

水泳学習における動作フィードバック トレーニングの応用

長 畝 小 学 校 中 山 尚 裕
(共同研究者) 福 井 大 学 吉 澤 正 尹
仁愛女子短期大学 三 和 優
中 藤 小 学 校 田 中 知 司
南 越 中 学 校 松 本 幸 三

Application of Motion-feedback Training on Learning Swimming

by

Takahiro Nakayama

Noune Elementary School

Masatada Yoshizawa

Fukui University

Masaru Miwa

Jin-ai Women's Junior College

Tomoji Tanaka

Nakafuji Elementary School

Kouzou Matumoto

Nan-etsu Junior High School

ABSTRACT

The effects of feedback-training for the beginners of breaststroke were investigated in this study.

The subjects (8 children and 8 college students) were divided into two groups, the experimental (E) group and the control (C). The auditive information was used for the feedback-training from the angles of ankle joints in the subjects during swimming, and the training was performed

for the subjects of E group. And the usual training was performed for the subjects of C group. Both training methods were done four times a week, and then the effects of feedback-training were investigated from the two points: degrees of the ankle joints and electromyograms in the kick phase.

(1) From the degrees of the ankle joint, after the four times training, and during the training, the leg kick in both groups were maintained at smaller degrees than before the training. And this tendency was clearer in E group than C group.

(2) From the electromyograms, the tibialis anterior has an important function in the kick phase of the breaststroke. In the E group, the tendency of the continuously strong discharge of the tibialis anterior toward the end of the kick phase appeared clearer.

From those facts, the feedback-training in this study succeeded in improving the ankle joint movement of the leg kick in the breaststroke.

1. はじめに

国内外におけるフィードバック・トレーニングについての研究は数多く、赤木ら(1975)によってなされた筋電図による筋弛緩および血圧についての研究ならびに、Brundyら(1974)、Swaanら(1974)などによる筋電図を用いた筋弛緩を目的とした研究などがあるが、いずれも医学的な臨床的研究であり、実際の運動場面においてトレーニングに応用した研究は、Yoshizawaら(1983)のトップ泳者の泳法矯正以外にはほとんど見あたらない。このように、筋電図情報によるバイオフィードバック・トレーニングは各方面でその効果が認められているが、学校における体育学習では、筋電図を情報とするフィードバック・トレーニングは適用しにくいと思われる。

そこで我々は、岡本ら(1976, 1980)によってすでに指摘されている初心者の平泳ぎ動作の特徴的欠点である、キックにおいて足背屈位が保たれないということから、平泳ぎ指導における足関節動作に着目し、ゴニオメータによる角度変化の電

気抵抗を検出、評価し、聴覚情報として取り出せる機能を持つフィードバック・トレーナを試作した。本研究では試作したトレーナを用い、平泳ぎにおける足関節動作を学習者に聴覚情報として与えるフィードバック・トレーニングを行ない、動作の記録から、フィードバック・トレーニングの効果についての検討を試みた。

2. 研究方法

1) 第1実験

第1実験では、平泳ぎ習得前後の小学生にどのようなキック動作のちがいが認められるかを把握する目的で行なった。

① 被験者：被験者は、スイミングスクールに通っている生徒の中の次のような小学生118名を対象として選んだ。

Aクラス……クロールのみを習得した者

Bクラス……クロールと背泳ぎを習得した者

Cクラス……クロール、背泳ぎならびに平泳ぎを習得した者

Dクラス……4泳法を習得した者

Eクラス……選手として練習を行なっている者

② 動作の記録：実験は水中窓を有する福井スイミングスクール専用プールで行ない，平泳ぎのキック動作を側面からビデオ撮影を行なった。また，各技術習得クラスより5名を選び，泳動作中の足・膝・股関節の角度変化をエレクトロ・ゴニオメータを用いて，データレコーダ（SONY，DFR-3915）ならびに電磁オシログラフ（三栄測器，5L-33）に記録した。

2) フィードバック・トレーニング

第2実験の対象となる平泳ぎ習得前の小学生8名，大学生8名を，トレーニング前の足関節角度・パフォーマンスに差のないようにそれぞれ4名ずつの4グループ（小学生対照群（C・ch.），大学生対照群（C・st.），小学生実験群（E・ch.），大学生実験群（E・st.））に分け，次のようなトレーニングを行なった。

対照群（C）に対しては，従来行なわれている指導者の視覚的情報をもとにした指導者による動作矯正トレーニングを行ない，実験群（E）に対しては，足関節角度が90度以下になれば聴覚的信号が連続的に被験者に直接フィードバックされるように調整されたフィードバック・トレーナを装着させ，C群と同様なトレーニングを行なった（図1）。両群に対するトレーニングは，一週間おきに4回行なった。

3) 第2実験

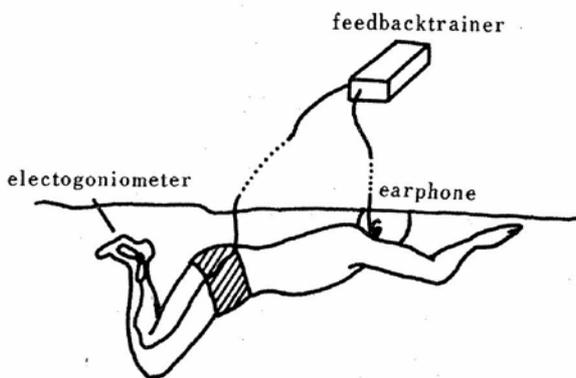


図1 フィードバック・トレーニングの模式図

第2実験では，第1実験の記録をもとにして，平泳ぎ初心者にはフィードバック・トレーニングを定期的に行ない，トレーニング前後のゴニオグラム・筋電図ならびにパフォーマンスをフィードバック・トレーナを取りはずした後に記録した。

