

水泳トレーニング法に関する研究

－テザード泳の有用性について－

A study on the swimming training method

－utility of tethered swim－

北川 幸夫¹⁾ 柴田 義晴²⁾ 原 英喜³⁾

Yukio KITAGAWA, Yoshiharu SHIBATA and Hideki HARA

Abstract

The purpose of this study was, through investigating the exercise characteristics of tethered swimming, a type of stationary swimming, to clarify the problems in utilizing tethered swimming as an endurance training method and to develop a new swimming training method. To do so, 5 female competitive college swimmers were selected as subjects and had them do tethered swimming with fixed traction load, traction time, and repetition count. The heart rate (HR) and blood lactate accumulation as physiological indexes and rating of perceived exertion as a perceptual index were questioned. Also motions recorded by video tape recorder and electromyogram (EMG) for the stroke mechanics during tethered swimming were analyzed. As a result, the characteristics of tethered swimming and the efficacy of swimming as endurance training were obtained as follows:

- 1) The HR of Interval by tethered swimming (IST) at the traction load of 6kg in 10 sets of 50m swimming (35-sec. swims and 20-sec. breaks) showed significantly higher as $p < 0.05$ compared with FS though it transitioned steady after the third time. The traction loads at 6kg was 50.4% of MTF (maximum tractional force).
- 2) IST loaded with 6kg traction load showed the load at which improvement in endurance can be anticipated in both physiological indexes (HR: 155.2 ± 4.5 bpm, BLA: 2.9 ± 0.2 mmol/L) as well as perceptual indexes (RPE: 13.2 ± 0.9).
- 3) SR (stroke rate), SL (stroke length), LAH (Length of wrist and hip) and BL (Body leaning) during IST showed a slight difference but not significant compared with FS (Free Swimming) and almost steadily transition after the third time. IST did not seem to cause a disruption of stroke mechanics in the aspect of EMG.
- 4) As for 4ST, the traction loads at 4kg and 5kg showed physiological (HR: 153~174 bpm, BLA: 3.0~7.1 mmol/L) and perceptual (RPE: 12.6~17.6) exercise strengths, which could anticipate improvement in endurance at the same time. 4ST, the traction loads at 5kg showed the tendency of gradual increase due to the fact that the exercise strengths did not reach a steady position.
- 5) In the aspect of EMG, 4ST did not seem to cause the disruption of swimming in any of the trials though it suggested the presence of load that was approximate FS in between 4kg and 5kg of traction loads caused by fluctuation of SR, SL, LAH and BL.
- 6) In 4ST, there was a general trend among all subjects: observance of OBLA-Load at the traction load of 4.22kg. OBLA-Load accounted for 35.1% of MTF.

The above findings suggested that, in tethered swimming, depending upon the setting of traction load, it was possible to establish the exercise strength that could expect endurance effects without breaking the stroke mechanics. Also suggested was the possibility that the appropriate traction load could be obtained from the maximum traction force. Thus, with tethered swimming, it is possible to set the appropriate load according to the swimming level, and therefore, tethered swimming can be utilized as a swimming training method for a wide range of competitive swimmers.

keywords : Stationary tethered swim, Swim training method, Physiological and perceptual indexes, Stroke mechanics, Utility.

I. はじめに

今日、水泳トレーニングの際、テザード泳を利用したトレーニングが行われている。このテザード泳は、1930年代¹⁰⁾には水泳のトレーニング法の一つとしてす

1) 日本女子体育大学 (助教授)

2) 東京学芸大学 (教授)

3) 國學院大學 (教授)

で行われていたが、1960年代に入ると陸上の筋力トレーニングが水泳の運動特性とは異なるものとして¹⁾¹⁸⁾、水泳の水中における筋力トレーニングとして用いられるようになった。また最近では、テザード泳については、通常の泳ぎ方とは異なる筋活動ではないかと指摘⁹⁾¹⁴⁾する論文も見られるようになった。その一方で、水泳が一般的に楽しめるようになる中、水泳の身体的効果の指標を見出すためにテザード泳が水中のエルゴメーターとして活用されるようになり²⁾⁶⁾⁷⁾¹⁴⁾¹⁹⁾²⁰⁾、その結果水泳・水中運動の生理学的特性、すなわち有酸素的運動の解明に大きな貢献を果たしてきた。このようにして、テザード泳時の筋活動が神経支配の面で指摘され、むしろ持久的トレーニングに視点が向けられるようになっていくことができる。しかしながら、現在のところ、テザード泳を持久的トレーニングとして活用するための研究報告は、著者らが文献を渉猟した範囲では見あたることができなかった。したがって、持久的トレーニングを目指して用いられるテザード泳が、通常の泳ぎ方とどのように類似し、あるいは異なっているのか検討してみる必要がある。そのため、テザード泳には、レジステッド泳(進行の反対方向に牽引されながら泳ぐこと)、アシステッド泳(進行方向に牽引されながら泳ぐこと)、およびその場泳ぎ(牽引されながらその場で泳ぐこと)の三種類に分けられるが、これらのテザード泳の中で定量的に負荷を加えて泳がせながら水泳の持久的トレーニングの可能性を有することが推測されるその場泳ぎのテザード泳の検証を試みることにした。

