

水泳による体力育成のための牽引泳の有用性について

柴田 義晴*・五十嵐 愛**・北川 幸夫***・米津 光治****

健康・スポーツ科学分野

(2008年6月18日受理)

SHIBATA, Y., IGARASHI, M., KITAGAWA, Y. and YONEZU, M.: A study on the utility of tethered swim as a training method for physical strength and fitness promotion. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Arts and Sports Sciences., 60: 179-190. (2008)

ISSN 1880-4349

Abstract

The purpose of this study was to clarify the utility of tethered swim as a training method for physical strength and fitness promotion, through investigating the exercise characteristics of tethered swimming by means of stationary swimming. 4 female and 2 male college students were participated in this investigation as subjects. As a result, the characteristics of tethered swimming and the efficacy of swimming as physical strength and fitness promotion method were obtained as follows:

- 1) The heart rate (HR) of Interval tethered swimming (ITS) at the load of 6kg (35sec. swims and 20sec.breaks) showed significantly higher ($p<0.05$) compared with free swimming (FS). ITS loaded with 6kg load showed the load at which improvement in endurance can be anticipated in both physiologic indexes (HR: 155.2 ± 4.5 bpm, BLA: 2.9 ± 0.2 mmol) as well as perceptual indexes (RPE: 13.2 ± 0.9). Stroke rate (SR) and Stroke length (SL) during ITS showed a slight difference but not significant compared with FS and almost steadily transition after the second time. ITS did not seem to cause a disruption of stroke mechanics.
- 2) In the case of 4TS, The loads at 4kg for male and 3kg for female showed physiological exercise and strengths (HR: 164.0 ± 9.9 bpm, 150.3 ± 5.9 bpm, BLA: 4.3 ± 0.2 , 3.5 ± 0.7 mmol, RPE: 14.5 ± 0.7 , 13.3 ± 0.9), which could anticipate improvement in endurance at the same time 4TS, the loads at 5kg for male and 4kg for female showed the tendency of gradual increase due the fact that the exercise strengths did not reach a steady position. It seems to be lacking in improvement of endurance with the loads at 3kg for male and 2kg for female. 4TS 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 caused by fluctuation of SR and SL.
- 3) In assisted swimming, there was no affection using muscles in observation of EMG. It appeared that assisted swimming similar to the loads at 3kg for male and 2kg for female. In the case of resisted swimming, there was no affection using muscles in observation of EMG as well. In the observance of iEMG, showed significantly higher ($p<0.05$) compared with 5kg for male and 4kg for female.

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 training method for physical

* 東京学芸大学 健康・スポーツ科学講座 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)
** 東京学芸大学大学院
*** 日本女子体育大学
**** 文教大学

strength and fitness promotion.

Key words: Tethered swimming, Training method, Utility, Physiological index, Stroke mechanics

Department of Health and Sports Science, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要旨: 本研究は、牽引泳の運動学的特性を明らかにすることによって、牽引泳を用いた水泳の体力育成法を開発することを目的とした。そのため、健康や体力育成を目指して日常的に水泳を行っている者を対象に負荷設定を変えた牽引泳を行わせ分析した。その結果、以下に示したように、牽引泳が水泳の運動特性を棄損することなく、持久的トレーニングとして運動強度を見出すことができることから、体力育成法として活用できる可能性が示唆された。

1) インターバル牽引泳では、通常泳に比較してHRが有意 ($p < 0.05$) に高かったが、3回目以降全体を通してほぼ一定に推移した。また、HR ($155.2 \pm 4.5\text{bpm}$)、BLA ($3.9 \pm 0.2\text{mmol}$) およびRPE (13.2 ± 0.9) とともに持久力の向上が期待できる負荷を示した。

2) 4分間牽引泳では、牽引負荷が男子の4kg、女子の3kgにおいて、それぞれ (HR: $164.0 \pm 9.9\text{bpm}$, $150.3 \pm 5.9\text{bpm}$, BLA: $4.3 \pm 0.2\text{mmol}$, $3.5 \pm 0.7\text{mmol}$, RPE: 14.5 ± 0.7 , 13.3 ± 0.9) 持久力の向上が期待できる値を示した。また、EMGの放電様相からいずれの試技も泳ぎ方の崩壊は認められなかったが、男子の5kg、女子の4kgではiEMGの正規化によるFSとの比較において過大値を示した。

3) アシステッド泳は、泳ぎ方の崩壊をもたらすEMGは認められず、iEMGでは男子の3kg、女子の2kg時の筋活動量に近似した値を示した。レジステッド泳は、同様に泳ぎ方の崩壊をもたらすようなEMGは認められなかったが、iEMGが男子の5kg、女子の4kg時の筋活動量を超える値を示した。

以上のことから、牽引泳では、牽引負荷選定によって泳ぎ方を崩壊することなく、持久的効果が期待される運動強度の設定が可能であると考えられる。すなわち、牽引泳は個々の泳力レベルに応じた適正な負荷設定が可能で、幅広い水泳実践者に活用できる運動であり、ひいては水泳による体力育成法としての活用が期待される。

1. 緒言

1930年代¹⁾、牽引泳は一定の負荷を牽引しながら泳ぐ方法として用いられてきた。しかし、その後、陸上の筋力トレーニングが水泳の運動特性を十分反映していないのではないかと^{1) 19)}とされ、水中の筋力トレーニングの一手段として用いられるようになった。今日では、牽引泳についても同様に、通常の泳ぎ方とは異なった筋肉の使われ方をしているのではないかと^{3) 4)}と考えられようになった。

一方、牽引泳は、水泳や水中運動が生体に及ぼす影響を調査する手段^{2) 6) 7) 15) 20) 21)}として活用されるようになり、それによって陸上で行われる運動との比較が可能となり、種々の水泳・水中運動の強度調査に有用な研究手法として取り扱われてきた。

筆者らは、このように牽引泳が運動強度の評価に用いられていることから水泳の持久的トレーニングへの応用性に着目した。また、関連文献の渉猟を試みたが、牽引泳を水泳の持久的トレーニングとして活用するための研究報告については十分に見出すことができなかった。そ