① 筋電図ならびに動作の記録：被験者にはビート板を持たせ，顔を水につけずに平泳ぎのキックで15mを泳ぐように指示し，各被験者にこの試行を4回行なわせた。動作中の筋電図の記録は，18素子万能脳波計（三栄測器，A-59型）を用いて記録した。

被験筋については，Yoshizawaら（1976）の平泳ぎの筋電図的研究を参照し，平泳ぎキック動作に関与すると考えられる下肢の6筋を選択した：

- (i) M. tibialis anterior（前脛骨筋），
- (ii) M. gastrocnemius（腓腹筋），
- (iii) M. vastus medialis（内側広筋），
- (iv) M. rectus femoris（大腿直筋），
- (v) M. biceps femoris（大腿二頭筋），
- (vi) M. gluteus maximus（大殿筋）。

キック動作に関与する下肢の足・膝・股関節のゴニオグラムを，筋電図記録紙上，ならびにデータレコーダ，電磁オシログラフにより各関節の角度変化曲線を同時記録した。また，1試行をパフォーマンスの記録として5回のキックで進んだ距離を測定し，参考にした。

3. 結果ならびに考察

1) 第1実験

収録されたビデオを再生し，トレースしたフォームから股関節の最大屈曲ならびに最大伸展時の角度をクラス別にみたものが図2である。

図にみられるように，Aクラスでは他のクラスに比較して屈曲の度合は大きく（いずれも5%水準で有意），B～Eのクラスでも有意差はみられないものの平均値において屈曲の度合が小さくなる傾向が認められた。股関節の屈曲は，次のキッ

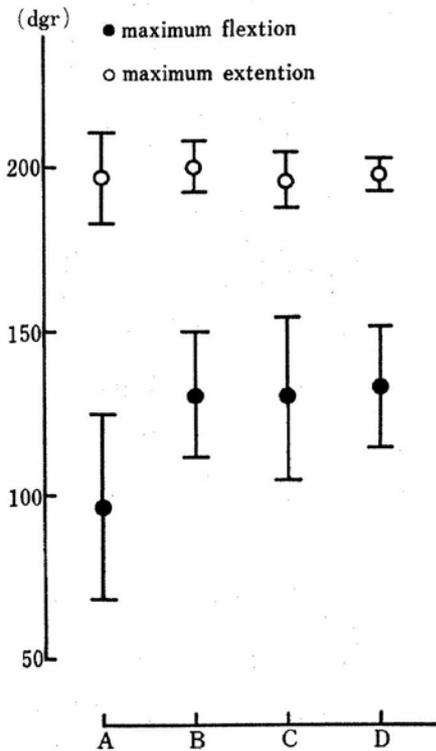


図2 股関節のクラス別最大屈曲・最大伸展角度

クのためのリカバリー動作として必要であるが、得られた推進力を低下させないために身体を出来るだけ一直線に保ち、前面抵抗を小さくするようなリカバリー、つまり股関節をあまり大きく屈曲しないことが有効な動作であると考えられる。この点から考えると、Aクラスはリカバリー期の股関節動作についても矯正が特に必要であると言える。

膝関節、足関節においては、再生されたビデオの映像からは正確な角度の計測が可能でないため、電磁オシログラフに記録されたエレクトロ・ゴニオグラムより、キック動作中のそれぞれの関節角度を計測した。

表1は、膝関節が最大屈曲(max. f)、~90度、~120度、~150度、~180度のそれぞれに対応する足関節角度の分布をクラス別に示したものである。

Aクラスにおける膝関節最大屈曲(max. f)時の足関節の足背屈曲をみると、最も屈曲された場

表1 各膝関節角度に対応する足関節角度のクラス別分布表

Knee	Ankle				
	~90°	90°~110°	110°~130°	130°~150°	150°~
max. f	○ ● ● ● ●	△ □ □ ○ ○	× △ △ △	× ×	×
max. f } 90°	△ □ ○ ● ● ● ●	□ ○	△ △	× × △	× ×
90° } 120	△ ○ ● ● ● ● ●	△ △ □ □ ○ ○	△	×	× × ×
120° } 150°		△ △ △ □ ○ ○ ● ● ● ●	△ □		× × × ×
150° } 180°			△ △ □ □ ● ● ● ● ●	× × × × △ △ ○ ○ ○ ○	

●-A ○-B □-C △-D ×-E

合でも110度~130度の範囲にあり、その後、膝伸展期を通じて足関節は130度以上を示した。一方、Eクラスでは膝関節がmax. fから120度までの伸展の間は足関節が90度以下に保持されており、膝の最大伸展時でも足関節は130度以下を示した。

