自由形ストローク動作の運動学的解析

—陸上空間で模倣されたフォームと肩障害との関連性についての考察—

*Kinematic Analysis of Free-Style Stroke Movement
—A Consideration about Relevance with a Form Simulated
in Land Air Space and a Shoulder Injury—*

猪股 伸晃¹⁾ 坂本 雅昭¹⁾ 中澤 理恵¹⁾ 中川 和昌¹⁾ 桜井 進一¹⁾

NOBUAKI INOMATA¹⁾, MASAOKI SAKAMOTO¹⁾, RIE NAKAZAWA¹⁾, KAZUMASA NAKAGAWA¹⁾, SHINICHI SAKURAI¹⁾

¹⁾ Graduate School of Health Sciences, Gunma University: 39-22 Showa-machi 3-chome, Maebashi, Gunma 371-8511, Japan.
TEL +81 27-220-7111

Rigakuryoho Kagaku 21(3): 299-304, 2006. Submitted Feb. 10, 2006. Accepted Jun. 9, 2006.

ABSTRACT: We used a 3-dimensional motion analysis system to analyze a free-style swimming form simulated on land in air space and investigated its relevance to shoulder injury in 12 male competitive swimmers. In the hand entry and mid recovery of free-style stroke, a difference was seen between the form of the group with breathing on the same side as the shoulder injury and the group with breathing on the side opposite to shoulder injury, suggesting a relationship between breathing side and shoulder injury. It is thought that we can interpret the results of this study more concretely in the future by analyzing swimmers' form in the water.

Key words: competitive swimming, shoulder injuries, 3-dimensional motion analysis

要旨: 我々は競泳自由形フォームと肩障害の関連性について、男子競泳選手12名を対象に、陸上空間で模倣されたフォームを3次元動作解析装置を用いて分析した。結果、自由形ストロークのhand entryとmid recoveryにおいて、呼吸と同側の肩に障害をもつ群と呼吸と反対側に障害をもつ群のフォームに違いがみられ、呼吸側と肩障害との関連性が示された。今後水中におけるフォームを分析することで、より具体的に本研究の結果を解釈することが可能になると考えられる。

キーワード: 競泳, 肩障害, 3次元動作解析

¹⁾ 群馬大学大学院医学系研究科保健学専攻: 群馬県前橋市昭和町三丁目39-22 (〒371-8511) TEL 027-220-7111

受付日 2006年2月10日 受理日 2006年6月9日

I. はじめに

競泳では使い過ぎ症候群の発生が多く、肩障害は最も多い障害の1つである¹⁻⁵⁾。一般的に選手が自由形を泳ぐ際、呼吸側と反対の肩に障害が発生しやすいといわれているが、技術的側面やフォームと肩障害の関連性について検討しているものは少ない。Yanaiら⁶⁾は肩痛を有さない11名の競泳選手を対象に、ビデオカメラにて撮影した自由形ストローク動作について、自動運動の関節可動域を基に肩のインピンジメントが発生している時間を計算し、pull期・recovery期(図1)の両方に認めたと報告している。しかし、水泳動作のフォームを解析するためには水中において動作の測定を行わなければならない、設備等の問題や環境的な制約が生じてしまう。

そこで本研究では簡便な方法として陸上空間で模倣された自由形ストローク動作を運動学的に解析し、日常的に呼吸を行う側と肩障害との関連性について検討したので報告する。

II. 対象および方法

対象は男子競泳選手12名とし、事前に肩障害既往について聞き取り調査を行い、対象者を呼吸側肩に障害の既往がある同側障害群4名、非呼吸側肩に障害の既往がある対側障害群8名に分けた(表1)。この際、肩障害は、水泳活動中または後に生ずる肩および肩周囲の痛み・違和感とした。

自由形ストローク模倣動作の撮影および解析には3次元動作解析装置ANIMA社製MA-6250を使用した。対象者の身体各部10ヵ所に赤外線反射マーカー(以下マーカー)を貼付し(図2)、立位・体幹前傾姿勢における自由形ス

