

## 水中ゴニオグラムおよびシネマトグラフィーから みた平泳ぎの協応動作

合屋十四秋 天野 義裕 鶴峯 治\*

### Kinematics and electrogoniometric analysis of breaststroke timing of the armstroke and kick.

Toshiaki GOYA, Yoshihiro AMANO and Osamu TSURUMINE

The purpose of this study was to determine the breaststroke timing of the movements of elbow, knee and forearm joints in the four swimming phases among selected university students.

The subjects of the study were two national top swimmers, four trained and six untrained swimmers. They were sprinted 25m breaststroke with their maximum effort attached to water-proof electrogoniometers (elbow, knee and forearm). Swimming form was taken by a high speed cine camera operating at 48-64 fps, and synchronized by 4ch pen-oscillograph recorder. The magnitude of the angles for the flexion, extension, pronation and supination of elbow and forearm movements, and the flexion and extension of knee movements were measured by means of waterproof electrogoniometers. The angular velocity of elbow extension and forearm supination among the top and trained swimmers were significantly different from that of the untrained swimmers in the armstroke during at the pull phase. There was significant correlation coefficients between the angular velocity of elbow extension, forearm supination and the swimming velocity respectively. Moreover, the magnitudes of knee joint angle and angular velocity of knee joint among the top and trained swimmers, were significantly different from untrained swimmers. The timing of the armstroke and leg kick showed greater overlap among the untrained swimmers than among the top and trained ones during the P-R phase. The results indicated that untrained swimmer have already started leg recovery at the beginning of armstroke. It was suggested that during the recovery phase, the armstroke should be accelerated the amplitudes of knee joint angle be increased, and the leg kick be more accelerated in order to supply the propulsive force effectively in breaststroke. In conclusion, at the beginning of the catch of armstroke the timing of leg kick recovery of swimming beginner should be delayed.

水泳中の腕のプルおよびキックによる身体各部  
位の角度変化や動作の巧拙は、Gollnick ら<sup>2)</sup>,  
Ringen ら<sup>9)</sup>, 筆者ら<sup>3)</sup>によって報告されている。

平泳ぎの協応動作についてはシネマトグラフィー<sup>11)</sup>および EMG<sup>13)</sup> などによる検討がなされているが、いずれも動きの“コツ”を探る検討まで

には至っていない。

本研究では、トップスイマー、熟練者および未熟練者の泳中のゴニオグラムと 16mm 写真を同時記録し、分析することにより、平泳ぎの手足のタイミングのとり方の“コツ”を探り、泳法指導の手がかりを得ることを目的とした。

## 方 法

被検者は日本の男子トップスイマー2名（日本記録保持者，1985年インターカレッジ100m 優勝者），熟練者4名（男子3名，女子1名），未熟練者6名（男子2名，女子4名）である。被検者の身体特性およびベスト記録を Table 1 に示した。Fig. 1 に本実験の概略を示した。肘，膝および前腕部のゴニオメーターを装着した被検者に水中デッドスタートにより25mを全力で泳がせた。16mm

Table 1 Characteristics of the subjects.

		$\bar{X} \pm (S.D)$			
Subj	Variable	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Best Record
Top Swimmer	S.T.	24	181.0	71.5	1'03"8*
	A.S.	20	174.0	79.0	1'06"2*
Trained (n=4)		21.4 (0.5)	172.8 (6.3)	58.5 (4.5)	35"1** (2"1)
Untrained (n=6)		20.1 (0.6)	162.2 (7.2)	54.3 (8.2)	58"4** (6"8)

\*\* 50m

\* 100m

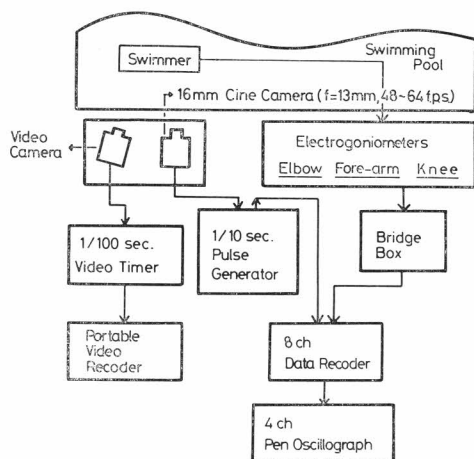


Fig. 1 Schematic drawings of this experiment.