膝関節が伸展されるキック期における足関節の背屈曲は足の裏で水をキャッチし、有効な推進力を得るためには必要な動作であり、膝関節が120度以上に伸展されるまで足関節が90度以下の背屈位に保持されている点は、Carpenter (1938) や Lindeburg (1964) が膝伸展の最適角度は120度であると報告している点からしても、重要な意味をもっているものと考えられる。表1をこのような観点からみると、上級者ほど有効なキック動作がなされていることは明らかであるが、Aクラスでは、キック動作中の足関節の背屈位の保持のトレーニングをする以前に、足関節を90度以下に屈曲するためのトレーニングが必要であると考えられる。

2) 第2実験

図3は、第2実験において電磁オシログラフによって記録したキック中の股関節・膝関節・足関

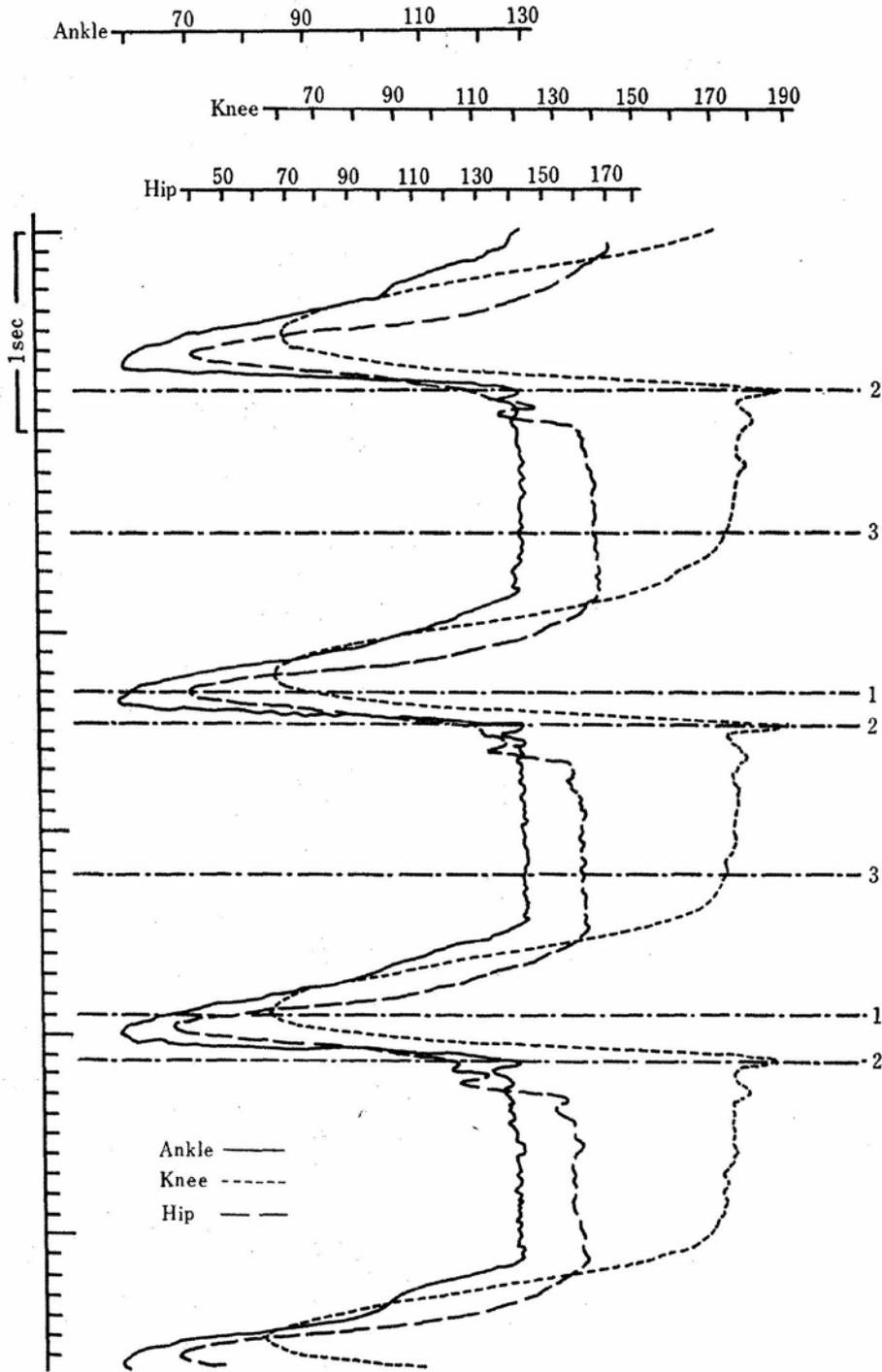


図3 電磁オシログラフによる記録の一例

節の角度変化の一例である。

平泳ぎの脚動作を, Counsilman (1970) や Yoshizawa ら (1976) の区分を参考にして, 図中に示したように, キック期 (1-2), グライド期 (2-3), リカバリー期 (3-1) の3つに区分した。

