

水中エレクトロゴニオメーターによる クロール泳のプル動作の解明

Electrogoniometric analysis of pulling motion in the crawl stroke

合屋十四秋*, 天野義裕*, 米田吉孝*

1 まえがき

クロールのプル動作はジグザグプル¹⁾とかスカーリング²⁾による前腕部の立体的な動き^{5,7)}を行っている。Ringer ら⁸⁾は、クロールのプル動作には前腕の回内回外動作が関与していることを示唆しているが、推進力すなわち水泳スピードとの関連は明らかにされていない。

本研究では、前腕部の回内、回外動作検出用エレクトロゴニオメーターおよび肘の屈曲、伸展動作検出用エレクトロゴニオメーターを用いて熟練者、未熟練者を対象として水泳スピード曲線と水中ゴニオグラムの動作パターンを比較することによって、クロール泳のプル動作を明らかにしようとした。

2 方 法

被検者は大学生男女 19 名であり、熟練者男女 10 名、未熟練者男女 8 名および初心者女子 1 名である。前腕部のゴニオメーターは橈骨頭を支点にして、尺骨頭のまわりに橈骨下端がどれだけ回旋したかを評価できるように独自の方法により作成した(図 1)。指先の入水ポイントは手掌部

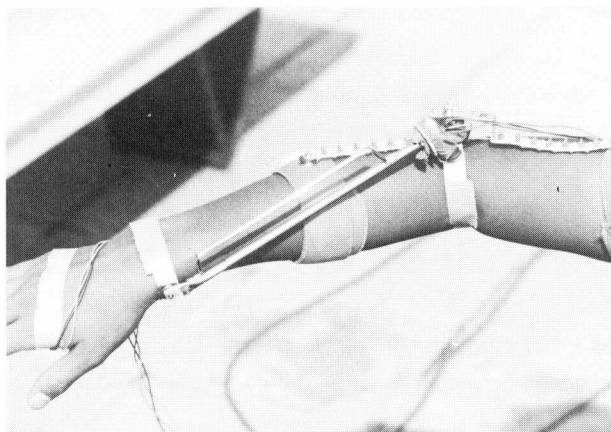


Fig. 1. Waterproof electrogoniometer to record flexion and extension of the elbow and pronation and supination of the forearm, respectively.

に装着したストレインゲージのインパルスにより記録した。水泳スピードの経時的変化は、被検者の首に巻いた綿糸をロータリーエンコーダーから F/V コンバーターを介して速度変換させ¹⁾、レクタグラフに記録した。被検者は呼吸側の腕にゴニオメーターとストレインゲージを装着し、水中デッドスタートにより 25 m を全力で泳いだ。泳中の水泳スピード曲線、水中ゴニオグラム、水泳タイム、ストローク数を測定した。水泳スピードは 1 ストローク中の最大スピード、最小スピードを求めた。肘のゴニオグラムは、水中ストローク時(以下、水中時)およびリカバリー時の最大屈曲角度、最大伸展角度および最大屈曲から最大伸展まで(以下、可動範囲)を求めた。前腕部のゴニオグラムも同様に水中時およびリカバリー時の最大回内角度、最大回外角度、可動範囲をそれぞれ求めた。

3 結 果

表 1 に 25 m 泳のタイム、ストローク数、1 ストロークの所要時間、1 かきで進む距離(ストローク長)、1 ストローク中の最大スピードと最小スピードの平均と標準偏差を示した。熟練者、未熟練者についてその平均値の差の検定を行なった結果、1 ストロークタイム(男子)を除くすべての項目に統計的に有意な差がみられた。水泳スピード曲線と肘の屈曲、伸展および前腕部の回内、回外のゴニオグラムの代表例を図 2 に示した。肘の動作の局面は手先の入水から肘の最大屈曲まで(図中：FW)の水中時と、FW から次の手先の入水までのリカバリー時の 2 つに分けた。前腕部の動作の局面も手先の入水から最大回外まで(図中：SW)の水中時と、SW から次の手先の入水までのリカバリー時の 2 つに分けた。回内、回外角度は、手掌部と水面が平行な状態を 0°として算出した。肘の屈曲、伸展角度および可動範囲の平均と標準偏差を表 2 に示した。水中時の肘の屈曲、伸展動作の可動範囲は、熟練者男子 $54.4^{\circ} \pm 13.5^{\circ}$ 、女子 $52.1^{\circ} \pm 6.3^{\circ}$ 、未熟練者男子 $53.0^{\circ} \pm 14.0^{\circ}$ 、女子 $47.3^{\circ} \pm 16.8^{\circ}$ であった。水中時の最大伸展角度、最大屈曲角度および可動範囲は、男女とも熟練者と未熟練者との間には有意な差はみられなかった。リカバリーの肘の屈曲、伸展動作の可動範囲は、熟練者男子 $49.2^{\circ} \pm 21.2^{\circ}$ 、女子 $24.5^{\circ} \pm 17.8^{\circ}$ 、未熟練者男子 $38.0^{\circ} \pm 21.4^{\circ}$ 、女子 $29.2^{\circ} \pm 12.9^{\circ}$ であった。リカバリー時では、最大伸展および最大屈曲角度は水中時に比べ相方とも小さかった。屈曲と伸展の可動範囲は、熟練者、未熟練者ともに水中時の方が大きな値を示した。しかし、リカバリー時の最大伸展角度、最大屈曲角度および可動範囲は、男女ともに熟練者と未熟練者との間には有意な差はみられなかった。熟練者、未熟練者の動作パターンは、水中時、リ