フィルム撮影 (48~64fps) は、ゴール前7m 付近より泳者の側方から行った。ゴニオグラムとフィルムの同期は 16mm カメラに接続したパルスジェネレーターからの信号により行なった。腕のプルと脚のキックのタイミングをみるため泳中の1かき1けりを4つの局面に分け、ゴニオグラムとフィルムの分析・検討を行った (Fig. 2)。

## 結 果

### (1) プルおよびキックの動作パターン

1 ストローク中の手先の軌跡はトップスイマーと熟練者がU型，未熟練者はC型を示した。足先の軌跡はトップスイマーと熟練者がN型，未熟練者はZ型を示した (Fig. 3)。

(2) 肘，膝および前腕部の角度変化と泳速について

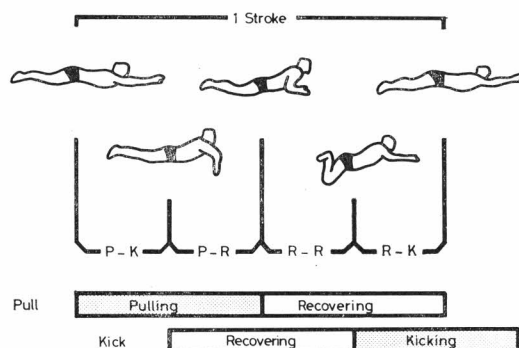


Fig. 2 Four breaststroke swimming phases at the timing of the armstroke and leg kick.

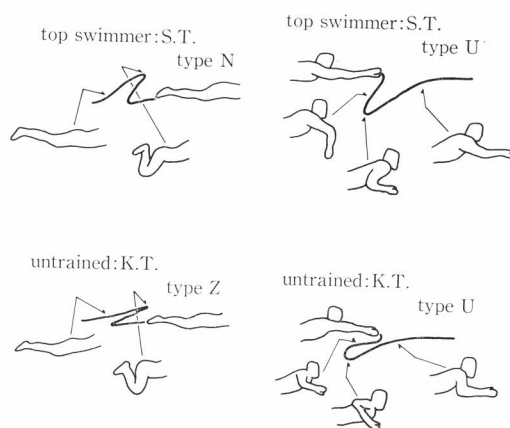


Fig. 3 Typical armstroke and leg kick pattern of the top and untrained swimmer.

**Table 2** Angles, amplitudes and angular velocities of elbow movements during 25m sprint breaststroke for each 3 groups.

		Mean $\pm$ (S.D)				
Subj	Variable	Maximum Extension (deg)	Maximum Flexion (deg)	Range (deg)	Angular Velo. of Extension (deg/sec)	Angular Velo. of Flexion (deg/sec)
Top Swimmer	S.T.	173.6	72.6	101.0	354.1	194.2
	A.S.	179.7	60.8	118.9	411.0	212.2
	Trained (n=4)	172.5 (1.8)	74.4 (10.4)	98.0 (10.1)	201.6 (27.2)	179.9 (23.3)
	Untrained (n=6)	168.8 (4.8)	78.1 (9.1)	90.6 (7.3)	139.6 (36.6)	208.7 (64.1)

**Table 3** Angles, amplitudes and angular velocities of knee movements during 25m sprint breaststroke for each 3 groups.

