

論文 Original Paper

アーティスティックスイミングにおけるウォークアウトの
動作解析と動作の質に影響する身体的因子の分析松崎 香穂^{*1}・王 夢璐^{*1, 2}・地 神 裕 史^{*1, 3}Analysis of walkout movement and
factors affecting competitive ability in artistic swimmingKaho Matsuzaki^{*1}, Ou Muro^{*1, 2}, Hirofumi Jigami^{*1, 3}

Abstract: In artistic swimming (AS) competitions, a movement called walkout is often instructed to extend the lower limbs backward and forward and move the legs greatly; however, there are few swimmers who successfully perform this extension while feeling own muscle activities. In this study, we used three-dimensional motion devices and electromyograms to clarify the muscles that are responsible for lower limb elongation required for walkout and how the muscle activity affects movement. Four international competition-level AS athletes and five domestic competition-level AS athletes were recruited. Three types of walkout (usual extension, extra extension, maximum awareness of gluteal contraction) were conducted; the open leg angle, vertex height, and integrated electromyogram were analyzed. As a result, the open leg angles were $164.78 \pm 6.77^\circ$ for usual extension and $160.49 \pm 8.82^\circ$ for maximum awareness of gluteal contraction, and this result showed a significant difference ($p < 0.05$). There was also a strong negative correlation between the open leg angle and the amount of muscle activity of the lower gluteus maximus.

Key words: Artistic swimming, Synchronized swimming, Walkout, Three-dimensional motion analysis, Electromyogram

1. はじめに

水泳競技に含まれるアーティスティックスイミング (Artistic Swimming: 以下, AS) はかつてシンクロナイズドスイミング (Synchronized Swimming) と呼ばれていた競技である。国内外においてASの研究は、競技人口が少ないことに加えて、筋電図計測機器などの電子機器を厳重に防水加工する必要があることや、動作解析時に使用するモーションキャプチャシステムでは、水中と水面 (陸上) の空間の校正が困難であることなどからあまり行われていない。

国際水泳連盟ではASにおいて規定要素 (演技中に必ず行わなければならない動作) を設けており、その一つにウォークアウト動作がある (図1)。ウォークアウトとは水面に両下肢を前後に最大限開脚した姿勢 (スプリット姿勢) から、前側の右脚を大きな弧を描くように後側の左脚に揃えていく動作である¹⁾。この動作は、AS

選手が比較的初期に身に付けなくてはいけない動作であるが、動作に関する研究はほとんど行われていない。加えて、現場でコーチはより大きな弧を描かせるために「脚をもっと伸ばして」「脚を引っ張って」といった用語で指導をしているが、抽象的な表現であるため選手によって意識する部位や動かし方が異なっていることが予想される。我々が行った先行研究においても、陸上で疑似的にウォークアウト動作を行った際に実際には下肢の長さそのものは変化しないこと、左右の大殿筋の活動量が大きすぎると下肢の伸張を妨げる可能性があることが示唆された²⁾。

本研究では上記の先行研究を踏まえ、競技レベルの違いによって、ウォークアウト実施時の関節の動きや筋活動が異なるのか、及び異なる口頭指示を与えた際にこれ



図1 ウォークアウト動作
文献1) 日本水泳連盟, AS競技規則より引用

*1 国士舘大学 工学研究科 電気工学専攻

*2 セノー株式会社

*3 国士舘大学 理工学部 人間情報学系

らのパラメータが変化するか検証することを目的とした。

なお、本研究は国士館大学の人を対象とした研究に関する理工系倫理評価委員会に承認を受け実施した。(受付番号6)

2. 方法

2-1 対象

対象は実験の趣旨を十分に説明し、実験参加に関する同意を得られた女子AS選手9名(年齢: 20.9 ± 2.0 歳, 身長: 161.3 ± 4.4 cm)とした。4名(年齢: 22.3 ± 2.0 歳, 身長: 162.9 ± 3.3 cm)は国際大会出場(以下, エリート選手群), その他5名(年齢: 19.8 ± 1.2 歳, 身長: 160.1 ± 4.8 cm)は大学生AS選手(以下, 大学選手群)であった。

2-2 実験場所

国士館大学メープルセンチュリーホール地下2階温水プール(水深2m, 水温30℃)