そこで、本研究は、その場泳ぎのテザード泳を水泳の持久的トレーニング法として活用するため、その場泳ぎの運動特性を調査することによって通常の泳ぎ方と比較し、通常の泳ぎ方と同様なその場泳ぎのテザード泳を見出し、新たな水泳の持久的トレーニング法の

開発を目的とした。そのため、大学女子水泳選手を対象に、牽引負荷、牽引時間、反復回数を定めたその場泳ぎのテザード泳を行わせ、生理的指標として心拍数および血中乳酸濃度を、知覚的指標として主観的運動強度について調査し、またテザード泳時のストローク・メカニクスについて分析を試みた。

II. 方法

テザード泳の調査は、T大学プール(気温:28~33℃、水温:28~30.5℃)において心拍数、血中乳酸濃度、主観的運動強度、ストローク・メカニクスについて行った。被検者は、T大学女子水泳部員で日本学生水泳選手権大会出場者5名を対象とした。被検者の身体的特性についてはTable 1に示した通りであった。Fig. 1は、測定のプロトコールを示したものである。インターバル・テザード泳および4分間テザード泳の各試技は、Fig. 2の要領で泳者のベルトに取り付けた牽引器具からプール壁まで伸ばしたゴム管(外径9mm、内径3mm、長さ3m)を牽引しながら泳ぎ、少なくとも1時間以上の休憩を挟んでそれぞれを実施した。

また、テザード時の筋活動の調査については、インターバル・テザード泳および4分間テザード泳時の筋電図測定を行った。

1. 試技条件

1) フリー泳

フリー泳(以下、FSという)は、テザード泳が牽引した泳ぎであるのに対して通常の泳ぎ方を意味するもので、クロール泳法で50mを35秒で泳ぎ、20秒間の休憩を挟んだ55秒サイクルのインターバルを10回繰り返させた。フリー泳の試技は、先行研究²¹⁾に基づき、インターバル中の心拍数が135~160bpmの間を変動し、か

Table 1 Physical Characteristics of the Subject

Subject	Height (cm)	Weight (kg)	Age (years)	Rest HR (bpm)	50mCr (sec)	100mCr (min, sec)	400mCr (min, sec)	MTF (kg)
A	163.0	57.8	18	64	29"5	1'03"5	4'22"3	11.4
B	165.0	56.0	19	68	27"9	1'02"3	4'45"0	13.1
C	159.5	48.0	19	62	29"0	1'03"2	4'45"0	11.6
D	166.0	58.0	20	64	29"5	1'03"4	4'50"0	11.5
E	157.0	47.0	19	62	28"6	1'02"6	4'52"0	12.2
X±S.D.	162.1 ±3.8	53.4 ±5.3	19.2 ±1.3	64.0 ±2.4	28"9 ±0"7	1'03"0 ±0"3	4'42"8 ±11"5	11.9 ±2.8

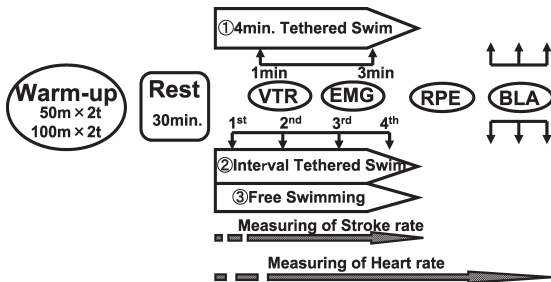


Fig. 1 Protocol of experiment

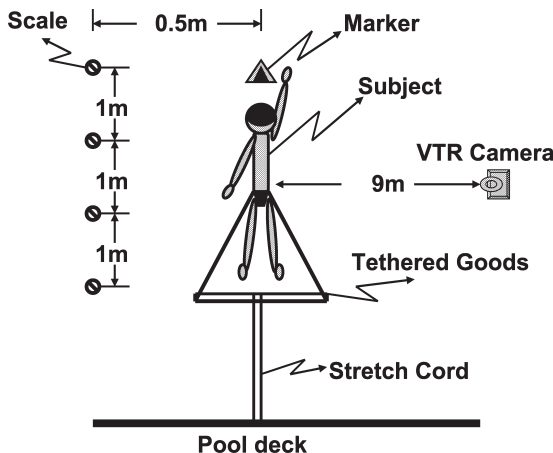


Fig. 2 Graphical representation of tethered device allowing for tethered swimming.