		Mean $\pm$ (S.D)				
Subj	Variable	Maximum Extension (deg)	Maximum Flexion (deg)	Range (deg)	Angular Velo. of Extension (deg/sec)	Angular Velo. of Flexion (deg/sec)
Top Swimmer	S.T.	176.3	30.0	146.6	588.9	332.5
	A.S.	178.9	34.6	144.3	629.4	379.7
	Trained (n=4)	177.0 (1.1)	36.1 (3.1)	140.9 (3.3)	599.3 (38.2)	277.3 (33.8)
	Untrained (n=6)	173.4 (4.5)	43.5 (3.3)	129.6 (6.7)	500.1 (25.1)	225.7 (48.5)

**Table 4** Angles, amplitudes and angular velocities of forearm movements during 25m sprint breaststroke for each 3 groups.

		Mean $\pm$ (S.D)				
Subj	Variable	Maximum Pronation (deg)	Maximum Supination (deg)	Range (deg)	Angular Velo. of Pronation (deg/sec)	Angular Velo. of Supination (deg/sec)
Top Swimmer	S.T.	-31.2	8.1	39.3	192.2	245.6
	A.S.	-32.1	34.6	66.9	237.5	446.0
	Trained (n=4)	-32.0 (7.0)	22.1 (6.6)	54.1 (5.4)	206.5 (50.7)	328.4 (47.9)
	Untrained (n=6)	-15.7 (4.8)	20.7 (5.9)	36.5 (8.3)	132.5 (59.8)	194.7 (53.5)

Table 2, 3, 4 に肘, 膝および前腕部の角度変位を示した. 腕のリカバリーによる肘の伸展角速度では熟練者が未熟練者よりも有意に大きく, トップスイマーは熟練者の平均値よりも大きな値を示した (Table 2). 膝の可動範囲, 伸展角速度では熟

練者と未熟練者との間に有意な差がみられ, トップスイマーは熟練者の可動範囲, 伸展角速度および屈曲角速度の平均値よりも大きな値を示した (Table 3). 前腕部の可動範囲, 回外角速度では熟練者と未熟練者との間に有意な差がみられたが,

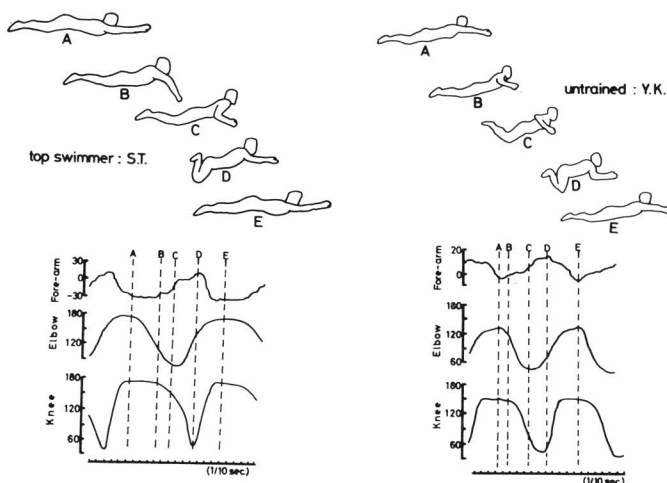


Fig. 4 Synchronization diagram of the four swimming phases and the changes in angle of elbow, knee and forearm joints.

トップスイマーとの間では双方の値に顕著な差がみられた (Table 4).

一方、泳速度と膝の伸展角速度には有意な相関がみられ ( $r=0.87$ ,  $p<0.001$ ), 同様に泳速度と肘の伸展角速度 ( $r=0.79$ ,  $p<0.01$ ) および前腕部の回外角速度 ( $r=0.77$ ,  $p<0.01$ ) との間にも有意な相関がみられた.