2-3 使用機器

動作計測にはモーションキャプチャカメラ7台(PRIME13)を用いた。空間の校正(キャリブレーション)にはソフトウェア(Motive, Optitrack社製)及び校正治具(キャリブレーションワンド250mm・グラッドプレイン)を使用し空間の校正を行った。解析にはソフトウェア(VENUS 3D, ノビテック社製)を用いた。筋活動計測は、ワイヤレス筋電図計測機器(Mini Wave Infinity・Wave Plus EMG, Cometa社製)と電極(Blue Sencer P, Ambu社製)を用い、測定及び解析にはソフトウェア(EMG and Motion Tools, Cometa社製)を使用した。

2-4 実験条件

モーションキャプチャカメラを水中に4台、陸上に3台配置し、陸上と水中の空間の校正や原点の設定を行った。以下に記載する自発光LEDマーカーを体表面に貼付した後、水中にて以下の3種類のウォークアウト動作(図1)をランダムに3回ずつ行わせた。①通常通りの試技(通常), ②下肢の伸張を最大に意識した試技(伸張), ③殿部の収縮を最大に意識させた試技(殿部意識)。ウォークアウト動作の速度を統一するためにメトロノームを使用し、100bpmのテンポの4拍分(約2.4秒)にて動作を行う様に指示した。

2-5 3次元動作解析方法および解析項目

自発光LEDマーカーを身体の右側に4箇所(坐骨結節, 大転子, 大腿骨外側上顆, 外果), 左側に2箇所(大腿骨内側上顆, 内果)貼付した(図2)。大転子を交点

として外果と内果のマーカーからXYの面を構成し、坐骨結節を交点として外果と内果のマーカーからXZ面を構成した。XYの面からウォークアウト動作の開脚角度を、XZの面から開脚時の下肢の長さを算出したこれらに基づき、本研究では以下の(1)-(3)の解析項目を中心に比較検討を行った。なお、サンプリング周波数は240Hzとした。

(1) 最大開脚角度

外果-坐骨結節-内果のなす角を開脚角度と定義し、最大開脚時の角度を測定した(図3)。

(2) 開脚時の下肢長

両下肢の角度変化に加えて、下肢の長軸方向の長さ変化を数値化するため、右側外果と左側内果を結ぶ線を開脚時の下肢長と定義し、スプリット姿勢時の下肢長を測定した(図4)。



図2 マーカー貼付位置



図3 最大開脚角度



図4 開脚時の下肢長

(3) Walkout Height Index (WHI)

本実験では外果の高さを弧の頂点と定義し、試技中の右側外果の最大高を測定した。また、身長や下肢長による結果への影響を排除するため、動作中の弧の頂点高を下肢長で除して正規化した値をWHIと定義した(図5)。

2-6 筋電図解析方法および電極貼付部位

電極は右側に4箇所(大殿筋, 大腿直筋, 内転筋, 腹横筋), 左側に1箇所(半膜様筋)貼付した(図6)。上記の試技における動作時の筋電図信号(Electromyogram: EMG)を計測した後、各筋の最大筋活動値(Maximum Voluntary contraction: MVC)を計測した。解析のタイミングは最大開脚時まで(第一相)と、開脚時から頂点

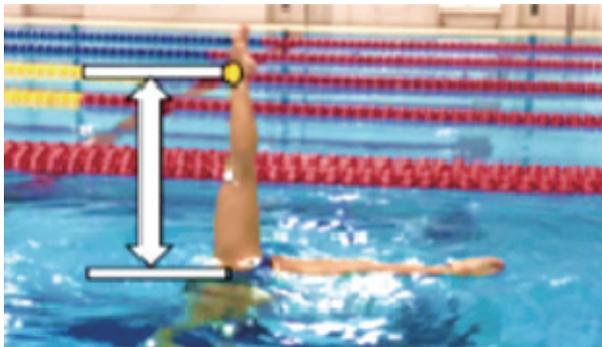


図5 Walkout Height Index (WHI)



