肢動作は明らかに異なる動作をしている、日本トップ女子選手が、キックで獲得する瞬間的な速度は筋力・パワーに秀でた日本トップ男子選手より勝る、という背景がある。つまり、男女で平泳ぎキック動作の推進力の獲得方略が大きく異なる可能性があり、男女に適した技術指導やトレーニングが行われるべきである。

2. 研究の目的

本研究は、競泳選手の男女の下肢に着目し、1)3次元動作、2)下肢筋活動パターン、3)下肢筋の発達程度、4)下肢柔軟性・構造の違いを、世界一流レベルを含む様々な競技レベルの男女間で比較し、多角的、包括的に男女の下肢キック動作方略の違いを検討する。

3. 研究の方法

実験1 3次元動作分析

被験者は、世界トップレベルの競技レベルの選手を含む、男性29名、女性16名であった。水中カメラ18台、陸上カメラ9台からなるモーションキャプチャーシステムを用いて、平泳ぎ動作の撮影を行った。得られたキネマティクスデータから下肢3関節(股関節、膝関節、足関節)における、関節角度と関節角速度を算出した。また、位置座標から重心を算出し、重心速度を算出し、平均泳速度、キック時の最大速度、プル時(腕動作)の最大速度、1ストローク中の最小速度を算出した。全力泳の時のデータを分析し、男子と女子とで比較を行った。関節角度に関しては、最大角度と最小角度を算出し、関節の可動域と定義した。関節角速度に関しては、1ストローク中の最大値と最小値を算出し、各関節の代表値として使用した。下肢の股関節における、屈曲・伸展、外転・内転、および内旋・外旋角度と角速度、膝関節の屈曲・伸展角度と角速度、および足関節の屈曲・伸展、外転・内転、および内旋・外旋角度と角速度を算出した。角度と角速度に関しては、2ストローク分を算出し平均値を算出した。男女それぞれの関節の角度と角速度に関して、大きさを比較するためにT検定を行った。

実験2 下肢柔軟性・構造の違いの検討

平泳ぎを専門とする男性選手16名、女性選手11名を対象に実験を実施した。下肢柔軟性に関して、伏臥位において膝を90°曲げた状態での、股関節内旋角度、股関節捻転角度を評価することができるクレイグテストを実施した。実施は、測定に慣れている理学療法士が実施した。柔軟性を男女で比較した。また、柔軟性を測定した選手は、泳動作中の下肢の3次元動作を計測しており、柔軟性の指標と、平泳ぎ動作中の関節の可動域の関連性について相関分析で調べた。



実験3 下肢筋活動パターンの違いの検討

平泳ぎを専門とする男性8名、女性6名を対象に実験を実施した。被験者は、腓腹筋、前脛骨筋、大腿直筋、内側広筋、長内転筋、中殿筋、大殿筋、および脊柱起立筋の筋活動について、筋電図計(2000Hz)を用いて計測を行った。ワイヤレスの筋電計であり、水に電極部分が濡れないようにするために、筋電計の上から防水処理を行った。動作は、水中カメラ18台、陸上カメラ9台からなるモーションキャプチャーシステムを用いて撮影し、下肢の3次元キネマティクスを算出した。筋活動と動作は時間的に同期して測定を行った。筋活動に関しては、膝関節を曲げ始める時をストロークの開始として、5ストローク分のデータを加算した。また、陸上で最大収縮(MVC)を測定し、MVCの値で除すことにより、筋活動を評価した。

4. 研究成果

実験1 3次元動作分析 1ストローク中の速度の違い

図1は1ストローク中の速度変化の典型例を示している。表1は1ストローク中の速度変化を示している。平均泳速度は、男子選手が有意に女子選手よりも有意に大きな値を示した。同様に、プル動作中の最大速度、キック時の最大速度、および1ストローク中の最小速度に関して、男子が女子よりも大きな値を示した。平均速度に対するキック時のピーク速度の割合は、女子が

115%、男子が 110%であり、女子選手が男子選手よりも有意に高い値を示した。一方で、平均泳速度に対するプル動作中のピーク速度の割合は、男女で差が認められなかった。プル動作中のピーク速度に対するキック時ピーク速度の割合に関して、男子選手が女子選手と比較して高い値を示した。1ストローク中の速度変化の結果から、女子選手は男子選手と比較して、相対的にキック時に大きな速度を獲得することが示され、男女でキックとプルの推進に対する寄与が異なる可能性が示唆された。