つ血中乳酸濃度の変動により有酸素的運動として判断された範囲であったことにより設定した。

2) インターバル泳

テザードによるインターバル泳(以下、IST という)では、牽引負荷を伴いながらクロール泳法で50mを35秒で泳ぎ、20秒間の休息を挟んだ55秒サイクルのインターバルを10回繰り返させた。牽引負荷は、事前調査により心拍数、血中乳酸濃度、RPEの指標から有酸素的運動が可能な6kgの負荷に設定することとし、その負荷が得られる水底の位置にマーカーを置きそれを定位置確保の目安として泳がせた。テザードによるインターバル泳の試技時間は、FSの運動時間および休憩時間と同様に設定した。

3) 4分間泳

テザードによる4分間泳(以下、4ST という)では、牽引負荷が3kg、4kg、5kgとなる位置にマーカーを設定し、それを目安に4分間継続的に泳がせた。泳時間を4分間とした設定理由は、漸増負荷試験における

血中乳酸濃度が定常状態に至るまでの時間については種々論議されているが、4分間の運動負荷によっても血中乳酸濃度の定常値の推定が可能であるとした意見²³⁾に基づいて設定したものである。また、牽引負荷3kg、4kg、5kgを設定したのは、ISTの場合と同様に先行研究²¹⁾に基づいて算出したもので、これによってISTを実施する場合に有酸素的運動の適正範囲にあることが推定されたことが根拠となる。

4) 調査・測定項目

調査および測定は、最大牽引力、心拍数、血中乳酸濃度、主観的運動強度、ストローク・メカニクスについて行った。

① 最大牽引力

最大牽引力(以下、MTFという)は、最大努力で泳いだ際、端壁につないだゴム管と泳者の腰に取付けた張力を測定し、開始後2ストローク目から一定した泳ぎができなくなるまでのストロークの牽引変動の高位値と低位値を読みとり、その平均値によって表示した。各試技は、15分間の休息を挟んで2回ずつ行わせ、数値の高い方を測定値として採用した。牽引力は、バネばかりの指針の動きをビデオカメラで撮影し、映像録画のコマ送りによって読みとった。

② 心拍数

心拍数(以下、HRという)は、胸部双極誘導法の心電計(フクダ電子製:DS=504)および送信機(フクダ電子製:LX=3220)を用いて、ウォームアップ終了時から各試技終了後6分間をモニターし、計測した。

③ 血中乳酸濃度

血中乳酸濃度(以下、BLAという)は、安静時および4STの終了後1分、3分、5分目に被検者の指尖部から湧出した血液をペーリンガー・マンハイム社製の簡易乳酸測定器アクスポーツを用いて調べた。

④ 主観的運動強度

主観的運動強度(以下、RPEという)は、試技終了直後に日本語表示のBorg¹⁶⁾のRPE Scale表を用いて表示させた。

⑤ ストローク・メカニクス

ストローク・メカニクスについては、ストローク頻度、ストローク長、手股関節長および体傾斜角について調査を行った。

ストローク頻度(以下、SRという)は、VTR映

像をクロノストローク (Nielsen-Kellerman 社製) を用いて計測した。ストローク長(以下, SL という)は手関節点の入水時から離水時までの長さを計測し, 手股関節長(以下, LAH という)は離水時の手関節点と股関節点との長さを計測した。体傾斜角(以下, BL という)は, 最も体の傾斜角が大きくなる呼吸時の頸部と腰部を結ぶ線が水面となす角度を計測して求めた。なお, これらの調査項目のサンプルは, FS および IST では各回終了前の 5 秒間, 4 ST では 1 分経過毎にその直前の 5 秒間から導き出した。

⑥ 筋電図

筋電図(以下, EMG という)は, DKH 社製の有線式 EMG 測定器を用い, IST および 4 ST 時における上腕二頭筋(左・右)と上腕三頭筋(右)の筋活動について測定を行い, 較正電圧を 0.5mV, ペーパー速度を 1.88cm/sec で表示した。また, IST では偶数回目の試技を対象にサンプリングし, 4 ST では 35%MTF の牽引負荷により最終の 30 秒間を対象にサンプリングした。なお, 筋電図と映像の同期には, DKH 社製のタイムチェッカーを用いてスト

ローク中の右手入水時毎にスイッチボタンを押し, そのパルスを筋電図上に導出させて同期した。

⑦ 統計処理

FS, IST および 4 ST の BLA, RPE, HR, SR, SL, LAH, BL については平均値および標準偏差を求めた。水泳条件等による差の検定は, SL, LAH では Student's T-test を用い, HR, SR では一元配置分散分析および多重比較法を用いて検定を行った。なお, 有意差の判定は危険率 5%未満を有意水準とした。

III. 結 果

1. MTF

MTF は, 被検者の最大努力泳時における高位牽引値と低位牽引値の平均値により表示したが, その結果は Table 1 に示した通りであった。なお, 被検者全体の高位牽引値の平均は 15.7±0.7kg, 低位牽引値の平均は 8.1±0.8kg で, MTF は 11.9±2.8kg であった。

Table 2 Data of BLA, RPE, SR, SL, LAH and BL during swimming using tethered device.