トローク動作をビデオカメラにて撮影した。なお呼吸動作の模倣は行わず、撮影のサンプリング周期は60 Hz、撮影時間は10秒間(60 Hz × 10秒=600フレーム)とし、連続した6ストロークを解析対象とした。

ストローク動作の中で手が最も前方に位置するフレームをhand entry、手が体幹の下方(肩屈曲90°)に位置するフレームをmid pull-through、手が体幹の上方(肩伸展90°)に位置するフレームをmid recoveryとし、各フレームにおける体幹および肩関節角度とフレーム間の時間(相の時間)を計測した。関節角度の計測にはマーカー間を結んで作られるスティックを利用した(図2)。hand entryでは

図1 自由形ストローク動作の周期

表1 対象者の属性(平均±SD)

		同側障害群 (n=4)	対側障害群 (n=8)
年齢	[歳]	16.0 ± 1.0	16.8 ± 1.3
身長	[cm]	169.3 ± 2.8	171.0 ± 4.3
体重	[kg]	61.5 ± 2.3	66.0 ± 5.8
経験年数	[年]	11.8 ± 2.4	11.6 ± 2.9
専門種目 (人数 [名])		バタフライ (1) 背泳ぎ (1) 自由形短距離 (1) 個人メドレー (1)	バタフライ (1) 平泳ぎ (1) 自由形短距離 (1) 自由形中・長距離 (4) 個人メドレー (1)

SD : standard deviation

体幹側屈, 回旋, 肩外転, 屈曲・伸展, mid pull-through およびmid recoveryでは体幹側屈, 回旋, 肩屈曲・伸展, 水平屈曲・水平伸展の角度をそれぞれ計測した(図1, 3)。

統計学的分析ではまず, 各フレームにおける体幹回旋角度と肩水平屈曲・水平伸展角度, 体幹側屈角度と肩外転角度に対しピアソンの相関係数を用いて分析した。群内比較として同側障害群の呼吸側と同群非呼吸側, 対側障害群の呼吸側と同群非呼吸側について, また2群間の比較として, 同側障害群の呼吸側と対側障害群の呼吸側, 同側障害群の非呼吸側と対側障害群の非呼吸側について, その測定値に対し, 平均値の差の検定(対応のない t 検定)を行った。なお, 危険率5%未満を有意差ありとした。

III. 結 果

hand entryでは体幹側屈角度が小さい者ほど, 肩外転角度が大きいことが示され($r=-0.79$, $p<0.001$), また呼吸側の体幹側屈角度の群間比較において, 対側障害群の方が有意に高値を示した($p<0.05$)(表2, 図4)。mid pull-throughでは, 群内・群間比較ともに有意差は認められなかった。mid recoveryでは, 非呼吸側の体幹側屈角度と体幹回旋角度の群間比較において対側障害群が有意に高値を示した(順に $p<0.05$, $p<0.01$)(表3, 図4)。相の時間の比較では, 非呼吸側のmid pull-throughからmid recoveryまでの時間の群間比較において, 同側障害群の時間が有意

M1: 右の尺骨茎状突起と橈骨
茎状突起を結ぶ線分の中点	S1: M1—M2	S6: M8—M9
M2: 右の上腕骨外側上顆	S2: M2—M3	S7: M3—M8
M3: 右の肩峰外側端	S3: M3—M4	S8: M4—M9
M4: 右の上前腸骨棘	S4: M6—M7	S9: M5—M10
M5: 第7頸椎棘突起	S5: M7—M8	
M6: 左の尺骨茎状突起と橈骨
茎状突起を結ぶ線分の中点	S: スティック, M: マーカー	
M7: 左の上腕骨外側上顆		
M8: 左の肩峰外側端		
M9: 左の上前腸骨棘		
M10: 第5腰椎棘突起		

図2 マーカーの貼り付け位置とスティックの定義

横断面, 前額面, 矢状面は身体上半身の基本面とする。

図3 各関節角度の測定方法

表2 hand-entryにおける測定角度の比較 (平均±SD, 単位 [°])