(3) 泳フォームと肘, 膝および前腕部の角度変位との関係

Fig. 4 にトップスイマーと未熟練者の肘, 膝および前腕部の角度変位と4つの動作局面のフォームを示した. プル動作はトップスイマー, 未熟練者とも前腕部の最大回内により腕のプルが始まり, その直後に肘の屈曲と前腕部の回外動作がみられた. トップスイマーは腕のプルの終了まぎわの短時間に回外動作が出現したのに対して, 未熟練者は腕のプルの始めから漸増的な回外動作がみられた. 熟練者は, トップスイマーと同様の傾向を示した. 腕のプルと脚の引き付け (リカバリー) が共存する. P-R 局面の所要時間は熟練者が  $0.18 \pm 0.04\text{sec}$ , 未熟練者が  $0.27 \pm 0.04\text{sec}$  と未熟練者が有意に大きかった. トップスイマーでは S.T. が  $0.20\text{sec}$ , A.S. が  $0.12\text{sec}$  であった. 腕のプル終了時 (局面C) における膝角度および脚のけり始め (局面D) の肘角度は, 双方ともに熟練者が未

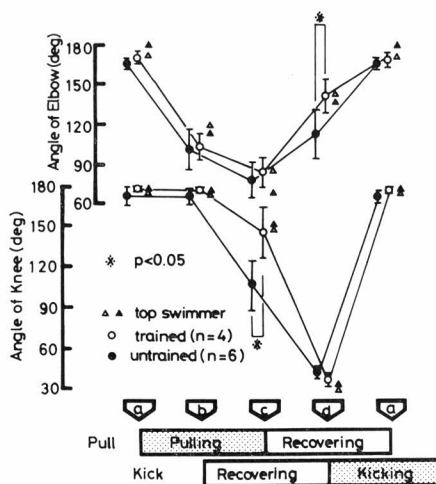


Fig. 5 Relationship between changes in angle of elbow and knee joint and the four swimming phases of the top, trained and untrained swimmers.

熟練者より有意に大きかった. また, トップスイマーも熟練者と同様の値を示した (Fig. 5).

#### 考 察

平泳ぎの腕のプルはアウトワードスカル, インワードスカルおよびアウトスウィープ, ダウンスウィープ, インスウィープによる水の押えとそれに伴うハイエルボーが重要な要素だといわれている<sup>6)</sup>. 本研究のトップスイマーと熟練者の手先

の軌跡, すなわち U 型のプルパターンは, Counsilman<sup>1)</sup> のストロボ撮影によって得られた一流選手の結果とほぼ一致することが認められた。

一方, 肘と前腕部の角度変位が 3 グループ間で顕著な差となって現われたのは肘の伸展角速度であり, これは腕のリカバリーのすばやさの評価するものである。これに対し初心者は腕のリカバリーが遅いため, この動作が抵抗となってキックによる推進力を減少させる原因となっているようである<sup>11)</sup>。プル動作に伴う前腕部の回外角速度では熟練者と未熟練者に有意な差がみられ, また泳速度と回外角速度には有意な相関がみられた。すなわち, この一連の動きはダウンスウィープからインスウィープへの移行と考えられ“手のひらの返し”<sup>12)</sup>のすばやさ腕のプルによる推進力を左右しているようである。

ところで, 脚のキックによる推進力と重要な関係を持つと考えられる膝の伸展角速度は, 可泳能力が 30m 程度の者では伸展角速度の大きさは運動成果に反映されないという報告<sup>10)</sup>もある。しかし, 本研究では熟練者と未熟練者の膝の可動範囲, 伸展角速度に有意な差がみられ, 泳速度と膝の伸展角速度にも有意な相関がみられた。また, トップスイマーの膝の可動範囲, 伸展角速度は熟練者より大きな値を示した。これは, 脚のキック動作(足首の返しを除く)の習熟度の違いが膝の可動範囲や伸展角速度に影響を与えていると考えられる。