Items Condition	BLA (mmol/l)	RPE	HR, 1min (bpm)	HR, 2min (bpm)	HR, 3min (bpm)	HR, 4min (bpm)	SR (tpm)	SL (cm)	LAH (cm)	BL (°)
FS (35"1±0"5)	2.5 ±0.6	12.6 ±0.8	142.8 ±3.6	—	—	—	35.8 ±4.2	108.4±8.6 ~ 106.2±6.3	4.9±1.7 ~ 5.6±1.5	14.0 ±2.4
IST (35"0)	2.9 ±0.2	13.2 ±0.9	※ 155.2 ±4.5	—	—	—	34.1 ±3.3	97.8±4.7 ~ 96.1±5.1	7.8±2.8 ~ 8.2±3.2	18.8 ±1.5
3 kg 4 ST	1.8 ±0.3	9.0 ±0.7	117.3 ±4.5	○ 132.1 ±4.4	○ 136.2 ±6.5	○ 136.4 ±6.5	27.5 ±3.4	105.0±5.0 ~ 102.0±4.3	4.1±1.5 ~ 5.7±2.8	15.2 ±2.6
4 kg 4 ST	▲ 3.0 ±0.6	▲ 12.6 ±0.6	138.2 ±6.8	○ 147.4 ±5.2	○ 153.1 ±7.5	○▲ 153.3 ±7.5	31.2 ±0.6	108.1±4.4 ~ 106.8±3.0	5.2±3.0 ~ 6.8±2.8	18.3 ±1.2
5 kg 4 ST	◆ 7.1 ±2.5	◆ 17.6 ±0.9	149.1 ±3.3	○ 162.2 ±6.6	○ 167.2 ±6.1	○◎◆ 174.3 ±8.3	▲ 33.9 ±1.4	100.8±5.3 ~ 99.5±5.5	5.5±2.4 ~ 7.8±3.5	19.1 ±1.1

※ : Significantly different from FS
 ○ : Significantly different from 1st min.
 ◎ : Significantly different from 2nd min.
 ▲ : Significantly different from 3 kg 4 ST
 ◆ : Significantly different from 4 kg 4 ST

Significantly different : p<0.05
 BLA : Blood lactate accumulation
 SL : Stroke length
 RPE : rating of percieve exertion
 LAH : Length between arm-wrist and hip
 SR : Stroke rate
 BL : Body leaning

2. 各試技におけるBLA, RPE, HR

Table 2は、FS, ISTおよび4 STの測定結果を示したものである。FSおよびISTともに10回のインターバル泳を通してほぼ安定したSRを示しているが、運動強度を示すBLA, RPE, HR(135~160bpm)ではFSに比べてISTの方がやや高くなる傾向が見られた。また、Fig. 3は、IST中のHRとSRの変動を示したものであるが、インターバルを通してほぼ一定した変動を示しており、HRが3回目からはほぼ定常状態(試技直後:155~165bpm, 試技直前:135~145 bpm)が見られた。

4 STは、牽引負荷が増す毎にBLA, RPE, HRが上昇し、特に牽引負荷5 kgの4 ST(以下、5 kg 4 STという)では上昇傾向が顕著であった。SRでは、段階的に4 PTの牽引負荷3 kg, 4 kg(以下、それぞれ3 kg 4 ST, 4 kg 4 STという)および5 kgSTの試技条件を見ると有意な上昇は認められなかったが、3 kg 4 STと5 kg 4 STの間に有意な差が見られた。また、Fig. 4を見ると3 kg 4 STと4 kg 4 STのHRが2

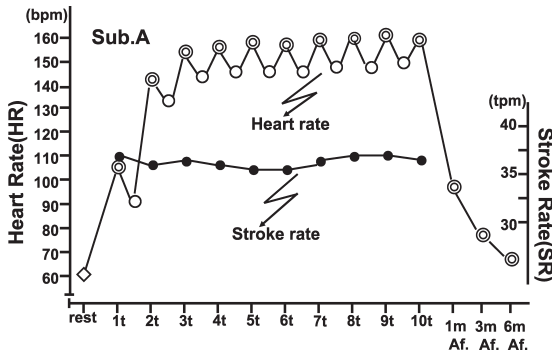


Fig. 3 Changes in HR and SR during interval tethered swimming

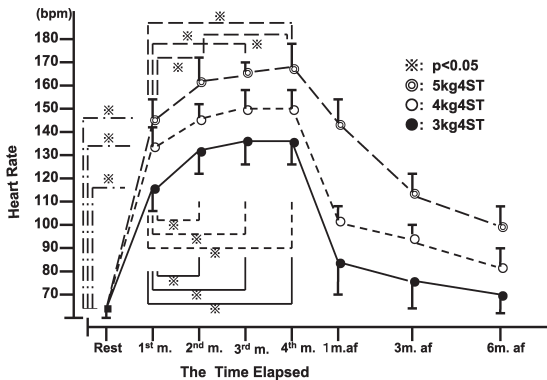


Fig. 4 The changing in HR during 4min. tethered swimming

分目から定常状態に至っていることが認められたが、5 kg 4 PT では上昇傾向が続く傾向が見られた。

3. 各試技のストローク・メカニクス

ストローク・メカニクスの調査結果は、SR, SL, LAH, BLについては同じく Table 2に示した通りであった。

SRについて見ると、FSとISTではほぼ同様の値が得られた。4 STのSRでは、牽引負荷の増加とともにやや上昇傾向が見られるものの段階的に見ると有意な差は認められなかったが、3 kg 4 STと5 kg 4 STの間に有意($P < 0.05$)な差が認められた。FS, 4 STおよびISTのSRは、3 kg 4 STを除き、FS, 4 kg 4 ST, 5 kg 4 ST, ISTにおいてほぼ同様傾向を示した。