表 1 ストローク中のキック・プル時の速度

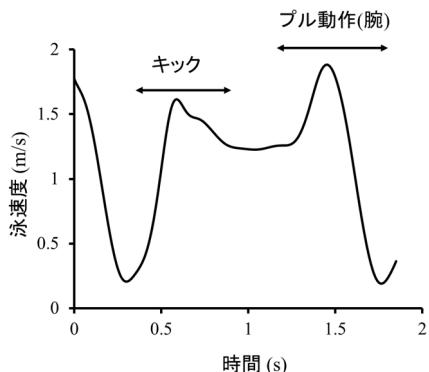


図 1 平泳ぎ中の速度変化

		Men	Women	
平均速度	m/s	1.35 ± 0.10	1.18 ± 0.08	a
キック時速度	m/s	1.49 ± 0.09	1.36 ± 0.10	a
プル時速度	m/s	1.64 ± 0.12	1.42 ± 0.06	a
最小速度	m/s	0.79 ± 0.11	0.65 ± 0.09	a
キック時速度割合	%	110.9 ± 3.9	115.4 ± 4.1	b
プル時速度割合	%	121.7 ± 2.8	120.4 ± 4.6	
最小速度割合	%	58.6 ± 5.3	54.7 ± 5.4	a
プル速度/キック速度%		109.9 ± 5.2	104.5 ± 5.6	a

a:Menが有意に大きい

b:Womenが有意に大きい

3次元動作分析 足部速度の違い

図2は足セグメントにおける、1ストローク中の足部の3方向における速度の典型例を示している。表2は、男女における足部速度の1ストローク中の最大値を示している。前方向の速度に関して、男性が女性よりも有意に大きな値を示した。また、下方向の足部速度の最大値が、男子選手が女子選手よりも、有意に負に大きな値を示した。横方向に関しては、男女で差が認められなかった。足部速度の絶対速度は男子選手の方が大きくなるが、男女で横方向に差が認められなかったことから、女子選手は男子選手と比較して、相対的に横方向に大きな足部の動きを実施し、横方向の速度が大きな、下肢の動かし方を実施している可能性が示唆された。

表 2 足部速度の各方向における最大値

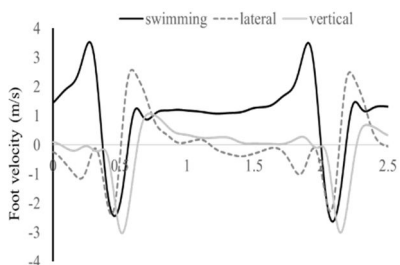


図 2 足部速度

		men	women	
進行方向	前	m/s 1.47 ± 0.15	1.31 ± 0.13	a
	後	m/s -2.35 ± 0.34	-2.18 ± 0.18	
横方向	外	m/s -1.71 ± 0.55	-1.71 ± 0.29	
	内	m/s 2.15 ± 0.38	2.07 ± 0.26	
縦方向	上	m/s 1.19 ± 0.50	1.15 ± 0.50	
	下	m/s -2.58 ± 0.28	-2.38 ± 0.18	a

a:Menが有意に大きい

b:Womenが有意に大きい

3次元動作分析 関節角度・角速度

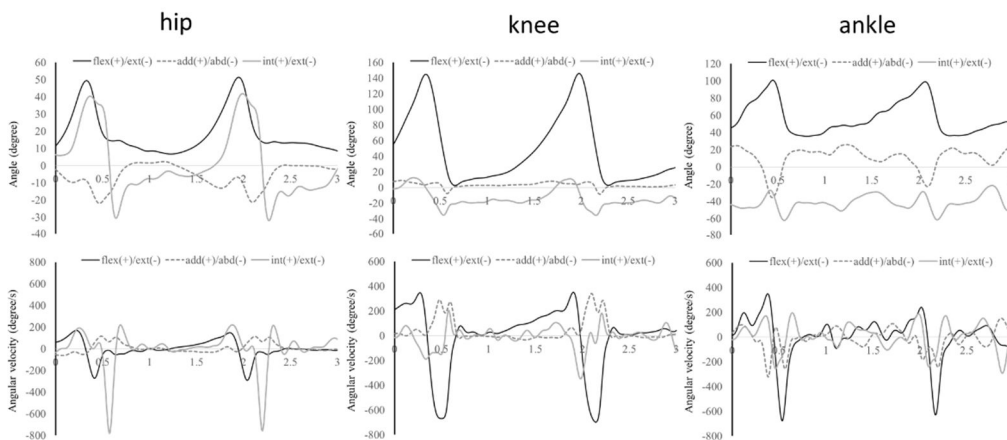


図 3 下肢関節における角度と角速度

図3は平泳ぎ中の股関節、膝関節、および足関節における角度と角速度の典型例を示している。表3は、男女の下肢関節の最大角度を示している。股関節内旋角度と膝関節屈曲角度において、女子選手が男子選手よりも有意に高い値を示した。