平泳ぎはプル, キック, 呼吸の 3 つのタイミングがうまくあって流線形の姿勢がより長くとられ, グライドのスピードを効果的にいかした泳法が理想的である<sup>7)</sup>。といわれるように, コンビネーションが劣っていれば低いレベルに記録がとどまったり, “つまずき”の原因ともなる<sup>4, 5)</sup>。筋電図による平泳ぎの協応動作のポイントは, 腕のかき始めに脚の引きつけを抑制することであるといわれている<sup>8)</sup>。本研究では, フィルム分析およびゴニオグラムの双方から検討した結果, 未熟練者は P-R 局面の時間が長く, 腕のプル終了時における膝角度および脚のけり始めの肘角度は熟練者より有意に小さく, トップスイマーも熟練者と同様の

傾向を示した (Fig. 5)。すなわち, 未熟練者は脚の引きつけのタイミングが熟練者およびトップスイマーに比べて早く進行しており, 結果として, 腕のかき始めの時には脚の引きつけが既に開始され, 手足がほぼ同時に動いているようである。

## ま と め

本研究では, トップスイマー, 熟練者および未熟練者を対象にして平泳ぎの手足のタイミングのとり方の“コツ”をゴニオメーターとシネマトグラフィを用いて明らかにしようとした。その結果, 以下の結論を得た。

(1) より優れたパフォーマンスを発揮するためには, 水中で腕をすばやくリカバリーすること, 膝の可動範囲を大きくすること, および脚をすばやくけることが必要である。

(2) 平泳ぎの手足のタイミングのとり方の“コツ”は, 腕のかきと脚の引きつけがオーバーラップする時間を短かくし, 手足の動作開始時期をずらすことにある。

## 〔文 献〕

- 1) カウンシルマン (野村武男, 内藤晴輔訳): 競泳マニュアル. 大修館書店, 1982. pp. 222-240, (Counsilman, J. E.: Competitive swimming manual for coaches and swimmers, Counsilman Co. Bloomington. 1977)
- 2) Gollnick, P. D. and P. V. Karpovich: Electrogoniometric study of locomotion and of some athletic movements. Res. Quart., 35(3): 357-369, 1964.
- 3) 合屋十四秋, 天野義裕, 米田吉孝: 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. 第 7 回日本バイオメカニクス学会大会編, 走・跳・投・打・泳動作における“よい動き”とは, pp. 174-180, 1984.
- 4) 加藤橘男, 黒田善雄, 豊田博編, 古橋広之進, 駒田幸徳, 宮下充正, 衣笠恵士, 林 裕三著: スポーツの科学的指導Ⅲ. 水泳, pp. 113-118, 不昧堂出版, 1973.
- 5) 宮畑虎彦監修, 高田典衛, 菅野信正, 左近充正矩, 三浦 勇, 保坂一郎編: 学校水泳の指導. pp. 170-172, 文教書院, 1978.
- 6) E. W. Maglischo: Swimming faster, pp. 129-157, Mayfield Publishing Co. 1982.
- 7) 日本水泳連盟編: 新訂水泳指導教本. 52-56. 大修館書店, 1983.
- 8) 岡本 勉, 徳山 広, 吉沢正尹, 小平明子, 辻野昭, 熊本水頼: 幼小児の水泳の筋電図の研究. 身体運動の科学Ⅱ. pp. 115-126, 杏林書院, 1976.

- 9) *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.
- 10) 陶山三千也, 湯浅景元, 鶴峯 治, 浅川正一, 齊藤昌久, 三宅一郎, 榎木 茂: 初心者における平泳ぎのバイオメカニクスの研究. 中京大学体育学研究 **21**(4) : 245-252, 1983.
- 11) 田口正公: ミニコンピュータ動体解析システム導入による平泳ぎの協応動作の分析的研究. 福岡大学体育学研究 **21**(1) : 181-192, 1980.
- 12) *Ungerechts, B.*: Optimizing propulsion in swimming by rotation of the hands.: In Terauds and Bedingfield. W. (Eds.), *Swimming III*, University Park Press Baltimore, 55-61, 1979.
- 13) 吉沢正尹: 筋電図による平泳ぎの泳法分析, 体育の科学 **28** : 381-384, 1978.