図4は, 足関節最大屈曲角度のトレーニングに

よる変化を群別に表わしたものである。

また, 表2は, 各群のトレーニング期間の有意差検定結果である。

第2実験の対象となった4群とも, トレーニング前 (pre-T) では, 足関節角度は90度より大であり, E-C 群間の有意差も認められなかった。

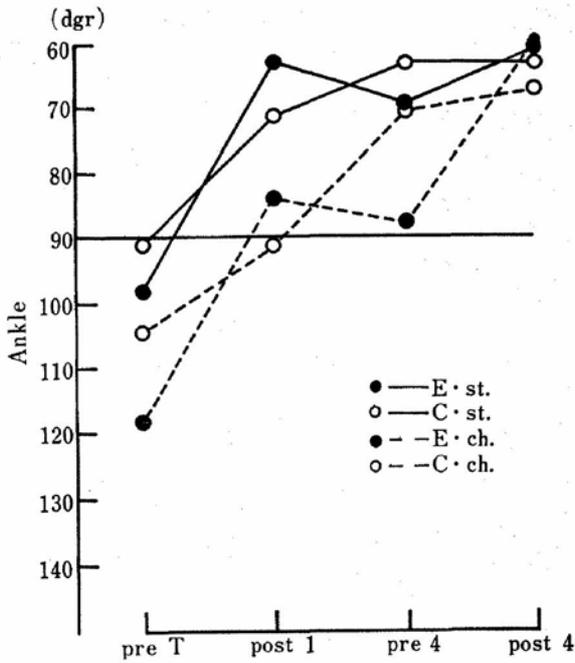


図4 足関節最大屈曲角度の変化

E.st., C.st., E.ch. の3群は、第1回トレーニング後 (post-1) では90度以下となり、C.ch. 群でも pre-T からみると、10度以下の減少がみられ90度に近づいた。各群の pre-T と post-1 の間の差は、トレーナーを装着してトレーニングを行った E.st., E.ch. にのみ5%水準で有意な差が認められた。第2回、第3回のトレーニングを経て、第4回目トレーニング前 (pre-4) では、post-1 の時点と比較して、C群では st., ch. とともに足関節角度は減少 (C.ch. では5%水準で有意)、E群ではその差が有意でないものの増大する傾向が認められた。

pre-T と post-4 の差についてみると、E.st. (1%水準)、E.ch. (1%水準)、ならびに C.st. (5%水準) で有意であったが、C.ch. では有意な差はみられなかった。

これらの結果から、E群にみられる早期からの90度以下の足背屈曲を可能にしたのは、フィードバック・トレーナーの効果によるものと考えられ、st 群では年齢的な面から指導内容に対する理解度が ch 群より深められたために、C.st. 群にも

表2 膝関節120度における各群の足関節角度の有意差検定結果

		post 1	pre 4	post 4
E.st	pre T	5.295*	4.588*	5.957**
	post 1		1.583	0.627
	pre 4			2.793
C.st	pre T	2.523	3.505*	3.453*
	post 1		1.442	2.285
	pre 4			0.350
E.ch	pre T	3.493*	2.852	8.242**
	post 1		0.069	8.355
	pre 4			1.778
C.ch	pre T	1.095	2.838	2.801
	post 1		4.707*	1.813
	pre 4			0.549

*p<0.05 **p<0.01

顕著な伸びがみられたものと考えられる。一方、post-1 から pre-4 にかけての E群における足関節角度の増大は、トレーニング後の記録では、記録直前までのトレーナーを用いたトレーニングによる聴覚情報のイメージが残存していた状態であったのに対し、pre-4 ではかなり以前のこととして、記憶が薄れていたと仮定すれば、E群ではトレーナーの聴覚情報にかなり依存しており、かつ、3回のトレーニングではまだフィードバック・トレーニングの効果が定着していないと解釈できる。

キック動作における足関節の背屈位の有効性は、膝関節の角度によって大きく左右される。膝関節は最大屈曲からキックのために積極的に伸展されるが、すでに第1実験の結果の中で述べたように、大きな膝伸展力が得られるのは膝関節が120度前後である。しかし、キック動作は、屈曲から伸展への連続的な動作であるから、膝関節が120度前後で有効に伸展力を発揮するためには、それ以前にすでに膝関節にある程度の負荷がかかっている方が良いと考えられる。つまり、膝関節が120度になる以前に足関節が屈曲され、水をキャッチしていた方が積極的な膝伸展が可能になると考えられる。

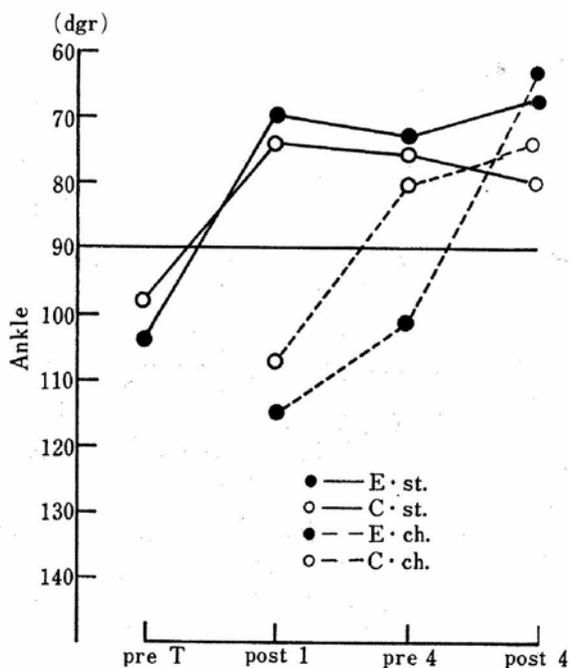


図5 膝関節90度時の足関節角度の変化

そのような観点から、膝関節90度の時点における足関節角度のトレーニング過程での変化を示したものが図5である。

図中、pre-TにおけるE.ch., C.ch.群の記録が欠けているのは、ch群のpre-T時点でのキック動作がドルフィン状のキックであり、かつ、膝関節が90度まで屈曲されずに伸展されたことによるものである。