Tab.1. Mean and standard deviation of 25m sprint swimming time, number of strokes, stroke time, stroke length, maximum swimming speed and minimum swimming speed

subj	sex		25m swim time (sec)	number of strokes (times)	stroke time (sec)	stroke length (m/sec)	max.speed (m/sec)	min.speed (m/sec)
		(n)						
trained	M	\bar{X}	15.02	10.50	1.23	2.42	2.06	1.20
	(6)	S.D.	.55	.96	.09	.22	.22	.06
	F	\bar{X}	17.98	12.00	1.35	2.10	1.73	1.00
	(4)		.06	.71	.05	.14	.18	.07
untrained	M	\bar{X}	18.33	12.67	1.33	1.97	1.67	0.90
	(3)	S.D.	.37	.47	.05	.09	.17	.08
	F	\bar{X}	24.28	13.60	1.64	1.84	1.26	0.66
	(5)	S.D.	.64	.49	.12	.05	.05	.05

M:Male F:Female

swimming distance of beginner : 15m

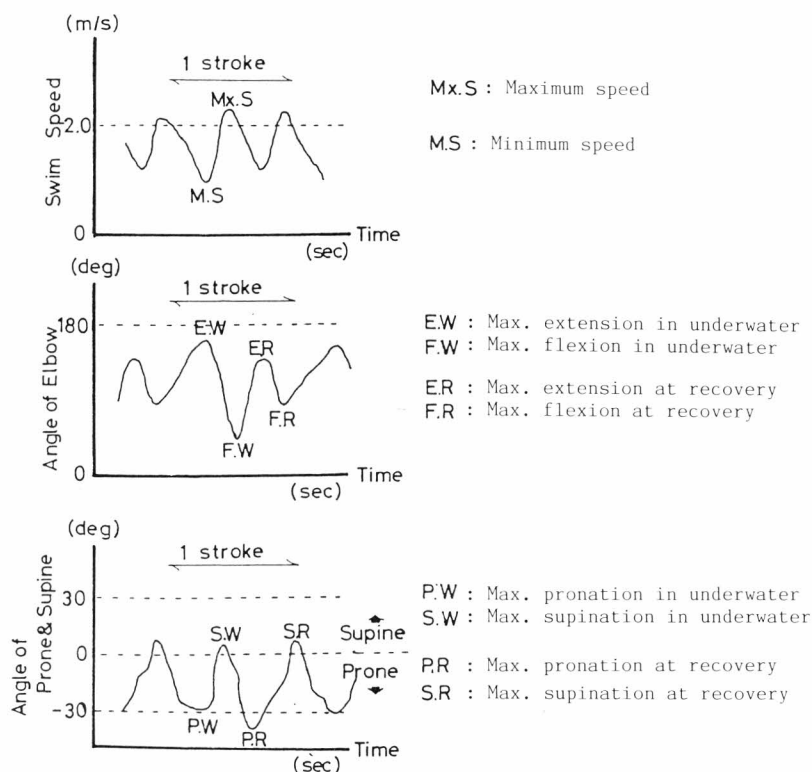


Fig. 2. Representative recordings obtained by goniometer and changes in swimming speed for crawl stroke.