表3 下肢関節角度最大値

		men	women	
股関節	屈曲 °	37.4 ± 16.7	46.5 ± 15.6	
	伸展 °	-4.8 ± 12.8	-5.0 ± 12.4	
	内転 °	3.6 ± 2.7	1.6 ± 4.3	
	外転 °	-20.2 ± 6.6	-23.7 ± 6.6	
	内旋 °	21.2 ± 9.2	28.6 ± 12.2	b
	外旋 °	-24.7 ± 10.9	-20.1 ± 7.8	
膝関節屈曲	伸展 °	6.0 ± 5.6	5.3 ± 4.2	
	屈曲 °	141.1 ± 6.7	145.4 ± 5.1	b

股関節の最大角速度に関して、屈曲と伸展角速度において男子選手が女子選手よりも有意に大きな値を示した。膝関節の最大伸展角速度に関して、男子選手が女子選手よりも有意に大きな値を示した。足関節の最大屈曲角速度において、男子選手が女子選手よりも有意に大きな値を示した。男子選手は、下肢の蹴り下ろし動作中において、股関節の伸展、膝関節の伸展動作が大きな角速度を示すが、股関節の外転・内転と外旋動作においては女子選手と差が認められないことが明らかになった。関節動作に関しても、男女で差があることが明らかになった。

表4 股関節と膝関節の最大角速度

		men	women	
股関節	屈曲 °/s	254.2 ± 59.5	214.7 ± 61.5	a
	伸展 °/s	-227.2 ± 68.1	-176.7 ± 53.1	a
	内転 °/s	129.1 ± 36.4	116.2 ± 20.8	
	外転 °/s	-86.5 ± 25.4	-88.8 ± 22.4	
	内旋 °/s	301.1 ± 142.1	234.9 ± 63.0	
	外旋 °/s	-392.1 ± 113.5	-347.4 ± 131.3	

a:Menが有意に大きい

		men	women	
膝関節	伸展 °/s	759.3 ± 109.9	763.3 ± 94.1	a
	屈曲 °/s	-390.9 ± 54.5	-471.5 ± 104.4	

a:Menが有意に大きい

表5 足関節の最大角速度

		men		women		
足関節	屈曲 °/s	394.8	80.4	309.0	93.2	a
	伸展 °/s	-735.6	100.9	-675.5	97.6	
	内転 °/s	230.3	116.4	168.7	59.1	
	外転 °/s	-255.3	104.9	-209.5	47.7	
	内旋 °/s	356.9	263.0	288.5	109.9	
	外旋 °/s	-354.7	227.8	-315.1	132.8	

a:Menが有意に大きい

実験2 下肢柔軟性・構造の違いの検討

表6は、陸上における下肢柔軟性テストの結果を示している。股関節内旋角度とクレイグテストに関して、女子選手が男子選手よりも大きな値を示した。また、SRLに関して、女子選手が男子選手よりも大きな値を示した。これらの結果は、先行研究でも同様に報告されているが、競泳平泳ぎ選手を対象とした場合においても、女子選手のほうが股関節内旋において、男子選手よりも柔軟性が高いことを確認することができた。

股関節内旋角度と平泳ぎ時の股関節内旋角度の最大値の関連性を検討するために、相関分析を実施した。図4は、両者の散布図を示しており、両者に有意な関連性があることを示している。女子選手は、股関節の構造的に内旋角度が大きく、平泳ぎ動作時においても、大きな内旋角度を示していることが示された。また、股関節を内旋させた後に股関節を外旋させるが、大きな内旋角度を有していることが原因で、股関節において、大きな外旋角速度を獲得することができていたと考えられる。また、同一性内においても股関節の内旋角度の可動域は個人差があることも確認することができた。