pre-Tあるいはpost-1とpost-4を比較すると、post-4ではいずれの群も平均値からみると、足関節角度が小さくなり、水のキャッチがよくなるようになる傾向がみられたが、有意な差が認められたのはE.st.群($t=4.402, p<0.05$)のみであった。ch群では、C.ch.でpre-4時に90度以下を示したのに対し、E.ch.では、pre-4時点で100度以上を示した。しかし、E.st.ではpost-4で70度以下と大幅な減少がみられることから、フィードバック・トレーニングの効果は認められるものの、この方法ではかなりトレーナーの情報に依存することは明らかである。この聴覚情報に対する依存傾向はE.st.の変化からも認めら

れた。

膝関節が120度の時点での足関節角度のトレーニングによる変化については、膝関節が90度の時点と比較すると、各群とも足関節は10度前後伸展されていたが、各群のトレーニングによる変化パターンは、膝関節90度の時点と類似していた。pre-Tとpost-4間の足関節の平均値では、E.st. ($t=4.036$), E.ch. ($t=3.194$)群に、5%水準で有意な差が認められた。

膝関節の最大屈曲時、90度伸展時、120度伸展時における足関節角度はトレーニングを経るに従って、総合的にみると、E.st.群、C.st.群、E.ch.群、C.ch.群の順に減少する傾向が認められた。

図6は、E.st.群の同一被験者のpre-Tと、post-4時の筋電図である。

post-4において足関節では、足裏での水のキャッチのために足背屈に働く前脛骨筋の顕著な放電が、リカバリー期からキック期初期にかけて認められるようになり、キック期中頃からグライド期にかけては、アップキック時に水の持ち上げに働く腓腹筋の強い持続放電が認められるようになった。つまり、pre-Tと比較すると、平泳ぎらしい足関節の動作が可能になり、足裏での水のキャッチもできるようになったものと考えられる。膝・股関節についてみるとpost-4では膝伸展に働く、内側広筋、大腿直筋の顕著な放電がキック期直前に認められるようになり、股関節伸展に働く大腿二頭筋もキック期にかなり強く、かつ持続する傾向が認められるようになった。pre-Tでは放電のほとんど認められなかった大殿筋においても、post-4ではキック期直前からはじめにかけ強い放電が認められた。これら膝・股関節筋のpost-4における放電はいずれも、足背屈によって足裏での水のキャッチがなされるようになったために、骨盤を固定し、膝・股関節に負荷がか

E · st.