図6 電極貼付位置

到達時(第二相)の2相とし、これらの区間における筋活動を解析した。

解析はバンドパスフィルタ(20Hz-500Hz)をかけた後、全波整流化し、スムージング処理を行った。得られたデータから、本実験においては動作速度を統一させているため、単位時間積分値(% integral EMG: %IEMG)を算出し、比較検討した。サンプリング周波数は2000Hzとした。

2-7 統計処理

試技ごとの比較には一元配置分散分析を用いたのち、Bonferroni法を用いて事後検定を行った。また競技レベル(エリート選手群vs大学選手群)施行条件(通常・伸張・殿部意識)を因子とした比較には二元配置分散分析を行い、二群間の各試行における各項目の主効果及び交互作用を求めた。統計学的有意水準は5%未満とした。

3. 結果

エリート選手群および大学選手群の開脚角度、開脚長、WHIの平均値を表1に示す。二元配置分散分析の結果、主効果、交互作用に有意な差は得られなかった。

第一相の筋活動量を表2、第二相の筋活動量を表3に示す。二元配置分散分析の結果、主効果「競技レベル」に有意差が見られた。第一相では大腿直筋の筋活動量($F(1, 2) = 19.8, p < 0.05$)、第二相においては、半膜様筋の筋活動量($F(1, 2) = 25.9, p < 0.05$)に差があることが認められ、これらは競技レベルの影響が有意であった。

次に全被験者の各試技の平均値を表4に示す。口語指示の条件による影響を分析するために一元配置分散分析を行った。その結果、開脚角度およびWHIにおいては指示の効果が有意であった(開脚角度, $F(2, 24) = 4.3, p < 0.05$, WHI: ($F(2, 24) = 6.5, p < 0.05$)。Bonferroni法を用いた多重比較によれば開脚角度、WHIともに「通常」と「殿部意識」施行時の間に有意差があり、殿部を意識するとパフォーマンスが低下することが明らかとなった。

続いて全体の筋活動量を表5に示す。一元配置分散分析の結果より、第一相および第二相の半膜様筋の活動量においては指示の効果が有意であった(第一相, $F(2, 24) =$, 第二相 $F(2, 24) =$, $p < 0.05$)。多重比較によると、「通常」と「殿部意識」施行時の活動量に有意に差があり、殿部を意識すると特定の筋の活動量が大きくなることが認められた。

4. 考察

本研究では、3つの異なる口頭指示を与えてウォークアウト試技を行かせた際の解析結果を検討した。その結果、殿部意識施行時において開脚角度およびWHIの値

表1 群間平均値及び二元配置分散分析による群間比較

競技レベル		エリート選手群			大学選手群			主効果		交互作用
試技	単位	通常	伸張	殿部	通常	伸張	殿部	レベル	試技	
開脚角度	deg	165.16	164.62	166.52	162.11	160.87	154.46	3.82	0.34	0.81
		4.73	6.79	4.62	9.93	5.36	9.48			
開脚長	cm	153.19	153.85	153.82	150.73	151.95	150.99	0.63	0.03	0.01
		5.19	4.09	3.81	8.60	8.11	8.39			
W H I	-	1.00	1.00	0.98	0.98	0.96	0.96	3.99	0.68	0.23
		0.04	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02			

上段：平均値，下段：標準偏差

表2 各群の第一相筋活動量平均値及び群間比較

競技レベル		エリート選手群			大学選手群			主効果		交互作用
試技	単位	通常	伸張	殿部	通常	伸張	殿部	レベル	試技	
腹横筋		13.6	14.9	14.8	21.8	23.9	22.4	2.40	0.04	0.01
		6.1	7.2	4.9	16.3	27.1	12			
大殿筋		17.1	16.9	27.4	17.7	18.8	16.2	0.38	0.34	0.76
		11.5	7.6	19.6	7.4	6.9	8.8			
大腿直筋	%	17.4	17.9	17.7	31.7	46.4	34.1	7.22*	0.41	0.37
		3.9	6.1	5.1	19.9	25.2	20.4			
半膜様筋		9	9.1	10.2	13.8	11.6	13.3	1.41	0.09	0.05
		4.6	6.6	7.0	5.9	7.6	7.2			