のため、牽引泳と通常泳を比較することによって生理学的および運動学的にどのような差異があるのか調査し、それにより定量的に牽引負荷を加えて泳ぐことが可能な牽引泳の持久的トレーニング、殊に水泳による新たな体力育成法への可能性を探ることとした。

そこで、本研究は、体力育成の観点からその場泳ぎの牽引泳を水泳の持久的トレーニング法として活用するため、通常泳、アシステッド泳およびレジステッド泳と比較しながらその場泳ぎの牽引泳についての運動学的特性を明らかにすることを目的とした。そのため、日常的に水泳を行っている水泳愛好者を対象に、牽引負荷、牽引時間を定めたその場泳ぎの牽引泳を行わせ、その際の心拍数、血中乳酸濃度および主観的運動強度について測定した。また、その際のストロークメカニクスを明らかにするため、映像VTRおよび筋電図を用いて分析を試みた。その結果、興味ある知見を得たので報告した。

2. 方法

実験は、平成19年7月～9月までの9日間、本学25m

プールで行った。なお、この間の気温は29～33℃の範囲、水温は29～32℃の範囲であった。

被検者は、体力育成を目的に日常的に水泳を行っている程度の本学女子学生4名、男子学生2名を対象とした。なお、被検者の身体的特性については表1に示した通りであった。

測定は、最大牽引力、心拍数、血中乳酸濃度、主観的運動強度、ストローク映像および筋電図について行った。

図1は、実験時のプロトコルを示したものである。

試技は、4分間牽引泳、インターバル牽引泳、アシステッド泳およびレジステッド泳を対象とした。

牽引方法は、図2の要領のようにプール壁に取り付けられた滑車を利用して、一方の紐に一定の重量付加を加え、他方の紐の先端を泳者のベルトに結び、泳者にはそれを牽引しながら泳がせた。試技の後には、少なくとも30分以上の休憩を挟んでそれぞれの試技について測定を実

表1 被検者の身体的特徴

被験者 (Subject)	性別 (Sex)	身長 (cm)	体重 (kg)	年齢 (years)	安静時 HR (bpm)	50mタイム (sec)	MTL (kg)
CM	Female	154.0	52.5	20	68	30"1	11.4
AY	Female	163.5	62.5	20	68	30"5	13.1
RR	Female	167.5	56.0	25	70	32"0	11.6
MI	Female	162.5	56.5	23	74	32"0	11.5
SY	Male	167.3	53.0	23	68	29"0	15.2
YN	Male	171.5	62.5	21	68	29"8	16.5

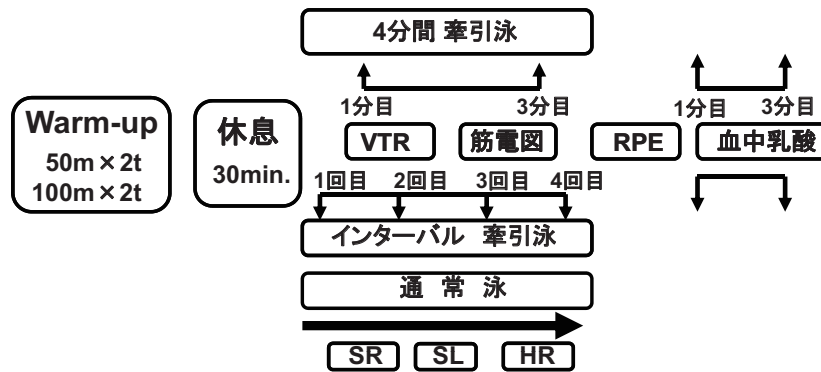


図1 実験のプロトコル

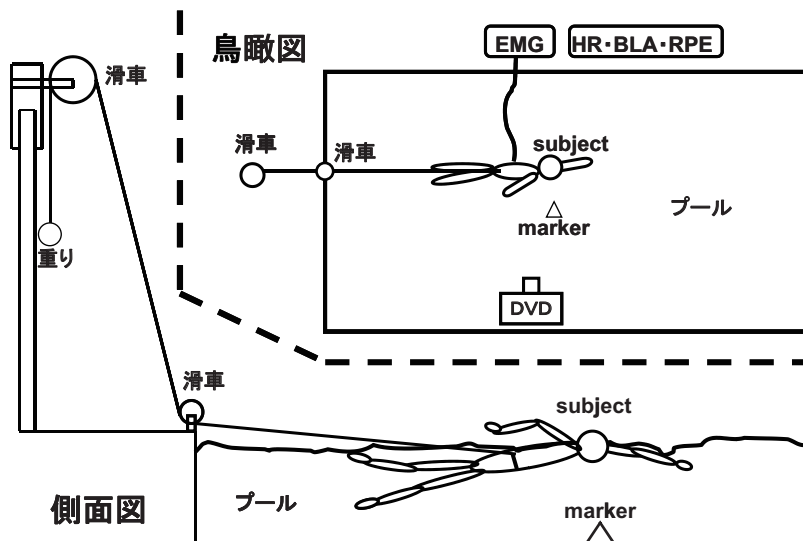


図2 測定図 (側面図, 鳥瞰図)

施した。

2. 1 試技条件

2. 1. 1 通常泳

通常泳 (FS) では、牽引泳との比較・調査するため、牽引負荷のないクロールを泳がせた。

2. 1. 2 インターバル牽引泳

インターバル牽引泳 (ITS) については、男子を対象に行い、クロールで50mを55秒サイクル (35秒泳, 20秒休息) で10回繰り返させた。なお、この牽引負荷は、事前調査により心拍数、血中乳酸濃度、RPEの各指標から有酸素的運動が可能な6kgの負荷に設定した。

2. 1. 3 4分間牽引泳

4分間牽引泳 (4TS) では、被検者が一定の位置で泳ぐためにプールの底にマーカーを設定し、それを目安に後方より牽引されながら4分間を継続的に泳がせた。なお、4分間の泳時間は、漸増負荷試験による血中乳酸濃度の上昇傾向が定常化する時間、すなわち4分間の運動負荷によって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⁾を根拠として設定した。また、牽引負荷は、男子が3kg, 4kg, 5kg, 女子が2kg, 3kg, 4kgに設定した。その理由は、先行研究による心拍数、血中乳酸濃度、RPEの各指標から有酸素的運動が可能な負荷とした成果に基づいた。