SL, LAHは、いずれの試技間あるいは試技中の変化においても有意な差は認められず、最もFSに近似した試技は4 kg 4 STであったが、牽引負荷の増大とともにSLがやや短くなり、LAHがやや長くなる傾向が見られた。BLは、いずれの試技間においても有意な差は認められなかったが、FSに比較して体の傾斜(後傾)がやや大きくなる傾向が見られた。なお、SL, LAHにおいて最もFSに近似した試技は3 kg 4 STであった。

4. EMG

EMGについては、Fig. 5-1~5-3に示した通りで

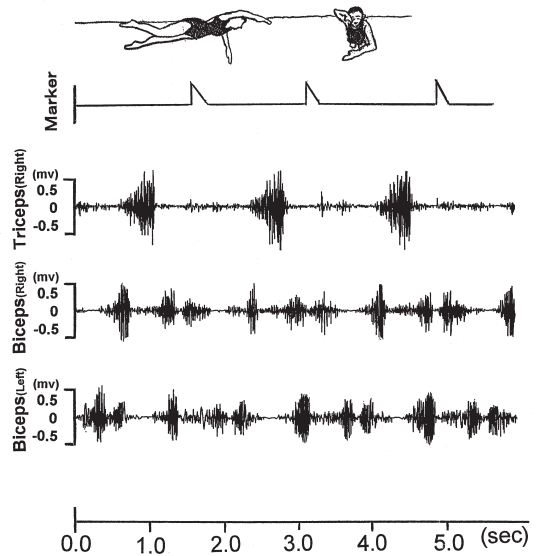


Fig. 5-1 EMG measurements during FS (FS: Free Swimming)

IV. 考 察

テザード泳を水泳の持久的トレーニング法の一つとして活用するためには、テザードという水泳条件がストローク・メカニクス（以下、SMという）に及ぼす影響とその消長について検証し、またテザード泳の設定が持久力の向上に効果的であるか否かの検証が必要である。そこでまず、テザード泳時のSMの変化について検討を試みるため、SMを構成するSR（ストローク頻度）、SL（ストローク長）、LAH（手股関節長）、BL（体傾斜角）の変化、そしてEMG（筋電図）により筋の活動機序および放電様相について検討を試みた。

IST（インターバル・テザード泳）は、牽引負荷6kgにより休息20秒間を挟んだ30秒間泳を10回反復するインターバル泳であったが、SR、SL、LAH、BLおよび筋の活動機序や放電様相のいずれの項目においてもほぼ安定的に推移し、いずれの項目においても反復回数による変化に有意な差は見られなかったが、筋放電圧ではFS（フリー泳）と比較してやや高くなる傾向が見られた。また、ISTでは、4STの各試技に比べてSLが短く、LAHが長く、かつBLが大きくなる傾向が見られたが、これはISTの牽引負荷50.4%MTF（最大牽引力）が4STの各試技の牽引負荷3kg、4kg、5kg（それぞれMTFの約25%、33%、41%）に比べて大きかったことによるものと考えられる。いずれにしても、ISTでは、設定した反復回数によって持久的向上が期待できる運動強度で定常的に行えることやその際SMがFSに近似した状態で行うことが可能であり、かつISTの負荷設定の際にはMTFの50%程度の牽引負荷を目安に導き出すことが有効であることが示唆された。このことは、男女差の違いが多少あるものの、ほぼ同様の結果が導かれた先行研究²¹⁾と一致するところでもある。

4ST（4分間テザード泳）では、牽引負荷の小さい試技ほどSL、LAH、BLがFSに近似しているが、牽引負荷が小さくなる程SRが小さくなる傾向を示し、特に3kg 4STと5kg 4STの間において有意な差（ $p < 0.05$ ）が認められた。また、各試技別に見ると牽引負荷の増加とともにSRが大きくなりFSに近似していくことが認められた。3kg 4STのような軽負荷の場合には、水底のマーカから体が前方へ逸脱するのを避けるため入水直後の腕を前方へ伸ばした形で時間調整しており、それによってSRが減少したものと考えられる。この点については、アシステッド泳に比

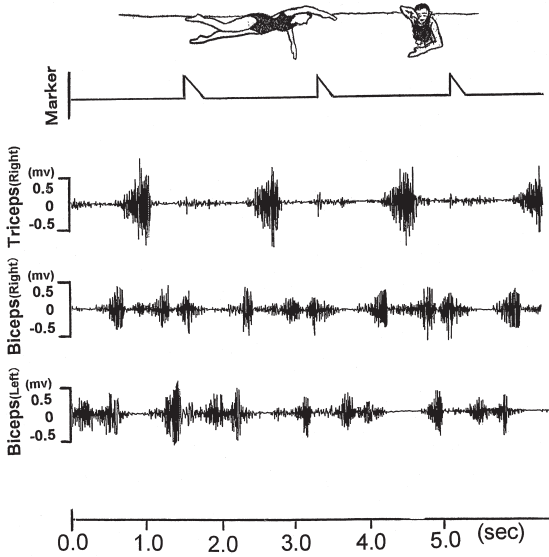


Fig. 5-2 EMG measurements during IST
(IST: Interval tethered Swimming)