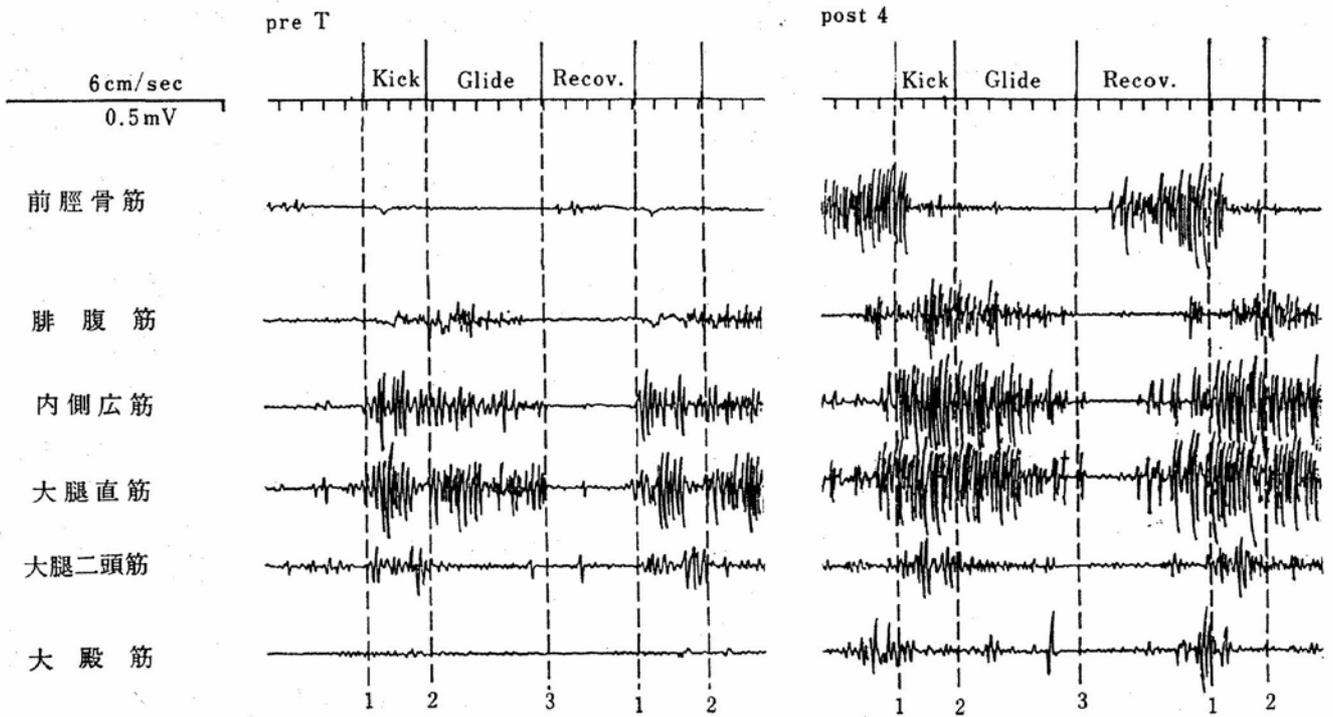


図6 pre-T と post-4 における E·st. 群の筋電図例

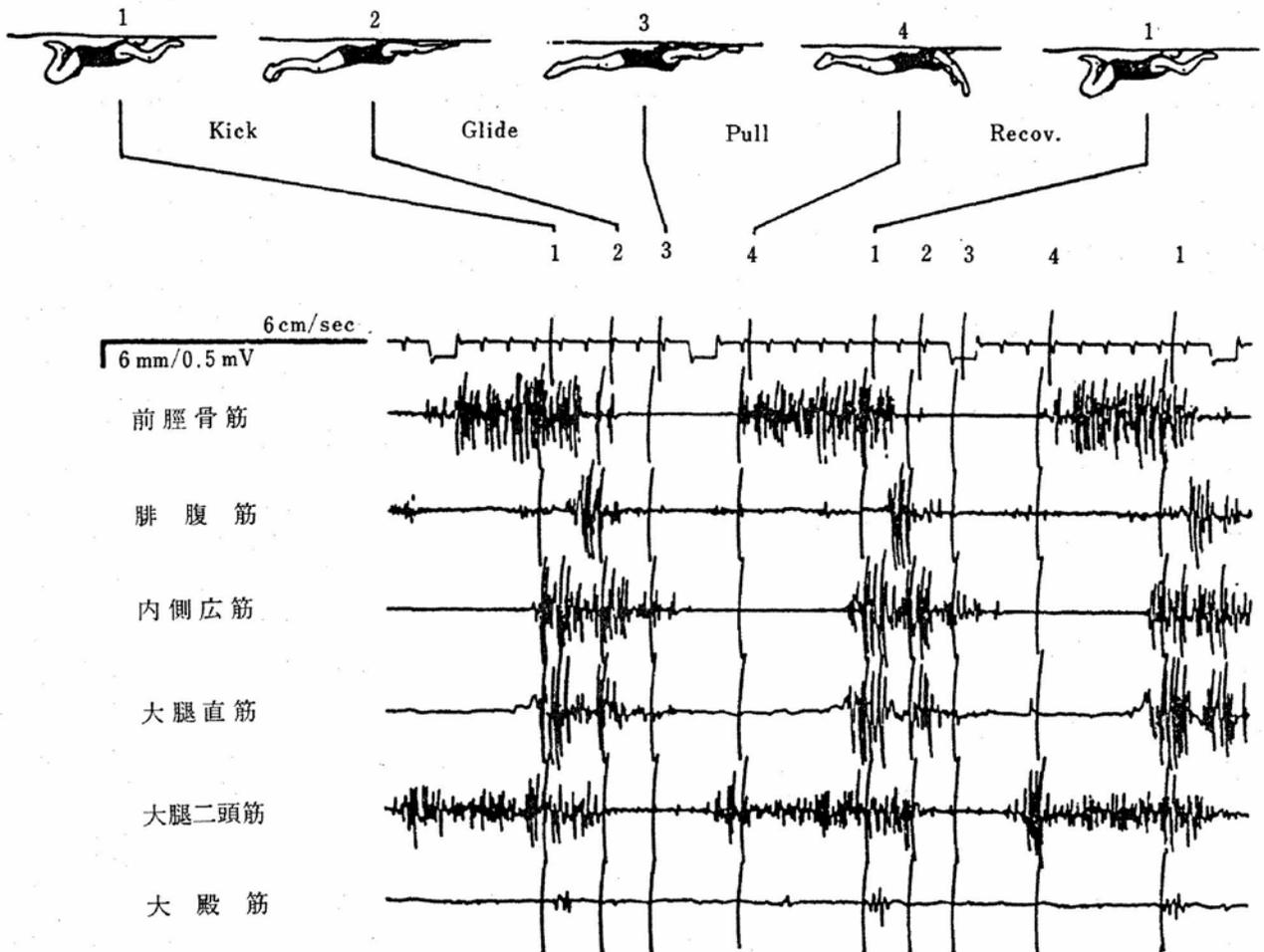


図7 平泳ぎトップスイマー筋電図

かった状態で積極的な伸展を行なうために働いているものと考えられる。

図7は、平泳ぎのトップスイマーが力泳した時の足関節筋の節電図を示したものである (Yoshizawa et al., 1978)。

足背屈に働く前脛骨筋の顕著な放電が、リカバリー期初期からキック期後半まで持続するのがトップスイマーの特徴である、と述べている。また、キック期での前脛骨筋の顕著な放電は、未熟練者から熟練者になるに従って後半まで持続したと報告している (Yoshizawa et al., 1976)。このように、前脛骨筋のキック期における放電の持続パターンは、平泳ぎのキックにおける足関節動作の習熟程度をみる一つの指標となりうるものと考えられる。