2. 1. 4 アシステッド泳

アシステッド泳 (AS) は、男子では6kg, 女子では5kgの負荷で牽引されながら20mクロール泳で泳がせ、EMGは全区間、映像はスタート後5m～15mまでの間を撮影した。

2. 1. 5 レジステッド泳

レジステッド泳 (RS) は、男子では6kg, 女子では5kgの牽引負荷を受けながら20mクロール泳で泳がせ、EMGは全区間、映像はスタート後5m～15mまでの間を撮影した。

2. 2 調査・測定項目

2. 2. 1 最大牽引力

最大牽引力 (MTF) は、最大努力で泳いだ際、端壁につないだ弾力性のある紐の両先端を端壁と泳者の腰に結び、その間に取付けたバネバカリの針の動きをビデオ撮影した。これにより、開始後2ストローク目から牽引低下し始めるまでのストロークを対象に、各ストロークの高位値と低位値の変動値を録画映像のコマ送りによって読みとり、さらにその平均値により表示した。

2. 2. 2 心拍数

心拍数 (HR) 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3分間をモニターし、計測を行った。

2. 2. 3 血中乳酸濃度

血中乳酸濃度 (BLA) は、安静時および4TSの終了後1分および3分に被検者の指尖部から湧出した血液をベーリンガー・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、高い値を示したBLA値を採用した。

2. 2. 3 主観的運動強度

主観的運動強度 (RPE) は、試技終了直後に Borg¹⁶⁾ の RPE スケール表を用いて口頭で表示させ、記録した。

2. 2. 4 ストローク映像

ストローク映像 (SM) については、泳者の側方8mの位置よりVTR (ソニー製, DCR=PC5) を固定設置して撮影した。なお、得られたSMによりEMGと同調させ、かつストローク頻度 (SR), ストローク長 (SL) の調査を行った。

SRは、SMを用いてクロノストローク (Nielsen-Kellerman社製) を用いて計測した。SLは手関節点の入水時から離水時までの長さを計測した。なお、これらの調査項目のサンプルは、各回終了前の5秒間から導き出した。

2. 2. 5 筋電図

筋電図 (EMG) は、DKH社製の有線式EMGアンプを用い、ITSでは左右側の上腕二頭筋と右側の上腕三頭筋の筋活動から導出し、4TSでは左右側の上腕二頭筋と右側の上腕三頭筋および右側の上腕二頭筋、上腕三頭筋、大円筋、僧帽筋の筋活動から導出した。なお、ITSでは偶数回目の試技を対象にサンプリングし、牽引最終の10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ボタンスイッチを押し、そのパルス筋電図上に導出させて同期した。

2. 3 統計処理

FS, ITS および4TSにおけるBLA, RPE, HR, SR, SLについては、平均値および標準偏差を求めた。試技条件による差の検定は、SLについてはT-testを用い、HR, SRについて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。

2. 4 生命倫理・安全対策等

本研究では、実験等に先立ち生命倫理・安全対策等について、研究計画、研究内容および想定される苦痛、負担等について対象者に説明を行い、被検者として参加の同意を得た。また、実験等は、本学研究倫理委員会に

対して本研究の計画, 内容等について報告, 研究倫理申請書を提出し, 同委員会より承認通知を受け取った後, 実施した。

3. 結果

3. 1 MTF

最大努力泳の際, 牽引変動の最大値を平均して表示した MTF については, 表 1 に示した通りであった。なお, 被検者全体の牽引値の平均は, 男子が $15.7 \pm 0.7\text{kg}$, 女子が $11.9 \pm 2.8\text{kg}$ であった。

3. 2 BLA, RPE, HR

表 2 は, ITS および 4TS の際の BLA, RPE, HR, SR および SL の測定結果を示したものである。ITS では, 10

回のインターバル泳を通してほぼ安定した SR を示した。BLA, RPE, HR では, FS よりやや高い状態で推移する傾向を示した。

図 3 は, 代表例として ITS 中の HR と SR の変動を示したものである。HR は 3 回目から 10 回目までほぼ一定した状態が見られ, SR はインターバル全体を通してほぼ一定であった。

図 4 は, 被検者全員の 4TS における HR の変化を示したものであるが, 男子 4 kg 女子 3 kg および男子 3 kg 女子 2 kg における HR が 2 分目から定常状態を示したが, 男子 5 kg 女子 4 kg では 4 分目に至るまで上昇が続く傾向が見られた。

図 5 ~ 図 7 は, 4TS における HR の変化を BLA, RPE とともに示した個別例である。全体傾向とほぼ同様の傾向を示した。特に, 最大定常状態で推移した HR では,

表 2 各試技における測定結果

測定項目 試技条件	血中乳酸濃度 (mmol/l)	主観的運動強度 RPE	心拍数 1分目 (bpm)	心拍数 2分目 (bpm)	心拍数 3分目 (bpm)	心拍数 4分目 (bpm)	SR (tpm)	SL (cm)
FS	2.5 ±0.6	12.6 ±0.8	142.8 ±3.6	-	-	-	35.8 ±4.2	108.4±8.6
ITS	2.9 ±0.2	13.2 ±0.9	155.2 [※] ±4.5	-	-	-	34.1 ±3.3	97.8±4.7
3kg4TS	2.7 ±0.5	13.0 ±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
4kg4TS	4.3 [▲] ±0.2	14.5 ±0.7	138.2 ±6.8	147.4 [○] ±5.2	153.1 [○] ±7.5	153.3 [○] ±7.5	31.2 ±0.6	108.1±4.4
5kg4TS	6.5 [◆] ±0.5	18.0 [◆] ±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

※:FSに対する有意差
 ○:1分目に対する有意差
 ◎:2分目に対する有意差
 ▲:3kg4TSに対する有意差
 ◆:4kg4TSに対する有意差
 (p<0.05)