Tab. 2. Angles and amplitudes of elbow movements during underwater phase and recovery phase

		(degree)						
subj	sex (n)	underwater phase			recovery phase			
		maximum extension	maximum flexion	range	maximum extension	maximum flexion	range	
trained	M	\bar{X}	179.6	137.4	54.4	172.8	123.6	49.2
	(6)	S.D.	14.3	16.2	13.5	14.8	12.2	21.2
	F	\bar{X}	178.3	133.9	52.1	166.2	141.7	24.5
	(4)	S.D.	8.6	7.0	6.3	6.6	19.2	17.8
untrained	M	\bar{X}	175.8	135.6	53.0	169.3	131.3	38.0
	(3)	S.D.	11.2	18.1	14.0	16.1	37.2	21.4
	F	\bar{X}	183.5	148.9	47.3	182.6	153.4	29.2
	(5)	S.D.	2.4	15.8	16.8	11.2	18.8	12.9

M:Male F:Female

カバリー時ともに伸展→屈曲→伸展というパターンを示した。前腕部の回内、回外角度の平均と標準偏差を表3に示した。水中時の回内、回外動作の可動範囲は熟練者男子 $18.0^\circ \pm 12.9^\circ$ 、女子 $22.1^\circ \pm 12.0^\circ$ であり、未熟練者男子 $18.6^\circ \pm 10.7^\circ$ 、女子 $21.8^\circ \pm 15.1^\circ$ であった。リカバリー時の可動範囲は、熟練者男子 $32.7^\circ \pm 23.4^\circ$ 、女子 $36.8^\circ \pm 16.1^\circ$ であり、未熟練者男子 $44.5^\circ \pm 21.3^\circ$ 、女子 $27.5^\circ \pm 17.7^\circ$ であり、水中時よりもリカバリー時の方が大きい傾向を示した。しかし、水中時およびリカバリー時の最大回内、最大回外、可動範囲は、男女ともに熟練者と未熟練者との間には有意な差はみられなかった。熟練者、未熟練者の回内、回外動作パターンは、水中時、リカバリー時ともに回内→回外→回内というパターンを示した。

Tab. 3. Angles and amplitudes of pronation and supination movements during underwater phase and recovery phase

subj	sex (n)		underwater phase			recovery phase		
			maximum pronation	maximum supination	range	maximum pronation	maximum supination	range
trained	M	\bar{X}	-25.2	-7.2	18.0	-37.5	-4.8	32.7
	(6)	S.D.	20.8	22.6	12.9	21.1	24.0	23.4
	F	\bar{X}	-11.8	10.3	22.1	-31.0	5.8	36.8
	(4)	S.D.	13.2	18.8	12.0	22.0	7.5	16.1
untrained	M	\bar{X}	-19.5	1.0	18.6	-38.4	6.1	44.5
	(3)	S.D.	10.8	7.3	10.7	16.0	9.4	21.3
	F	\bar{X}	-22.2	-0.4	21.8	28.4	-0.9	27.5
	(5)	S.D.	30.6	17.5	15.1	23.8	35.5	17.7

M:Male F:Female

図3に、熟練者(K.S.)の水泳スピード曲線と肘および前腕部のゴニオグラムを示した。水泳スピードは左右それぞれの腕のかきに対してスピードの増減がみられた。肘と前腕部のゴニオグラムでは、クロールのプル動作は指先の入水後、肘の伸展動作と同時に前腕部では回内動作に続き、回外動作がみられた。また、肘の水中時最大伸展後、肘の屈曲動作と同時に前腕部では回内動作がみられた。さらに、肘の水中時最大屈曲後、肘の伸展動作と同時に前腕部では回外動作がみられた。

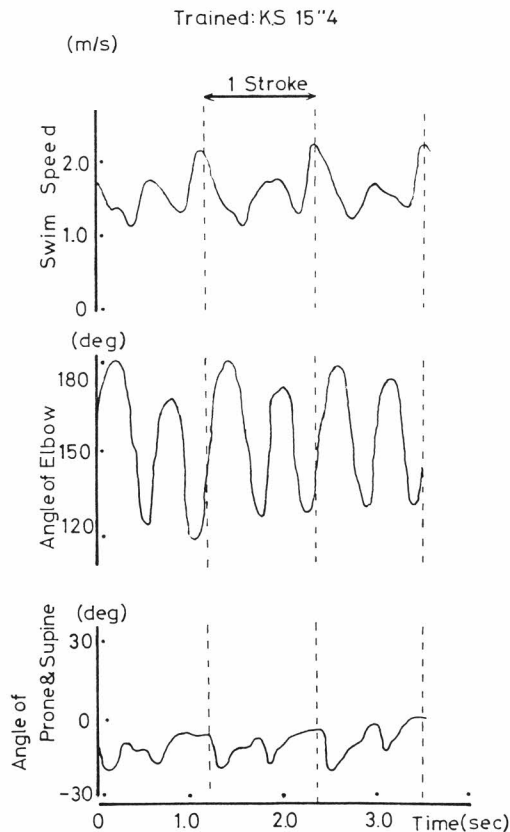
**Fig. 3.** Changes in swim speed, angle of elbow joint, and angles of pronation and supination for the trained swimmer during 25m sprint swimming.