そこで、第2実験で記録された前脛骨筋の放電パターンをキック期における終了時期によって、図8に示したように、イ～ホの5種類に分類した。

図9は、pre-T と post-4 のそれぞれの時期に出現した放電パターンの割合を群別に示したものである。

pre-T において、キック期に前脛骨筋に顕著な放電の認められないイおよびロのパターンは、st 群では E, C とともに50%を占め、ch 群ではすべてのトライアルがこのパターンであった。

post-4 になると、これらのパターン(イおよびロ)は E・st 群においては全くみられなくなり、他の3群においてもキック動作中を通じてほとんど放電の認められないイのパターンはみられ

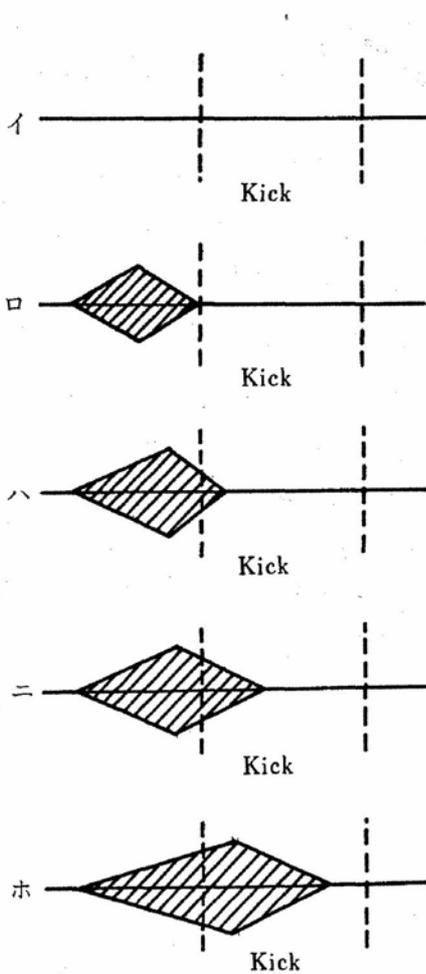


図8 放電パターンの模式図

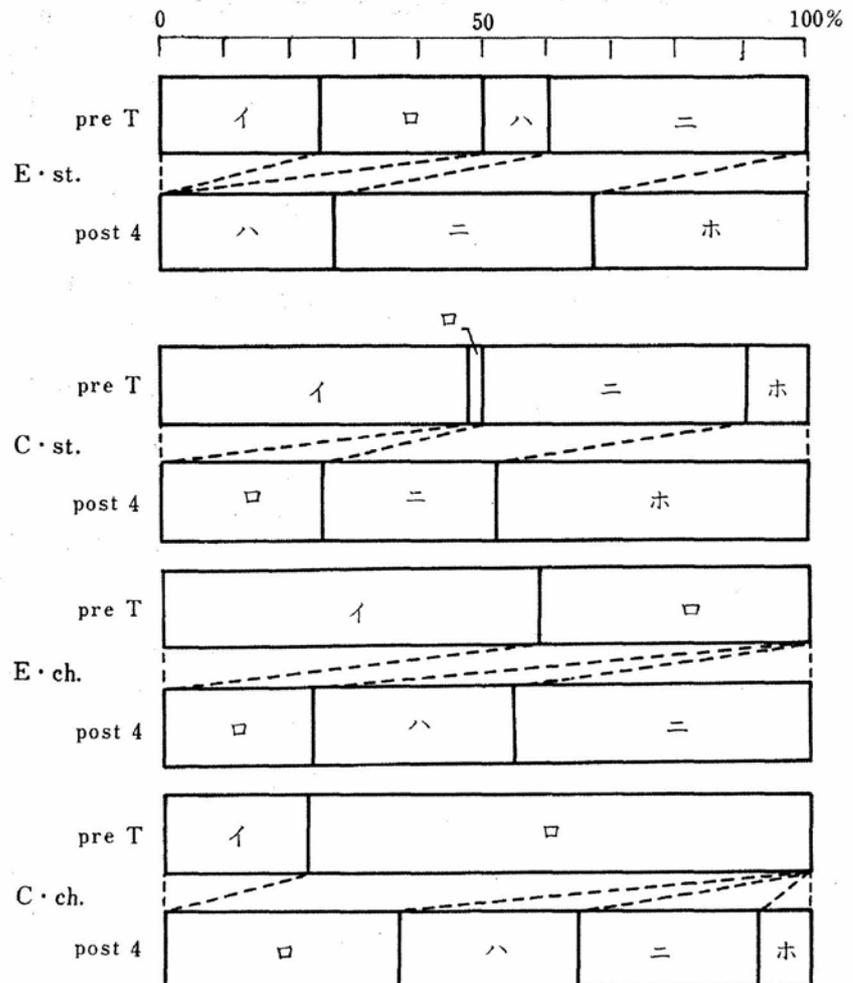


図9 放電パターンの群別割合

なくなった。また、ロのパターンも C・st. で 25%、E・ch. で 23%、C・ch. で 35%と著しい減少が認められた。

この結果、キック期に顕著な放電の認められるパターン（ハ、ニ、ホ）は、post-4 には E・st. で 100%に、C・st. で 75%に、E・ch. で 77%に、C・ch. で 65%になり、E 群により多く出現する傾向が認められた。ホのパターンについてみると、pre-T から post-4 にかけて、E・st では 0%が 33%に、C・st. では 10%が 48%に、C・ch. では 0%が 8%にと増加がみられたが、E・ch. ではないずれの時期においても全く認められなかった。