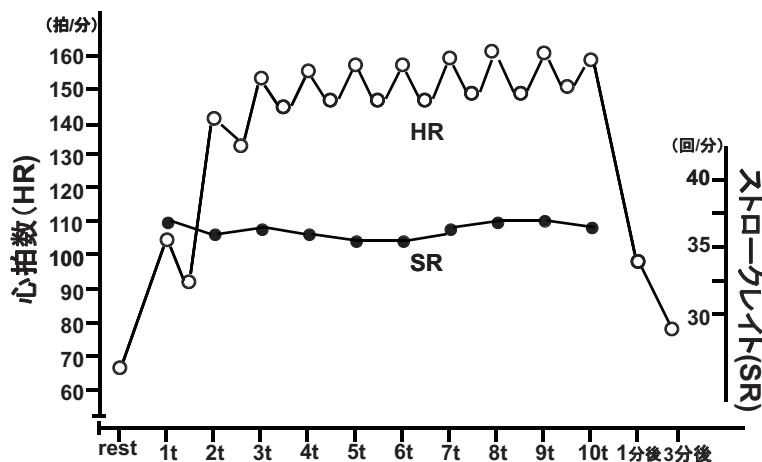


図 3 ITS中におけるHRおよびSRの変化

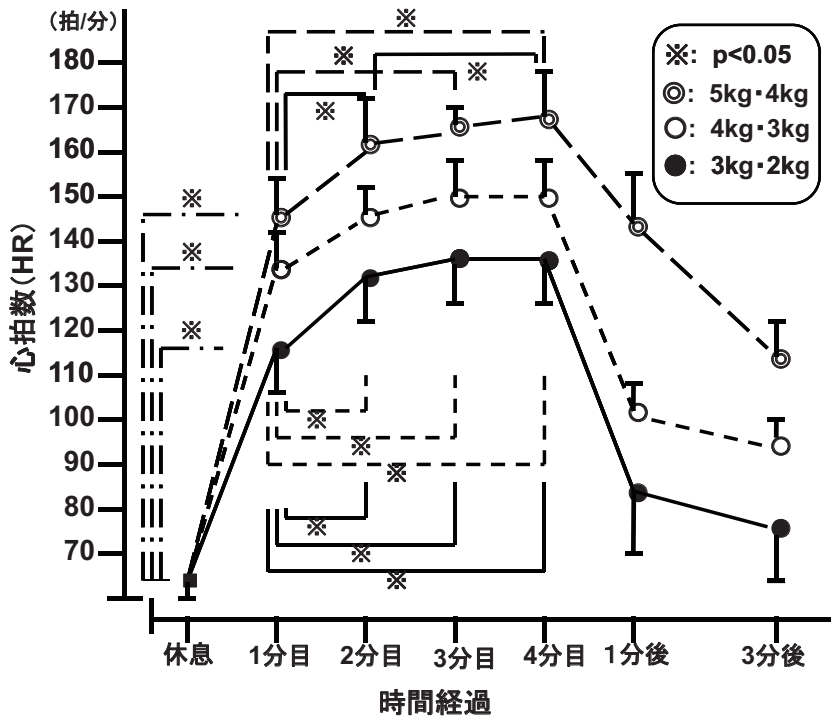


図4 各4TSにおけるHRの変化

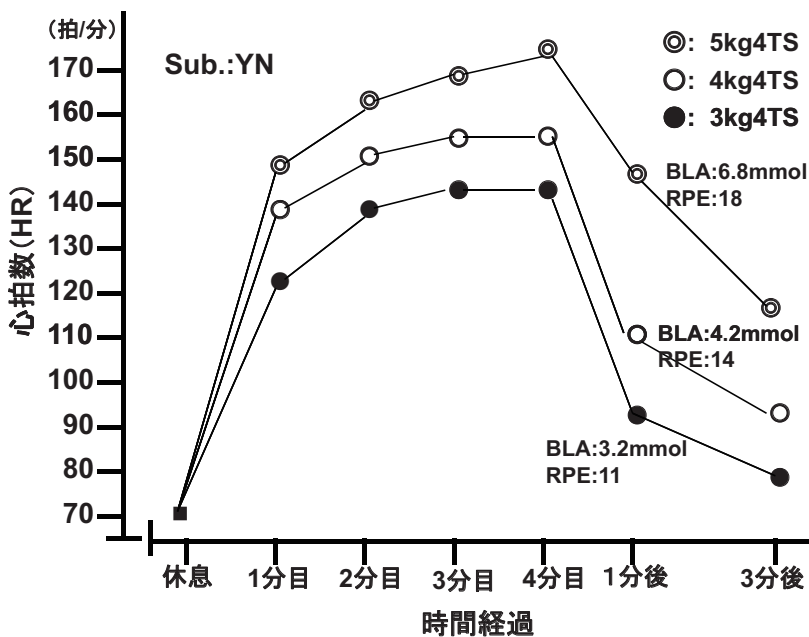


図5 各4TSにおけるHR変化とBLA、RPE

1分後の低下率が大きい傾向を示した。

3. 3 SM

ストローク映像 (SM) の調査については、表 2 に示した通りであった。

ITS の SR は FS とほぼ同様の値が得られたが、4TS の SR は牽引負荷の増加による減少傾向が見られた。女子の 2 kg, 3 kg, 4 kg, 男子の 3 kg, 4 kg, 5 kg を段階的に見ると、女子の 2 kg と 4 kg, 男子の 3 kg と 5 kg の間に

おいては有意 ($P < 0.05$) な差が見られた。また、男女の AS および RS においては、SR の増加が顕著であった。最も FS に近似した SL は、牽引負荷が男子 4 kg, 女子 3 kg であった。なお、牽引負荷の増大とともに SL がやや短くなる傾向が見られた。