		同側障害群	対側障害群	
呼吸側	肩外転	140.9 ± 10.4	129.7 ± 4.2	N.S
	肩屈曲・伸展	113.8 ± 3.1	116.5 ± 3.9	N.S
	体幹側屈	15.9 ± 8.0	32.9 ± 4.5	p<0.05
	体幹回旋	22.8 ± 5.4	26.0 ± 6.2	N.S
非呼吸側	肩外転	132.4 ± 7.8	127.7 ± 8.2	N.S
	肩屈曲・伸展	119.0 ± 3.5	118.0 ± 4.7	N.S
	体幹側屈	25.6 ± 5.6	32.9 ± 6.3	N.S
	体幹回旋	25.9 ± 6.0	31.8 ± 12.6	N.S

SD : standard deviation, N.S : not significant

hand entry

mid recovery

図4 hand entryとmid recoveryにおけるフォームの特徴

に短くなり、呼吸側の比較でも同様の傾向が認められた(表4)。

IV. 考 察

本研究のhand entryにおける肩外転角度と体幹側屈角度の和は同側障害群、対側障害群の両側ともに160°前後であるが(表2)、体幹側屈角度と肩外転角度の間に強い負の相関($r=-0.79$, $p<0.001$)が認められ、対側障害群の呼吸側と比較し、同側障害群の呼吸側の体幹側屈角度が有意に小さかった。この結果は障害の内容は違うものの、肩のインピンジメントが発生している時間と体幹側屈角度の最大値との間に強い負の相関($r=-0.89$, $p<0.001$)を示したというYanaiら⁶⁾の報告と同様の傾向を示していると考えられる。hand entryをより遠くで行うためには2つの対応がある。1つは肩外転角度を大きくすることと、もう1つは体幹側屈角度を大きくすることである。そのためhand entryでは、水に対する手の位置は同程度であっても肩外転角度の割合が大きい場合インピンジメントは発生しやすくなる⁶⁾。またhand entryの肩は内旋位での挙上というNeerのインピンジメントサインの肢位と類似しており、上腕骨大結節と腱板が肩峰に圧迫されて疼痛を引き起こす恐れがある⁹⁾。このことからhand entryでは体幹側屈角度が小さい者ほど、肩外転角度が大きいことが考えられ、同側障害群の呼吸側ではインピンジメント発生のリスクが高くなることが考えられる。

mid recoveryでは同側障害群の非障害側に比べ対側障害群の障害側で体幹側屈角度および体幹回旋角度が大きくなった。測定側の上肢がrecovery期にあるとき、反対側の上肢はpull-through期のhand entry直後にある。そのため非呼吸側のhand entryにおける群間比較で有意差を示した体幹側屈角度が、その直後呼吸側のmid recoveryでも有意

表3 mid-recoveryにおける測定角度の比較 (平均±SD, 単位 [°])

		同側障害群	対側障害群	
呼吸側	肩水平屈曲・伸展	205.0 ± 10.9	191.1 ± 11.3	N.S
	体幹側屈	24.1 ± 6.7	32.7 ± 6.6	N.S
	体幹回旋	29.9 ± 6.4	36.2 ± 9.3	N.S
非呼吸側	肩水平屈曲・伸展	198.6 ± 5.0	194.5 ± 8.6	N.S
	体幹側屈	18.3 ± 10.1	39.0 ± 5.9	p<0.05
	体幹回旋	30.1 ± 2.6	43.2 ± 8.4	p<0.01

SD : standard deviation, N.S : not significant

表4 相の時間の比較 (平均±SD, 単位 [秒])

		同側障害群	対側障害群	
呼吸側	HE-HE 間	1.26 ± 0.20	1.46 ± 0.15	N.S
	HE-MP 間	0.23 ± 0.05	0.30 ± 0.07	N.S
	MP-MR 間	0.43 ± 0.05	0.57 ± 0.12	p=0.05
	MR-HE 間	0.63 ± 0.07	0.59 ± 0.05	N.S
	MR-MP 間	0.83 ± 0.11	0.90 ± 0.06	N.S
非呼吸側	HE-HE 間	1.27 ± 0.16	1.46 ± 0.15	N.S
	HE-MP 間	0.25 ± 0.06	0.25 ± 0.04	N.S
	MP-MR 間	0.42 ± 0.03	0.56 ± 0.10	p<0.05
	MR-HE 間	0.62 ± 0.07	0.65 ± 0.06	N.S
	MR-MP 間	0.85 ± 0.13	0.90 ± 0.10	N.S