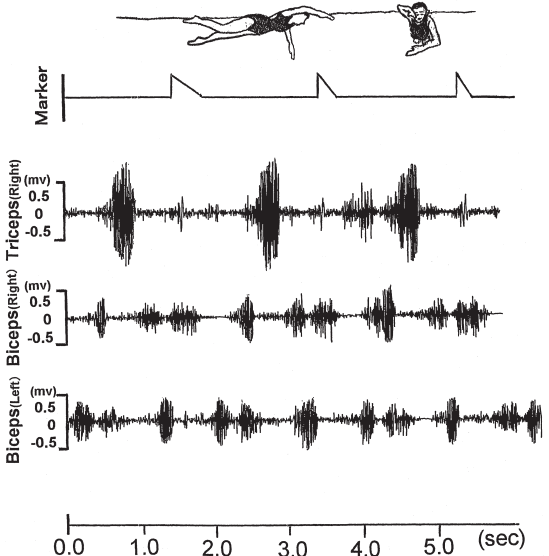


Fig. 5-3 EMG measurements during 4ST
(4ST: 4minute tethered Swimming)

あった。これらを見ると、FSと比較してISTおよび4STともに筋の活動機序や放電様相には顕著な変化は見られなかったが、4STでは1ストローク・サイクル中の筋活動時間がやや長くなり、上腕三頭筋の活動電位がやや強く働く傾向が見られた。なお、マーカとしたパルスは、被検者の右手入水時を示している。

較してレジステッド泳のSRが小さくなるとした報告¹¹⁾のように、FSに比べて5 kg 4 STでは手に加わる水抵抗の増加に抗するだけの時間を必要としたものと考えられる。また、OBLA-Load(約4.5kg)の4 STとFSのEMGを比較して見ると、活動機序にはほとんど変化が見られなかったが、1ストローク・サイクル中の各筋の活動電圧がやや高く、活動時間がやや長くなっていったことからSRの減少が確認できる。この点については、アシステッド泳に比較してレジステッド泳のSRが小さくなるとした報告¹¹⁾のように、FSに比べて5 kg 4 STでは手に加わる水抵抗の増加に抗するだけの時間を必要としたものと考えられる。いずれにしても、SMへの影響は、機能性を表すSRではFSに比較してやや小さいが3 kg 4 ST, 4 kg 4 ST, 5 kg 4 STへと大きく、フォームを表すSL, LAH, BLでは牽引負荷の増加とともに大きくなる傾向が見られる。したがって、機能性とフォームを崩壊することなく実施可能な4 STは、牽引負荷が4 kgから5 kgの間に至適値があるように思われる。なお、ISTおよび4 STのEMGから見た筋活動機序および筋活動様相がFSと顕著な差異は見られなかった点については、平泳ぎのブルによるテザード泳とFSのEMGの比較ではあるが、両者間に大きな変化は見られなかったとするKlaus Danielら⁸⁾の報告と一致するところでもある。

つぎに、テザード泳の持久的トレーニングとしての可能性については、持久的トレーニングに関する先行研究においてBLA, RPE, HRに関する種々の意見⁵⁾⁷⁾⁸⁾¹²⁾が見られ、本研究結果についてはそれら意見と論議させながら生理学のおよび知覚的な面から検討を加える。

まず、BLAは、C. Colwin⁵⁾, D. Pyne¹⁷⁾ら、あるいはE. Maglisch¹¹⁾が持久的トレーニングに対応するBLAはほぼ 4 ± 2 mmol/Lの範囲にあるとしているが、本研究においてその範囲を示した試技はIST(3.0 ± 0.6 mmol/L)および4 kg 4 ST(2.9 ± 0.2 mmol/L)の二試技であり、3 kg 4 STでは低く、5 kg 4 STでは高くなって持久的トレーニングの条件を満たすものとはならなかった。

RPEは、FS(12.6 ± 0.8), IST(13.2 ± 0.9)および4 kg 4 ST(12.6 ± 0.6)の各試技では、BLAに対応させることによってRPEの持久的トレーニングとしての可能性を示唆した野村らの報告¹⁵⁾、あるいは持久的トレーニングに対応したRPEは13~15で「ややき

つい」~「きつい」レベルであるとしたColwin⁵⁾やMaglisch¹¹⁾の意見とはほぼ同様な値を示した。しかしながら、3 kg 4 STおよび5 kg 4 STの場合は、こうした持久的トレーニングの条件から大きく外れており、その意味においては持久的トレーニングとして十分な条件を整えていないものと考えられる。