3. 4 EMG

EMG は、図 8 に示した通りであった。これらの EMG を全波整流した上で iEMG を導き、FS を基準値として

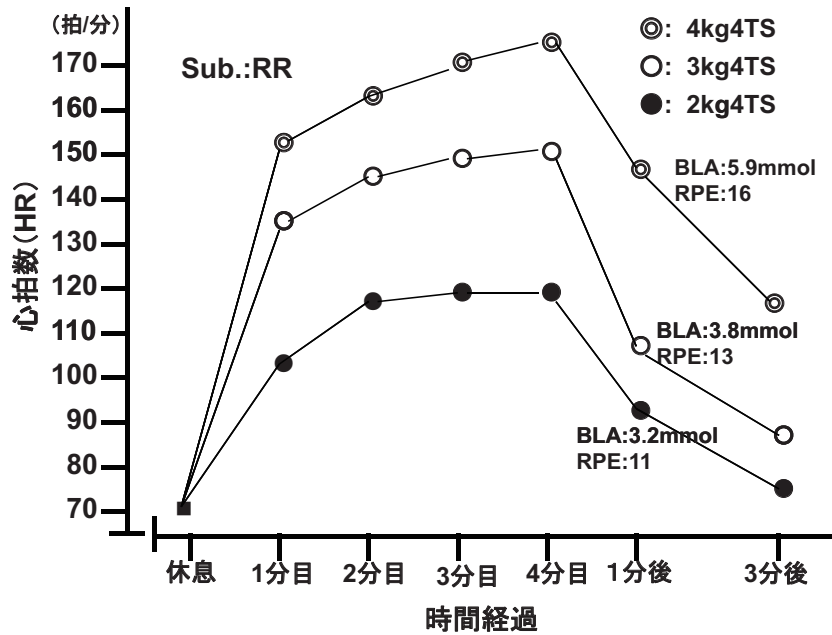


図6 各4TSにおけるHR変化とBLA、RPE

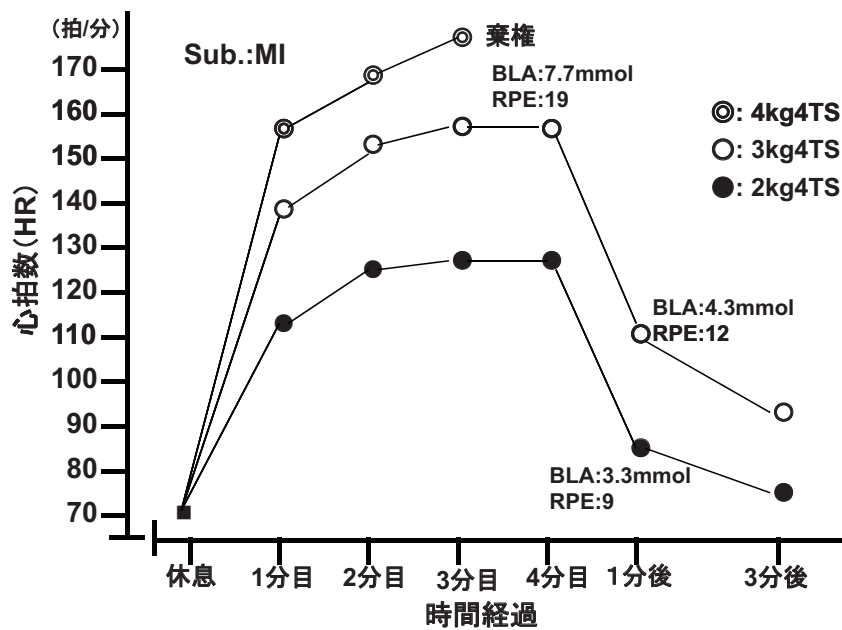


図7 各4TSにおけるHの変化とBLA、RPE

表3 4TSにおけるHR、BLA、RPEの試技別有意差検定

対比項目	心拍数	血中乳酸	RPE
2kgTS VS 3kgTS	4.33 ※	1.39	1.52
2kgTS VS 4kgTS	6.09 ※	2.35	4.64 ※
3kgTS VS 4kgTS	4.63 ※	3.00	2.52