HE-HE 間 : hand entry から次の hand entry までの時間

HE-MP 間 : hand entry から mid pull-through までの時間

MP-MR 間 : mid pull-through から mid recovery までの時間

MR-HE 間 : mid recovery から hand entry までの時間

MR-MP 間 : mid recovery から mid pull-through までの時間

SD : standard deviation, N.S : not significant

差を示したと考えられる。recovery期では、ローリングを行い肩水平伸展角度と体幹回旋角度を十分に保ちながら、肩を外転・外旋しなければならない。加藤¹⁰⁾は肩の障害発生の技術的要因として、自由形やバタフライのrecovery動作時の過度な肩水平伸展運動を挙げている。肩水平伸展時、肩甲骨は内転し、菱形筋をはじめその他の肩甲骨の固定筋が多用され筋疲労につながる。また過度な肩水平伸展は関節上腕靱帯といった肩の前方組織の過剰な伸張を引き起こす。Yanaiら⁶⁾はrecovery期の時間の10.4%にインピンジメントを認めたと報告しているが、肩水平伸展角度を大きくして肩を挙上することはインピンジメントのリスクを増大する。したがって、本研究のmid recoveryでは対側障害群の非呼吸側、すなわち障害側では、痛みが起こらないように代償的に体幹回旋角度を

大きくしたのではないかと考えられる。

相の時間の比較では、非呼吸側のmid pull-throughからmid recoveryまでの時間の群間比較において、同側障害群の時間が有意に短くなり、呼吸側の比較でも同様の傾向が認められた。このことは対側障害群にのみ自由形中・長距離選手が含まれており、1ストロークあたりに進む距離を大きくし、効率化する種目特性が表れたことが原因として推察された。

今後、対象者を増やして検討することが必要と考えられる。

謝辞 本研究を行うにあたり、ご協力いただきました群馬スイミングスクール 小茂田 猛氏を始め選手の皆様方に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) Dominguez RH: Shoulder pain in age group swimmers. In: Erikson B (ed.), *Swimming Medicine IV*, University Park Press, Baltimore, 1978, pp105-109.
- 2) 武藤芳照, 杉浦保夫, 鈴木善朗・他: 水泳選手の肩関節痛について—本邦における“Swimmer's Shoulderの実態”. 整・災害, 1979, **XXII**(4): 367-372.
- 3) Richardson AB, Jobe FW, Collins HR: The shoulder in competitive swimming. *Am J Sports Med*, 1980, **8**(3): 159-163.
- 4) 有吉 護, 山田康人, 竹本 均・他: 水泳選手における肩関節障害について. 整スポ会誌, 1990, **9**: 5-8.
- 5) McMaster WC, Troup J: A survey of interfering shoulder pain in United States competitive swimmers. *Am J Sports Med*, 1993, **21**(1): 67-70.
- 6) Yanai T, Hay JG: Shoulder impingement in front-crawl swimming: II. analysis of stroking technique. *Med Sci Sports Exer*, 2000, **2**(1): 30-40.
- 7) 平野雅人: お悩み解決スイミングQ&A教室—クロール編—. 池田哲雄(編), ベースボールマガジン社, 東京, 2004, pp70-71.
- 8) Maglischo EW: *SWIMMING EVEN FASTER*. 野村武男・田口正公(監訳), 池田哲雄(編), ベースボールマガジン社, 東京, 2003, pp269-275.
- 9) Neer CS: Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome in the shoulder. *J Bone Joint Surg*, 1972, **54A**: 41-50.
- 10) 加藤知生: 特集／上肢のスポーツ障害リハビリテーション実践マニュアル, 各論-2(種目別), 水泳. *MB Med Reha*, 2003, **33**: 84-92.