HRは、C. Colwin⁵⁾, J.E. Counsilman⁷⁾、あるいはD. Pyne¹⁷⁾らが持久的トレーニングとしての可能性を有するHRの変動幅はおよそ130~170bpmであると指摘しているが、分散分析および有意差検定の結果3 kg 4 STの1分目、5 kg 4 STの4分目を除くほとんどの試技においてほぼ同様な変動幅(130~170bpm)にあり、その意味で持久的トレーニングとしての一条件を満たしているものと考えられる。

つぎに、これらの生理学的、知覚的指標を試技別に検討を加えた。まずISTでは、Fig. 3に示したように一定水準のHR, SRが安定的に推移している点や、BLA, RPEが持久的トレーニングとして可能な範囲にある点を考えれば、6 kg (MTFの50.4%)負荷によって泳時間、休息时间あるいは反復回数が増減によってさらに持久的トレーニングとして適切な強度を見出すことが可能であると考えられる。したがって、持久的トレーニングとして有用と考えられる4 STは、Fig. 4に示したように2分目以降にHRが定常状態を示した3 kg 4 STおよび4 kg 4 STと、BLA, RPEおよびHRにおいて持久的トレーニングの可能性を有する運動強度を示した4 kg 4 STであった。したがって、4 kg 4 STは、運動負荷の面で見ると他の2試技より効果的と考えられる。

最後に、テザード泳中のSMおよび生理学、知覚的变化を総合的に見ると、ISTでは牽引負荷を變えることによって運動強度が著しく変化してSMの崩壊を招くことも考えられるが、個人に応じた適正負荷の存在を指摘する報告²¹⁾が見られるように、本研究においても同様に適正負荷の存在が確認できた。さらに、個々のMTFに対するIPT時の負荷比率が、いずれの被検者においてもほぼ同率(約50%)の値を示したことから、持久的トレーニングとして有効なISTの負荷設定には個々のMTFの測定により求められる可能性が示唆された。また、4 STでは、牽引負荷を變えることによってより適正な持久的トレーニングの設定が可能であるが、Fig. 6のように4 kg 4 STと5 kg 4 STの牽引負荷を結ぶ線と4 mmol/Lの線が交わる点、すなわちOBLAレベルのトレーニングの実施が可能な

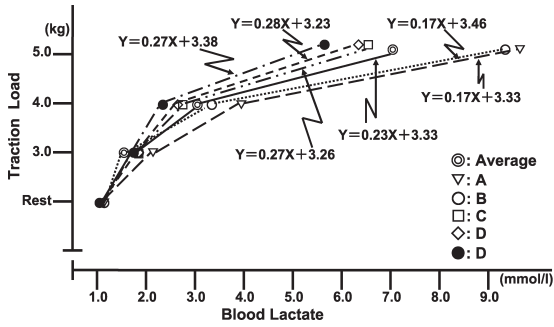


Fig. 6 The changing in BLA during 4min. tethered swimming

負荷量 (OBLA-Load: 4.26kg) を導くことができた。4.26kg は MTF の約 35% であることを考えれば、MTF の測定値に 35% を乗じることによって OBLA-Load レベルの運動負荷が求められることが可能であることを示唆している。OBLA-Load レベルのトレーニングは、身体に過度の負担をかけない²¹⁾²³⁾ことやトレーニング効果を把握するための指標¹²⁾¹³⁾¹⁹⁾にもなり得ることから、その場泳ぎのテザード泳は適切な牽引負荷を設定することによって、種々のインターバルトレーニング (例: 35秒テザード泳+15秒休息×10セット) やロング (時間) 泳 (例: 4分間テザード泳) 等、水泳における有用な持久的トレーニング方法になり得るものと考えられる。

V. 要 約

本研究は、ST (その場泳ぎのテザード) 泳の運動特性について調査を行うことによって水泳の持久的トレーニング法として活用するための問題点を明らかにし、水泳トレーニング法の開発を図ることを目的とした。そのため、大学女子水泳選手を対象に牽引負荷、牽引時間、反復回数を定めたその場泳ぎのテザード泳を行わせ、生理的指標として心拍数および血中乳酸濃度、知覚的指標として主観的運動強度について調査し、またテザード泳時のストローク・メカニクスについて映像および筋電図様相 (活動電位、活動時間) の分析を試みた。その結果、以下に示したようなその場泳ぎのテザード泳の特性や水泳の持久的トレーニングへの有効性が考えられた。

1) 牽引負荷 6 kg の IST (インターバル・テザード泳) の HR は、50m×10回 (35秒間泳+20秒間休息) のセット中、FS (フリー泳) に比較して有意 ($p < 0.05$)

に高かったが、3回目以降ほぼ定常的に推移した。なお、牽引負荷 6 kg は MTF (最大牽引力) の 50.4% であった。

2) 牽引負荷 6 kg の IST は、生理学的指標 (HR: 155.2 ± 4.5 bpm, BLA: 2.9 ± 0.2 mmol/L) および知覚的指標 (RPE: 13.2 ± 0.9) としていずれの調査項目においても、持久力の向上が期待できる負荷を示した。

3) IST の SR (ストローク頻度), SL (ストローク長), LAH (手股関節長), BL (体傾斜角) は、FS (フリー泳) に比較して多少の差異が見られるものの有意な差は認められず、3回目以降ほぼ定常的に推移した。また、EMG 様相の観点から IST が泳ぎの崩壊を招来するものではなかった。