上段：平均値，下段：標準偏差，* $p < .05$

表3 各群の第二相筋活動量平均値及び群間比較

競技レベル		エリート選手群			大学選手群			主効果		交互作用
試技	単位	通常	伸張	殿部	通常	伸張	殿部	レベル	試技	
腹横筋		25.9	15.8	26.3	23.0	22.1	21.7	0.006	0.452	0.414
		12.5	8.9	18.3	10.0	6.6	13.2			
大殿筋	%	24.4	34.8	19.0	14.1	19.5	22.1	1.099	0.408	0.486
		17.8	30.6	11.2	5.4	13.7	15.6			
半膜様筋		7.8	10.7	12.4	21.3	37.8	31.8	15.851*	0.703	0.184
		3.4	6.4	6.5	7.0	21.1	11.4			

上段：平均値，下段：標準偏差，* $p < .05$

表4 全体の開脚角度・開脚時下肢長・WHI施行条件比較

項目	単位	通常	伸張	殿部意識	多重比較		
					通常-伸張	通常-殿部	伸張-殿部
開脚角度	deg	164.78	162.54	160.49	n.s	†	n.s
		6.77	6.32	8.82			
開脚長	cm	151.82	152.80	152.25	n.s	n.s	n.s
		7.38	6.7	6.89			
W H I	-	0.99	0.98	0.97	n.s	†	n.s
		0.04	0.04	0.03			

注)上段：平均値，下段：標準偏差，† $p < 0.05$ ：施行間の比較，n.s: $p > 0.05$

表5 全体の筋活動量平均値の施行条件比較結果

	項目	単位	多重比較					
			通常	伸張	殿部意識	通常-伸張	通常-殿部	伸張-臀部
第一相	腹横筋	%iEM G	18.14	19.90	19.04	n.s	n.s	ns
			13.45	14.35	10.23			
	大殿筋	%iEM G	17.45	17.99	21.16	n.s	n.s	n.s
			9.46	7.28	15.62			
大腿直筋	%iEM G	25.32	33.73	26.78	n.s	n.s	n.s	
		16.68	23.91	17.55				
半膜様筋	%iEM G	6.10	5.75	11.94	n.s	†	†	
		13.78	14.81	7.28				
第二相	腹横筋	%iEM G	24.27	19.28	23.75	n.s	n.s	ns
			11.27	8.33	15.83			
	大殿筋	%iEM G	18.66	26.27	21.15	n.s	n.s	n.s
			13.57	24.04	13.84			
	半膜様筋	%iEM G	15.28	25.80	23.20	n.s	†	n.s
			8.81	21.17	13.60			

注)上段：平均値，下段：標準偏差，† <0.05：施行間の比較，n.s： $p > 0.05$

が低下し、筋の活動様式では半膜様筋の活動量が有意に増加した。

今回の結果より、殿部の収縮を意識させる口頭指示は、開脚時は最大限に足を開けないことや、弧を描く脚の位置の高さが保てない状態を引き起こし易いことが明らかとなった。

まず通常時と比較して殿部意識施行時の開脚角度が有意に小さくなった理由として、半膜様筋の影響が考えられる。半膜様筋は膝関節の屈筋であり、同時に股関節の伸筋である³⁾。半膜様筋は股関節が伸展する際に活動が高まる⁴⁾。今回は殿部意識施行時に活動量が増加したことから、左股関節の伸展動作に、右脚が影響を受けてしまい開脚角度が小さくなったと考えられる。

次に、WHIが通常時と比較し殿部意識施行時に低下したことについても半膜様筋の活動量が影響していると考えられる。

今回身長や下肢長による影響を排除するために、弧の高さを下肢長で除し正規化を実施した。その正規化した値、WHIの高さを保つには体幹が安定していることが求められる。体幹の安定性について近藤ら⁵⁾は、SLRと同時に非挙上側下肢の支持面を押す方が、脊柱起立筋の活動性は高められると報告している。ウォークアウトでも同様に非挙上側下肢で水面を押すことで体幹固定性が得られていると考えられる。そのため、理論上は非挙上側下肢である左脚股関節伸展を行い水面を押すことで体幹の固定性が上がり、試技中の姿勢が安定しWHIの高さも上昇するはずだが、殿部意識施行時には値が小さくなった。