図4は、初心者(M.K.)の水泳スピード曲線と肘および前腕部のゴニオグラムである。水泳スピードは熟練者に比べかなり低く、肘のゴニオグラムは、伸展、屈曲動作が1ストロークのうちにそれぞれ1回ずつしか出現しなかった。前腕部の回内、回外動作もリカバリー期の肘の屈曲動作に伴い、わずかな回外動作から回内動作への移行がみられた。25 m 泳と肘の伸展角速度との間には5%水準で有意な相関がみられたが、屈曲角速度、回内角速度および回外角速度との間には有意な相関はみられなかった。

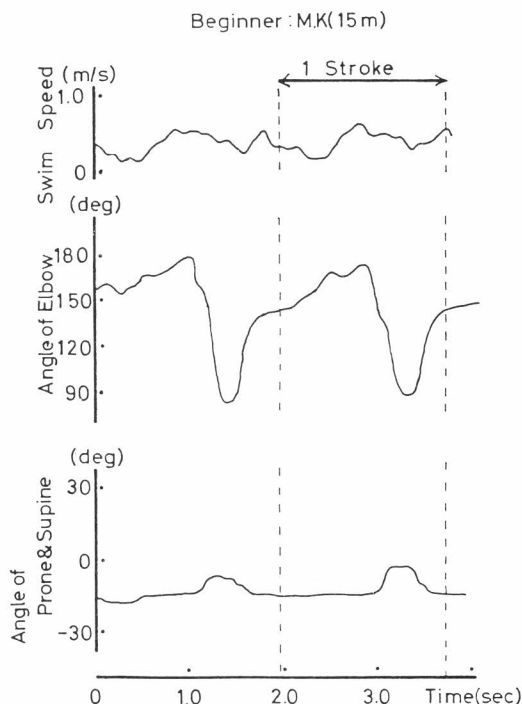


Fig. 4. Changes in swim speed, angle of elbow joint, and angles of pronation and supination for the beginner during 15m swimming distance.

4 考 察

水中で前方へ進むためには、水を後方へまっすぐ押すことが提唱されてきたが、流体力学的には非効率的なプルパターンであり⁷⁾、トップスイマーの腕のかきは三次元的なスカーリング動作を行なっている⁸⁾。すなわち、水中での手のかきは垂直面では上下に、水平面では前後に、さらに側方では体の正中線を内側と外側に動く¹¹⁾。Schleihaufr¹⁰⁾は、クロールのプルの軌跡、とくに手のひらの方向は望ましい傾斜(hands pitch)を維持するために常に変えなければならないと指摘している。このことは、クロール泳では推進力の80%以上が腕のかきによって生ずるといわれ⁴⁾、水中でのプルパターンはより多くの揚力¹²⁾を得るために、手首および肘関節の回内、回外動作や屈曲、伸展動作に少なからずも影響されることを示唆している。一方、水泳中の関節角度の変化はGollnickら⁶⁾によって、クロール、平泳ぎ、バタフライの肘および膝関節角度が記録された。これによれば、クロールの肘関節は120°から170°までの約50°の変化を示している。また、Ringerら⁸⁾は、クロール泳の水中時の肘関節の動作パターンは、熟練者および未熟練者に一定の傾向がみられなかったが、熟練者は水中動作の後半(プッシュ期)の伸展角速度が大きかったと報告している。

本研究の結果、水中時の肘関節の可動範囲は、熟練者および未熟練者ともに、約 50 度の変化を示し、Gollnick ら⁶⁾、Ringer ら⁸⁾の結果とはほぼ一致したが、最大伸展角度、最大屈曲角度および可動範囲には統計的に有意な差はみられなかった。しかし、肘のゴニオグラムには、熟練者、未熟練者ともに伸展→屈曲→伸展というパターンが、前腕部では回内→回外→回内というパターンが水中時、リカバリー時の両局面にみられた。