4) 4 ST (4分間テザード泳) は、牽引負荷 4 kg と 5 kg において生理学的 (HR: 153~174 bpm, BLA: 3.0~7.1 mmol/L), 知覚的 (RPE: 12.6~17.6) 運動強度が持久力の向上が期待できる値を示したが、5 kg 4 ST では運動強度が定常に至らず漸増傾向を示した。

5) 4 ST は、EMG の様相からいずれの試技においも泳ぎの崩壊を招来するものではなかったが、SR, SL, LAH および BL の変動から牽引負荷 4 kg と 5 kg の間に最も FS に近似した負荷の存在が示唆された。

6) 4 ST では、被検者全員の傾向として牽引負荷 4.2 kg において OBLA-Load が見られた。OBLA-Load は MTF の 35.1% であった。

以上のことから、テザード泳は、牽引負荷の設定の仕方によってストローク・メカニクスを崩壊することなく持久的な効果を期待できる運動強度の設定が可能であり、また適正な牽引負荷は最大牽引力によって求められる可能性が示唆された。したがって、テザード泳は、泳力レベルに応じて適正な負荷設定が可能であり、幅広い水泳選手に対して水泳のトレーニング法としての活用が期待できる。

参考・引用文献

- 1) Bonen A. (1976): Implementing Training Specificity. *Swimming Technique* 13: p.50-51.
- 2) Bonen A., et al. (1980): Maximal oxygen up take during free tethered and flume swimming. *J. Applied physiology* 48: p.232-235.
- 3) Boolens E., et al. (1988): Peripheral EMG Comparison Between Fully Tethered and Free Front Crawl

- Swimming. *Swimming Science V, Human Kinetics*: p.173-181.
- 4) Carbi H., et al. (1988): The relation of stroke frequency, force, and EMG in front crawl tethered swimming, *Human Kinetics Publishers Inc., Swimming Science V*: p.183-189.
 - 5) Colwin C.M. (1991): *Swimming into the 21st Century*. p.120-121, 138-139, Leisure Press.
 - 6) Costill D.L. (1966): Use of a swimming ergometer in physiological research, *Res. Quart* 37: p.564-567.
 - 7) Counsilman J.E. (1977): *Competitive Swimming Manual*. p.6-10, 92, Counsilman Co., Inc.
 - 8) Kiphuth H., et al. (1942): *Swimming*: p.31-37, A.S. Barnes and Company.
 - 9) Klaus Daniel Jurgen Klauck (1999): Mechanical and electromyographical parameters in breaststroke pull under different moving conditions, *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII, Department of biology of physical activity, University of JyaskylaF inland*: p.33-39.
 - 10) Magischo E.W., et al. (1985): The Effects of Sprint-assisted and Sprint-resisted Swimming on Stroke Mechanics, *Journal of Swimming Research*, 1: p.27-33.
 - 11) Maglischo E.W. (1993): *Swimming Even Faster*, Chapter 9. p.174-197, Mayfield Publishing Company.
 - 12) 松波 勝ほか (1994): 競泳における OBLA スピードのトレーニングによる変化と記録の関係, *日本体育学会第45回大会号*: 496.
 - 13) Meerloo, A.L., et al. (1988): The prediction of tethered swimming VO_2max from VO_2max on a biokinetic swim bench, *Journal Swimming Research* 4: p.15-19.
 - 14) 野村武男ほか (1990): 全身持久泳における生理的運動強度と主観的運動強度の対応性についての一考察, *日本体育学会第41回大会号*: 582.
 - 15) Olbrecht J., et al. (1983): EMG of specific strength training exercises for the front crawl. *Biomechanics and medicine in swimming*. p.136-141, *Human Kinetics*.
 - 16) 小野寺孝一ほか (1976): 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性, *体育学研究* 21: 191-204.
 - 17) Pyne D. (1999): Endurance training How much Huff and Puff?, *Swimming Technique*, Vol. 35, No. 4: p.16-20.
 - 18) Roberts J.B. (1977) New approach and method of specific isokinetic training for swimmers, *Swimming Technique* 14: p.38-39.
 - 19) Rohrs D.M., et al. (1990): The relationship between seven anaerobics tests and swim performance, *Journal of Swimming Research* 6: p.15-19.
 - 20) 柴田義晴ほか (1986): 水難救助に用いる Carrying の身体負担度について, *東京学芸大学紀要* 38: 171-179.
 - 21) 柴田義晴ほか (1996): ストレッチコードを用いた水泳トレーニング法の有用性, *トレーニング科学研究*, 第8巻, 第1号: 23-32.
 - 22) Thomas A., et al. (1983): Tethered force and relationships, *Swimming Technique* 20: p.21-26.
 - 23) 山本義春, 中村好男 (1989): AT の話, V. AT 論争の詳細, 最大乳酸定常の直接測定を指示する研究, 初版, ブックハウス・エイチデイ, 東京: p.57-59.

(平成17年9月21日受付)
(平成17年12月15日受理)