※:p<0.05

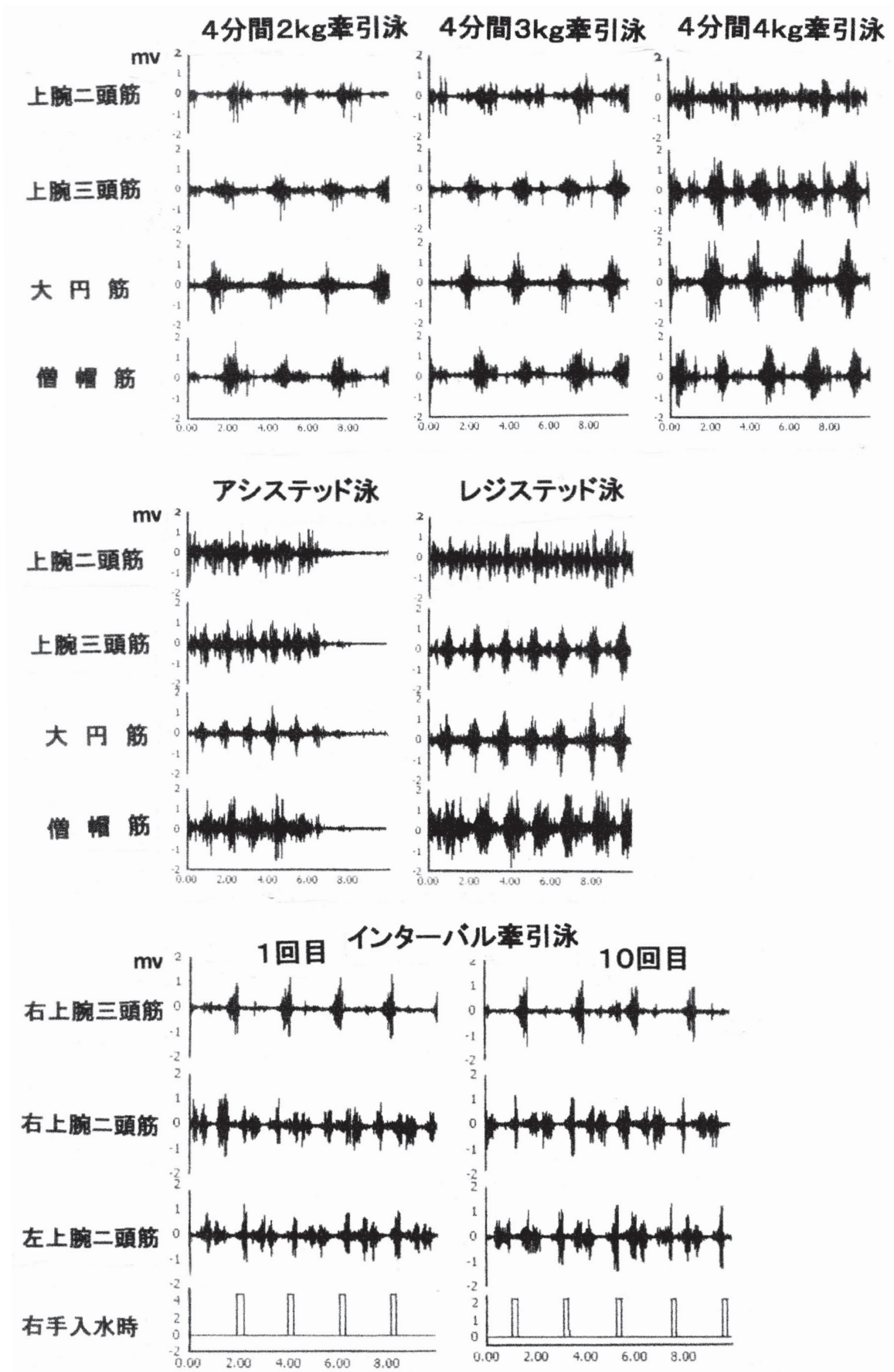


図8 各試技中の筋電図 (A.Y)

正規化し¹⁰⁾、比較を試みた。その結果は、表4、図9に示した通りであった。

ITS および 4TS の筋の活動機序や放電様相には FS に比較して顕著な変化は見られなかったが、4TS では牽引負荷の増加により筋活動電位が増加する傾向が見られた。特に、大円筋では、女子 2 kg 男子 3 kg に対する女子 3 kg 男子 4 kg の牽引泳は有意 ($p < 0.05$) に増加した。

AS および RS の筋の活動機序は FS に比較して顕著な変化は見られなかったが、放電様相は FS に比較して顕著な変化が見られた。各試技の筋放電量から iEMG を導出し、FS を基準とする正規化による比較をした結果、表5に示したように、AS では上腕二頭筋がやや放電量が減少する傾向を示したが、全体的にFSとほぼ同様傾向を示した。RS ではいずれの筋肉においても有意 ($p <$

0.05) に増加し、特に大円筋の増加傾向は顕著であった。

4. 考察

4. 1 ストロークメカニクスへの影響

牽引泳を水泳の体力育成法の一つとして活用するための条件としては、まず牽引泳の泳ぎ方(ストロークメカニクス)が通常泳と大きく異なるものであってはならない。

このことについて、ITS(インターバル牽引泳)は牽引負荷 6 kg による休息 20 秒間を挟んだ 35 秒間泳を 10 回反復するインターバル泳であったが、全体を通してストロークメカニクスを表す SR および SL の変化に有意な差は見られず、安定的に推移し、かつ筋放電が FS と比較

表4 iEMGの正規化による各試技の比較

	4分牽引泳	平均値 (%)	標準偏差
	女子・男子		
上腕二頭筋	2kg・3kg	81.4	14.3
	3kg・4kg	113.4	10.3
	4kg・5kg	129.8	26.0
上腕三頭筋	2kg・3kg	106.2	25.7
	3kg・4kg	137.3	14.9
	4kg・5kg	157.1	21.0
大円筋	2kg・3kg	117.7 ※◎	12.0
	3kg・4kg	180.5	18.9
	4kg・5kg	186.5	19.7
僧帽筋	2kg・3kg	113.8	9.3
	3kg・4kg	136.4	15.3
	4kg・5kg	149.9	19.3

※:3kg・4kgに対する有意差 ◎:4kg・5kgに対する有意差 P<0.05

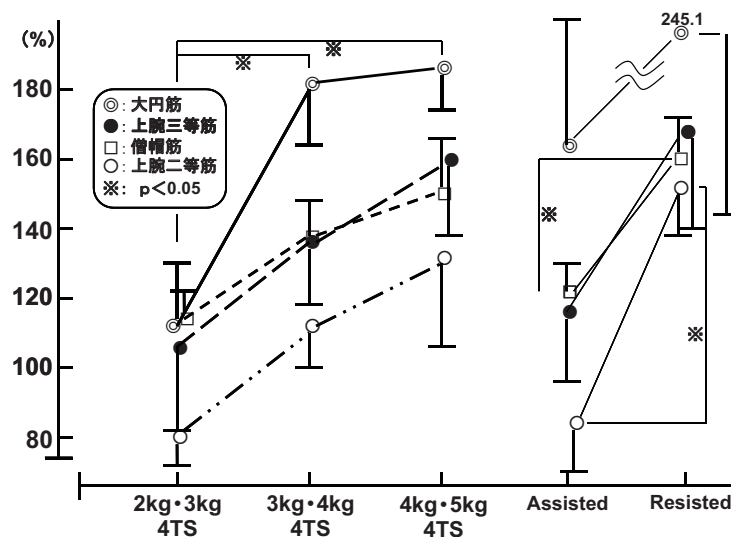


図9 iEMGの正規化による各試技の比較

表5 iEMGの正規化によるFSとAS, RSの比較

	アシステッド泳	レジステッド泳
上腕二頭筋	84.8 [※] ± 13.7	151.4 ± 13.8
上腕三頭筋	117.0 ± 12.7	164.2 ± 23.7
大円筋	160.4 ± 37.9	245.1 ± 56.6
僧帽筋	119.7 ± 9.0	159.0 [※] ± 11.1

※: P<0.05

してやや高くなるもののほぼ同様傾向を示した。4TSのSLは、ITSおよびFSに比べてやや短くなる傾向が見られた。これはITSの牽引負荷が50.4% MTFで、4TSの牽引負荷3kg、4kg、5kg(それぞれ約25%、33%、41% MTF)に比べて大きかったことによるものと考えられる。したがって、ITSでは、MTFの50%程度の牽引負荷の設定では、ストロークメカニクスを保持しながら持久力の向上が期待できる運動強度で実施することが可能であることを示唆しているものとする。