熟練者(K.S.)のプル動作では指先の入水後、肘の伸展動作と同時に前腕部の回内動作に続き、回外動作がみられたことから腕のかきがプレスダウンの局面からプルの局面へ移行したものと考えられ、また、手のひらは体の外側から内側へと移動し、ジグザグプルに不可欠な動きが見られた。カウンスルマン⁴⁾もトップスイマーの写真分析により、指先の入水時には前腕の回内動作が重要であることを指摘している。また、肘の水中時最大伸展後、肘の屈曲動作と同時に前腕部には回内動作がみられたが、これは、腕のかきが後半（プッシュ期）に入ろうとする動作に相当すると考えられる。さらに、肘の水中時最大屈曲後、肘の伸展動作と同時に前腕部には回外動作がみられた。これは、腕のかきのプッシュ期にあたり、前腕部はリカバリーへの準備期にあたるものと思われる。ところが、初心者(M.K.)の肘のゴニオグラムは、伸展、屈曲が1ストロークのうちにそれぞれ1回ずつしか出現せず、回内、回外動作もリカバリー期の肘の屈曲動作に伴ってわずかな変化がみられただけであり、腕のかきは、いわゆる肘を伸ばしたままのストレートアームプル³⁾であることが考えられる。

最後に、腕をかくはやさについては、その重点を肘の伸展角速度と 25 m 泳との関係から、前半部分のプル期に置くのではなく、プッシュ期に置くことが大切であろう。しかし、体のローリングや肩の内転などによる腕のかきへの影響が考えられるので、ゴニオグラムの記録と同時に写真撮影などによる動作の分析なども検討されていくべきである。

5 ま と め

熟練者と未熟練者のクロール泳についてプル動作を経時的な水泳スピード曲線と肘の屈曲、伸展動作および前腕の回内、回外動作のゴニオグラムから検討した結果、腕のかきのよい動作とは、つぎのようにまとめることができた。

- 1) クロールの腕のかきは指先の入水後肘の伸展動作と同時に前腕部には回内動作に続き、回外動作がみられた。
- 2) 肘の水中時最大伸展後、その屈曲動作と同時に前腕部には回内動作がみられた。
- 3) 肘の水中時最大屈曲後、その伸展動作と同時に前腕部には回外動作がみられた。
- 4) 腕をかく速さの重点は、プルの前半ではなく、肘が最大屈曲から伸展していくとき、および前腕が回内動作から回外動作へと移行するときのプッシュ期を置くべきであろう。

文 献

- 1) 天野義裕, 星川 保, 水谷四郎: 走運動に関する縦断的研究—4 歳児から 6 歳児にかけて—, 日本バイオメカニクス学会編, スポーツバイオメカニクスへの挑戦, 杏林書院, 1983, pp.109-116.
- 2) Barthels, K.M.: The mechanism for body propulsion in swimming. In Terauds, J. and Bedingfield, E.W. (Eds.) *Swimming III*, University Park Press, Baltimore, 1979, pp.45-54.
- 3) Counsilman, J.E.: *The science of swimming*, Prentice-Hall Inc, 1968, pp.1-18.
- 4) カウンスルマン(野村武男, 内藤晴輔 訳): 競泳マニュアル, 大修館書店, 1982, pp.253-259. (Counsilman, J.E.: *Competitive swimming manual for coaches and swimmers*, Counsilman Co. Bloomington

1977)

- 5) Counsilman, J.E. and J.M. Wasilak : Hand acceleration patterns in swimming strokes. *Swimming Technique*, pp.1-9, 1980.
- 6) Gollnick, P.D. and P.V. Karpovich : Electrogoniometric study of locomotion and of some athletic movements. *Res. Quart.*, **35** (3) : 357-369, 1964.
- 7) 宮下充正, 波多野勲, 林 裕三 編著 : 競泳のコーチング, 大修館書店, 1973, pp.74-84.
- 8) Ringer, L.B. and M.J. Adrian : An electrogoniometric study of the wrist and elbow in the crawl stroke. *Res. Quart.*, **40** (2) : 353-363, 1969.
- 9) Schleihau, R.E. : A biomechanical analysis of freestyle. *Swimming Technique*, pp.89-96, 1974.
- 10) Schleihau, R.E. : A hydrodynamic analysis of swimming propulsion. In Terauds, J. and Bedingfield, E.W.(Eds.), *Swimming III*, University Park Press, Baltimore, 1979, pp.70-109.
- 11) Schleihau, R.E., L.Gray and J. De Rose : Three-dimensional analysis of hand propulsion in the sprint front crawl stroke. In Hollander A.P., Huijing, P.A. and Groot, G.D.(Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming*, University Park Press, Baltimore, 1983, pp.173-183.
- 12) 高木隆司 : スポーツの力学, 講談社, ブルーバックス, 1983, pp.88-97.