表6 関節柔軟性テスト

		men	women	
股関節内旋	右 °	35.2 ± 7.6	45.5 ± 8.7	b
	左 °	37.1 ± 8.4	45.7 ± 7.5	b
クレイグテスト	右 cm	14.0 ± 4.1	27.0 ± 7.6	b
	左 cm	15.0 ± 4.5	26.8 ± 5.8	b
踵脛距離	右 cm	9.6 ± 3.6	6.5 ± 3.9	
	左 cm	10.0 ± 4.1	6.6 ± 4.2	
SRL	右 °	68.7 ± 13.7	107.5 ± 15.1	b
	左 °	69.2 ± 11.8	101.5 ± 14.6	b
トーマステスト	右 cm	8.1 ± 1.7	7.7 ± 2.0	
	左 cm	8.1 ± 1.5	7.4 ± 1.4	

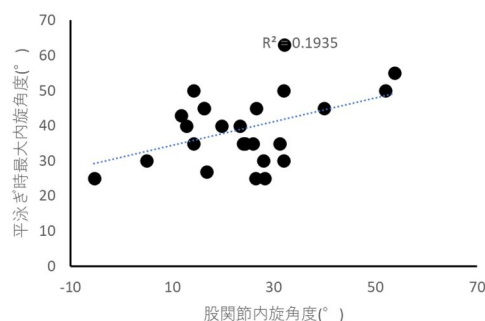


図4 股関節内旋角度と平泳ぎ中の最大内旋角度

実験3 下肢筋活動パターンの違いの検討

図5に平泳ぎ動作中の男子の下肢筋活動を、図6に女子における下肢筋活動パターンを示す。膝

を曲げ始めるタイミングをストロークの開始として、図は1ストロークを100%として示している。筋活動の大きさに、個人差は認められるが、筋活動パターンに関しては、全ての被験者で同様の活動パターンを示した。男女で平泳ぎ動作中の下肢筋活動パターンに違いは確認することができなかった。

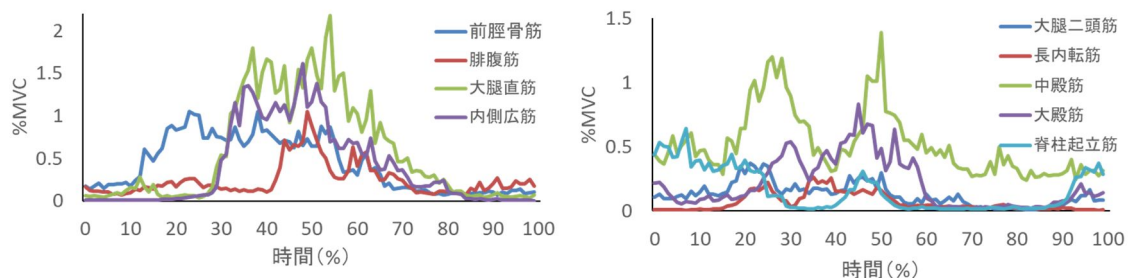


図5 男子選手における下肢筋活動パターン

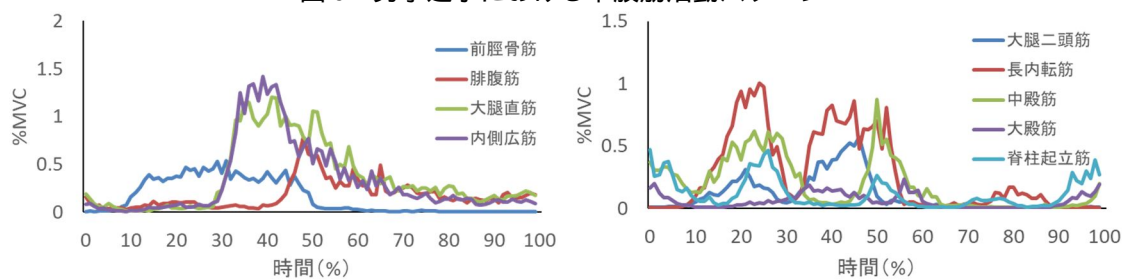


図6 女子選手における下肢筋活動パターン

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Matsuda Yuji, Kaneko Masaki, Sakurai Yoshihisa, Akashi Keita, Yasuo Sengoku	4. 巻
2. 論文標題 Three-dimensional lower-limb kinematics during undulatory underwater swimming	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sports Biomechanics	6. 最初と最後の頁 1~15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/14763141.2021.1995475	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0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------