4TS(4分間牽引泳)では、牽引負荷の小さい試技ほどSLがFSに近似しているが、逆に牽引負荷が小さくなる程SRが小さくなる傾向を示した。このことはすなわち、男子では4kg、女子では3kgの4TSにおいてSRおよびSLのバランスがFSのストロークメカニクスに近似していることを意味するものと考えられる。3kg 4TSのような軽負荷では、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が低くなったものと考えられる。また、図8に示したEMGを比較すると、アシステッド泳およびレジステッド泳では、SRが高くなるとした報告¹²⁾と同様傾向を示した。これは、各試技牽引負荷の増加とともにSRが高くなる傾向と同様で、牽引負荷の増加がストロークメカニクスのグライド局面を相殺した結果と考えられる。いずれにしても、ストロークメカニクスへの影響は、SRでは4TSの牽引負荷毎に高くなり、SLでは牽引負荷の増加とともに長くなる傾向が見られることから、ストロークメカニクスを崩壊することなく牽引泳を実施可能な4TSは、牽引負荷が女子では3kg、男子では4kgをやや超えたレベルに至適値があるように思われる。

なお、ITSおよび4TSについて、得られたEMGからiEMGを求め、正規化することによって比較すると、女子2kg-3kg、女子2kg-4kg、男子3kg-4kg、男子4kg-5kgの間にそれぞれ有意な差(p<0.05)が見られたが、筋活動機序および筋活動様相についてはFSのそれと顕著な差異は見られなかった。このことは、平

泳ぎのプルによる牽引泳と平泳ぎの通常泳のEMGの比較において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ある。

4. 2 牽引泳の生体への影響

牽引泳を持久的トレーニングとして活用するための基礎的資料を提供した先行研究では、BLA、RPE、HRに関する種々の報告^{5) 7) 8) 12)}を行っているが、本研究成果をそれらの報告と論議させながら生理学および知覚的な観点から検討を加える。

まず、BLAは、C.Colwin⁵⁾、D.Pyne¹⁸⁾ら、あるいはE.Maglischo¹²⁾らによると、持久的トレーニング効果をもたらすレベルのBLAはほぼ 4 ± 2 mmol/Lの範囲としているが、本研究においてその範囲を示した試技はITS(2.9 ± 0.2 mmol/L)および男子4kgと女子3kgの4TS(4.3 ± 0.2 mmol, 3.5 ± 0.7 mmol)の二試技であり、男子3kgと女子2kgの4TSでは低く(2.7 ± 0.5 mmol, 2.4 ± 0.7 mmol)、男子5kgと女子4kgの4TSでは高く(6.5 ± 0.5 mmol, 6.3 ± 1.9 mmol)、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)、ITS(13.2 ± 0.9)、男子4kgと女子3kgの4TS(14.5 ± 0.7 , 13.3 ± 0.9)の各試技は、BLAとRPEの関係から持久的トレーニングレベルを示唆した野村らの報告¹⁷⁾や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Maglischo¹²⁾の意見とほぼ同様な値を示した。しかしながら、男子3kgと女子2kgの4TS(13.0 ± 0.7 , 11.3 ± 0.9)、男子5kgと女子4kgの4TS(18.0 ± 0.9 , 16.5 ± 1.7)では、こうした持久的トレーニングレベルから大きく外れており、持久的トレーニングとして有効とは言えない。

HRについては、持久的トレーニング効果をもたらす変動幅は130~170bpmである^{5) 7) 18)}とされているが、分散分析および有意差検定の結果によると、男子3kg、4kgと女子2kg、3kgの4TSにおいて2分目以降、ほぼ130~170bpmの範囲で定常的に推移した。男子5kgと

女子 4 kg の 4 TS では経時的に HR の上昇が大きくなり、定められた時間を成就できない者もいた。その意味では、男子 3 kg, 4 kg と女子 2 kg, 3 kg の 4 TS において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。また、男子 4 kg と女子 3 kg の 4 TS は、男子 3 kg と女子 2 kg の 4 TS より最大定常状態を示していることから、持久的トレーニングとしての有用性がより高いのではないかと考えられる。

4. 3 水泳の体力育成法への応用

牽引泳中のストロークメカニクス、生理学的指標、知覚的指標を総合的に見た。ITS では個に応じた適正牽引負荷を見出すことができるとした報告²²⁾のように、本研究においても被検者の泳力レベルが比較的lowであったが適正牽引負荷を見出すことができた。また、この牽引負荷は、個々のMTFに対するITP時の負荷比率が先行研究とほぼ同率(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ITSの牽引負荷の設定には個々のMTFの測定により求められる根拠の強化につながるものであった。

4 TS では、牽引負荷を変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、図10は先行研究による牽引負荷の線と4mmolの線が交わる点、すなわちOBLAレベルの負荷量(OBLA-Load: 4.26kg)を導くことができた。4.26kgがMTFの約35%に相当し、MTFの測定値にこれに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。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強度である^{22) 24)} ことやトレーニング効果の把握に有用な指

標^{13) 14) 20)}にもなり得ることから、牽引泳は適切な牽引負荷を設定することが可能であり、水泳の持久的トレーニング方法、すなわち水泳の有用な体力育成法になり得るものと考えられる。

5. 結論

本研究は、牽引泳を用いた水泳の体力育成法の開発のため、牽引泳の運動学的特性を明らかにすることを目的とした。そのため、健康や体力育成を目指して日常的に水泳を行っている者を対象に牽引泳(インターバル牽引泳、4分間牽引泳、アシステッド泳、レジステッド泳)を行わせ、その際の心拍数、血中乳酸濃度、主観的運動強度、VTR 映像および筋電図を測定し、分析を試みた。その結果、以下に示した牽引泳の運動学特性や体力育成に貢献できるような水泳の持久的トレーニングとしての可能性が示唆された。