半膜様筋は先述したように股関節伸展作用を有しており、この股関節伸展時には骨盤が前傾し腰椎の前弯が増

強される⁶⁾。

骨盤が前傾することで体幹は前傾姿勢となる。また立位の場合は体幹前傾姿勢をとる際、最終域では脊柱起立筋の筋活動が消失すると報告されている^{7, 8)}。

そのため、今回半膜様筋の活動量が増加していたことから、骨盤前傾、体幹前傾姿勢を引き起こし、姿勢保持の役割を担っている脊柱起立筋の活動が小さくなって^{9, 10)}いたことが推察される。そのため、体幹の安定性が損なわれ、WHIの値が小さくなったのではないかと考える。

最後に筋の活動様式について、殿部意識施行時に大殿筋の活動量が増加したのはエリート選手群のみであった。大学選手群は大殿筋の収縮が意識的に遂行できないということも明らかとなった。今回の殿部意識施行とは普段から指導されることで、現場での言葉に置き換えると“お尻を絞める”と非常に感覚的な表現で指導されている。選手は指導者からの口頭指示を解釈し体現することが必要となるがそれには自身の体の使い方がコントロールできなければならない。

これには指導方法の検討も必要となるが、運動指導で最も難しいことは、個人が動きを覚える子が極めて主観的な体験世界による感覚的な動きの感じ方によって左右されることと、動きの感じをなかなか言葉で伝えることができない¹¹⁾、とコーチングの難しさが述べられている。

以上のことから、より動作を大きく遂行しパフォーマンス向上を目指すためには、半膜様筋の活動様式をコントロールし開脚を制限させないようにすることや、自身で意識すべき筋に対する選択的な筋収縮のアプローチ方法を習得する必要であることが明らかとなった。

5. ま と め

本実験の目的はウォークアウトに求められる下肢の伸張や、鉛直方向の高い位置で動作を遂行するといった動作の質的要因に寄与する筋活動の検証、及び異なる口頭指示による筋の活動様式への影響の検証を行い、トレーニングの一助とすることであった。

得られた結果は以下の通りである。

開脚角度・WHIは殿部意識時により有意に低下することが確認された。

殿部の収縮を意識させると大殿筋ではなく左半膜様筋の活動が増加してしまうため教示方法の検討が必要か、もしくは選手への十分な指導が必要である。

参考文献

- 1) 日本水泳連盟, AS競技規則, 2018.
- 2) Matsuzaki Kaho, Ou muro, Hirofumi Jigami : Analysis of the factors influencing 'leg extension' during Walkout movement in Artistic Swimming. 24th Annual Congress of European College of Sport Science. book of abstracts, 387, 2019.
- 3) 大原鐘敏 : ヒト大腿屈筋群 (大腿二頭筋, 半腱様筋, 半膜様筋) の筋線維構成について. 昭医学会誌 第51巻 第2号 pp151-158, 1991.
- 4) Ono T, Higashihara A, Fukubayashi T : Hamstring functions during hip-extension exercise assessed with electromyography and magnetic resonance imaging. Research in sports medicine, 19 (1) : 42-52, 2011.
- 5) 近藤裕貴, 岩田 学 : 下肢伸展拳上保持における体幹筋活動—非拳上側下肢3条件による比較—. 理学療法科学 26 : 577-581, 2011
- 6) 小林寛和, 金村朋直, 岡戸敦男 : 体幹と下肢の運動連鎖. 理学療法, 23, pp1386-1393, 2006.
- 7) Floyd WF and Silver PH : The function of the erectors spinae muscles in certain movements and postures in man. J Physiol, 129, (1), pp184-203, 1955.
- 8) Floyd WF and Silver PH : Function of erectors spinae in flexion of the trunk. Lancet, 1, (3), pp133-134, 1951.
- 9) 丸田和夫, 江口淳子, 渡邊進 : 骨盤傾斜が座位における体幹前傾動作時の脊柱起立筋および腹直筋活動に及ぼす影響
- 10) 江口淳子 : 除草時の作業姿勢の違いが腰部・下肢筋活動へ及ぼす影響. 労働科学, 79巻, 4号, pp219-223, 2003.
- 11) 三木四郎 : 動きのアナログン. 学校体育, 50 (9) pp42, 1997.