これらの前脛骨筋の放電パターンからみると、E 群はトレーニングによって st., ch. ともに顕著な放電が、少なくともキック期には多くみられるようにはなるが、熟練者にみられるキック後半まで足背屈位を保持した有効なキック動作は、トレーニング後でも、C 群よりも少ないものと考えられる。

この第 2 実験における筋電図の記録は、フィードバック・トレーナをはずした後に行なった点を考慮すると、このトレーナによるフィードバック・トレーニングは、基本的な足背屈動作の習得には適しているが、キック期の後半まで積極的に足背屈を保持させるためには、フィードバックトレーニングの後に、トレーナーを用いないトレーニングを加えた方がより効果的ではないかと考えられる。

4. ま と め

平泳ぎのキックにおいて推進力を得るうえで重要な足関節の背屈動作を習得させるために、平泳ぎ未習得の大学生および小学生を対象として、従来の指導者の視覚的情報をもとにした指導者による動作矯正トレーニングを行なう群（C）と、従来の指導法に加え、足関節角度を検出・評価し、直接被験者に対し、即時に聴覚情報としてフィー

ドバックするトレーニングを同時に行なう群（E）のトレーニング前後の足関節の角度変化ならびに筋電図パターンから、平泳ぎのキック動作矯正における聴覚的フィードバック・トレーニングの効果について検討を行なった結果、以下の点が明らかとなった。

(1) E 群、C 群ともに、トレーニング後は足関節角度は小さくなり、足背屈位を保ってキック動作が行なえるようになった。この傾向は、C 群より E 群に早期に認められた。しかし、E 群では 4 回目のトレーニング前では、3 回目のトレーニング後より足関節角度が大きくなる傾向を示した。

(2) トレーニング後は E 群・C 群とも、下肢筋群に積極的な脚伸展を示すパターンが認められたが、キック期の足裏での水のキャッチに働く前脛骨筋の放電パターンを指標として習熟の程度をみた場合、E 群では C 群に比較してキック期に放電の認められる試行が多くなったが、強い放電が後半まで持続するパターンは C 群に多く認められた。

以上、E 群および C 群の足関節角度変化ならびに前脛骨筋の放電パターンからみて、足背屈動作習得における初期段階では今回、E 群に行なったフィードバック・トレーニングを加えた方法は、C 群に行なった従来の指導法に比較して、有効なトレーニング方法になり得ることが明らかとなった。しかしながら、E 群は、トレーニング中にはトレーナからの聴覚的フィードバック情報に依存する傾向が認められることから考え、これらのトレーニング効果をより確実に定着させるためには、E 群に行なったトレーニング法と C 群に行なったトレーニング法を併用した方がよいのではないかと考えられる。

今後さらに長期にわたる追跡を行ない、トレーニング効果について分析・追求してゆく必要がある。

本研究の遂行にあたり、被験者抽出に対する有益な助言ならびに長期間にわたって実験場所を提供いただいた福井スイミングスクール上野千秋理事長、荒矢辰雄ヘッドコーチに深く感謝いたしますと共に、実験に際してご協力いただいた棗小学校中田久美子先生、成器西小学校油谷精三郎先生はじめ福井大学教育学部保健体育科、水泳部の諸君ならびに被験者として長期間ご参加いただいた多くの方々に謝意を表します。

文 献

- 赤木稔ら；バイオフィードバック技術の臨床的応用, *精神医*, **15**, p. 220—229 (1975)
- Brundy, J., Grynbaum, B.B., and Korein, J.; Spasmodic torticollis: treatment by feedback display of EMG, *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **55**, p. 403—408 (1974)
- Carpenter, A.; A Study of angles in the measurement of the leg lift, *Res. Quart.* **9**, p. 370—372 (1938)
- Counsilman, J.E.; *The science of swimming*, Prentice-Hall (1970)
- Lindeburg, F.A.; Leg angle and muscular efficiency in the inverted leg Press, *Res. Quart.* **35**, p. 179—183 (1964)
- 岡本勉, 徳山広, 吉澤正尹, 小平明子, 辻野昭, 熊本水瀬; 幼児の水泳の筋電図的研究, *身体運動の科学II*, 杏林書院, p. 115—126 (1976)
- 岡本勉, 吉澤正尹; 泳運動の習熟, *身体運動の制御*, 杏林書院, p. 189—206 (1980)
- Swaan D., Van Wieringen, P.C.W., and S.D. Fokkema.; Auditory electromyographic feedback therapy to inhibit undesired moter activity, *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **55**, p. 251—254 (1974)
- Yoshizawa. M., H. Tokuyama, T. Okamoto, M. Kumamoto; Electromyographic study of the breaststroke, *BIOMECHANICS V-B*, University Park Press, Baltimore, p. 222—229 (1976)
- Yoshizawa. M., T. Okamoto, M. Kumamoto; Effects of EMG-biofeedback training on swimming, *BIOMECHANICS VIII-B*, University Park Press, Baltimore, p. 828—832 (1983)