- 1) インターバル牽引泳では、通常泳に比較して HR が有意($p < 0.05$)に高かったが、3回目以降全体を通してほぼ一定に推移した。また、HRが 155.2 ± 4.5 bpm, BLAが 3.9 ± 0.2 mmolおよび RPE が 13.2 ± 0.9 を示し、持久力の向上が期待できる負荷を示した。
- 2) 4分間牽引泳では、牽引負荷男子の4 kg, 女子の3 kgにおいて、それぞれ(HR: 164.0 ± 9.9 bpm, 150.3 ± 5.9 bpm, BLA: 4.3 ± 0.2 mmol, 3.5 ± 0.7 mmol, RPE: 14.5 ± 0.7 , 13.3 ± 0.9) 持久力の向上が期待できる値を示した。また、EMG の放電様相からいずれの試技においても泳ぎの崩壊を招来するものではなかったが、男子の5 kg, 女子の4 kgではiEMGの正規化による比較におい

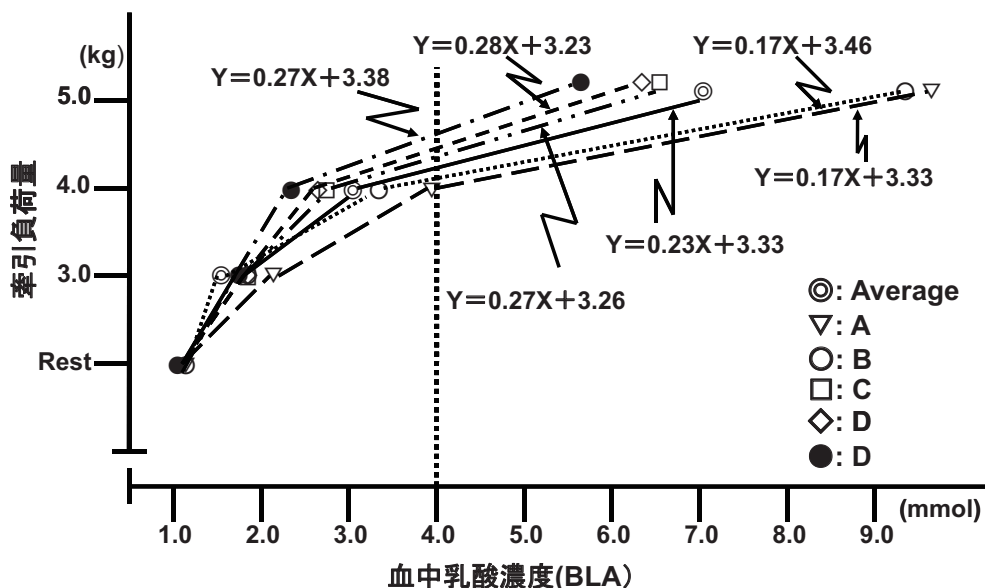


図10 OBLA-Loadの牽引負荷量

て過大値を示した。

3) アシテッド泳は、泳ぎの崩壊をもたらす EMG は認められず、iEMG では男子の 3 kg, 女子の 2 kg 時の筋活動量に近似した値を示した。レジテッド泳は、同様に泳ぎの崩壊をもたらすような EMG は認められなかったが、iEMG が男子の 5 kg, 女子の 4 kg 時の筋活動量を超える値を示し、特に大円筋の活動量は通常泳のおよそ 2.5 倍を示した。

以上のことから、牽引泳では、牽引負荷選定によってストロークメカニクスを崩壊することなく、持久的効果が期待される運動強度の設定が可能であると考えられる。すなわち、牽引泳は個々の泳力レベルに応じた適正な負荷設定が可能であり、幅広い水泳実践者に活用できる運動であり、ひいては水泳による体力育成法としての活用が期待される。

参考・引用文献

- 1) Bonen A. (1976) Implementing Training Specificity. *Swimming Technique* 13: pp.50-51.
- 2) Bonen A., et al. (1980) Maximal oxygen uptake during free tethered and flume swimming. *J. Applied physiology* 48: pp.232-235.
- 3) Boolens E., et al. (1988) Peripheral EMG Comparison Between Fully Tethered and Free Front Crawl Swimming. *Swimming Science V, Human Kinetics*: pp.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*: pp.183-189.
- 5) Colwin C. M. (1991) *Swimming into the 21st Century*. pp.120-121, 138-139, Leisure Press.
- 6) Costill D. L. (1966) Use of a swimming ergometer in physiological research. *Res.Quart* 37: pp.564-567.
- 7) Counsilman J. E. (1977) *Competitive Swimming Manual*, Counsilman Co., Inc: pp.6-10, 92.
- 8) Kiphuth H., et al. (1942) *Swimming*, A. S. Barnes and Company: pp.31-37.
- 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 Jyaskyla Finland*: pp.33-39.
- 10) 木塚朝博, 増田正, 木竜 徹, 佐渡山亜兵 (2006), 表面筋電図, 東京電機大学, 東京, : pp.13-19.
- 11) Magischo E.W., et al. (1985) The Effects of Sprint-assisted and Sprint-resisted Swimming on Stroke Mechanics. *Journal of Swimming Research*, 1: pp.27-33.
- 12) Maglischo E. W. (1993) *Swimming Even Faster*, Chapter 9, Mayfield Publishing Company: pp.174-197.
- 13) 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.
- 14) Meerloo, A. I., et al. (1988) The prediction of tethered swimming VO₂max from VO₂max on a biokinetic swim bench, *Journal Swimming Research* 4: pp.15-19.
- 15) 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: p.582.
- 16) Olbrecht J., et al. (1983) EMG of specific strength training exercises for the front crawl. *Biomechanics and medicine in swimming*. pp.136-141, *Human Kinetics*.
- 17) 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: pp.191-204.
- 18) Pyne D. (1999) Endurance training How much Huff and Puff?, *Swimming Technique*, Vol.35, No.4: pp.16-20.
- 19) Roberts J. B. (1977) New approach and method of specific isokinetic training for swimmers, *Swimming Technique* 14: pp.38-39.
- 20) Rohrs D. M., et al. (1990) The relationship between seven anaerobics tests and swim performance, *Journal of Swimming Research* 6: pp.15-19.
- 21) 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: pp.171-179.
- 22) 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: pp.23-32.
- 23) Thomas A., et al. (1983) Tethered force and relationships, *Swimming Technique* 20: pp.21-26.
- 24) 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: pp.57-59.

謝辞

本研究は、平成19年度科学研究費補助金の交付を受けて行った研究成果である。ここに記して謝意を表します。