

## 低圧環境下の流水プールにおける水泳トレーニング

鹿屋体育大学	田口信教
(共同研究者) 同	芝山秀太郎
同	深代千之
同	田畑泉
同	深代泰子

### Effects of the Simulated Altitude Training in the Swim-mill

by

Nobutaka Taguchi, Hidetaro Shibayama,  
Senshi Fukashiro, Izumi Tabata and Taiko Fukashiro  
*National Institute of Fitness and Sports in Kanoya*

#### ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effects of swimming training under the simulated altitude on the swimmers' oxygen intake and delivery capacity. Subjects were 15 healthy students, aged 18—21. The subjects were exposed to altitude hypoxia equivalent to 3000—3500m above sea level for 3 hours a day, 6 days a week for four months. After one hour acclimatization, subjects repeated 10-min submaximal swim (RPE 15—18) in the swim-mill for 2 hours.

Decrease in pH, PO<sub>2</sub> and increase in PCO<sub>2</sub> in venous blood gases and decrease in pH and increase in PO<sub>2</sub> and PCO<sub>2</sub> in arterial bloodgases were observed after the swim, which suggested that the subjects' oxygen delivery system was fully stimulated. HR during the swim in the altitude hypoxia showed higher value than that at sea level. Aerobic work capacity was determined by treadmill exercise, and though no significant changes were found in HR and VO<sub>2</sub> after training, increase in O<sub>2</sub>-R was observed. From these results, it might be suggested that 4 month hypoxic swimming training allowed subjects to perform the exercise with less O<sub>2</sub> intake.

## 緒 言

すべての筋活動は化学的エネルギーの物理的エネルギーへの変換として行われるが、このエネルギー変換には欠かすことのできない条件があり、その一つに変換のための化学的エネルギーの蓄積およびその補給があり、また一つに変換のための組織機構の発達強化がある。水泳選手がより大きな競技力を発揮するためには、運動に要するこのエネルギー総量を最大限に発達させることが必要であり、それには両条件を満足するトレーニング法の開発が重要な意義を有している。とくに化学的エネルギーの補給とは、直接的には酸素負債や酸素摂取能力にかかわる呼吸循環機能に関する条件であり、また発達した組織・機構とは、筋組織などにかかわる酸素運搬系の条件である。

水泳競技に要するエネルギーの全体量は、酸素の消費量により把握することが可能である。より大きな aerobic power の発揮には、運動時により多くの酸素を摂取する必要がある、より大きな anaerobic power の発揮には、より大きな酸素負債能力を必要とする<sup>4,8,17)</sup>。これらの生理的 power は、体内の酸素消費によって規定されるが、通常では肺胞内酸素分圧が高進していることが望ましいと考えられ、事実、たとえば大気圧を調節して高所環境に暴露すると、呼吸循環系、酸素運搬系および筋代謝活動への好ましい適応の生ずることが知られている<sup>7)</sup>。

なかでも高所順化者の生理的 power の発達については Billings ら<sup>2)</sup>、Fox ら<sup>6)</sup> の報告があり、高地住民では低酸素環境にもかかわらず、激しい身体活動が可能であり、それは肺—血液—組織にいたる酸素運搬系全般の改善があるためであると述べている。

Brooks ら<sup>3)</sup>はこの適応を、肺換気量の増加、肺胞拡散容量の増加、ヘモグロビンの酸素解離の高進、血液酸素容量の増大、循環機能の活性化、筋

における血管増生と血流量増加などのメカニズムによるとしている。

そこで本研究では、水泳競技力の向上を、水泳運動時の生理的限界の発達ととらえて、大気圧を sea level から標高 3,500m までの各種低圧環境に暴露したときの最大酸素摂取水準の動向と酸素運搬系の条件から、主としてトレーニングの問題点を明らかにしようとした。

なお、本研究の一部は、1985年11月の第11回人類動態学会西日本地方会（於鹿屋体育大学）シンポジウムにおいて発表した<sup>15)</sup>。

## 実験方法

低圧環境下の流水プールにおける水泳トレーニングには、18歳～21歳の健康な男女大学生を選んだ。いずれも水泳部に在籍し、水泳運動にはある程度熟達していた。これら被検者の身体的特徴は、表1に示した。男子9名の体格は、平均して身長171.1cm、体重67.2kg、体脂肪量13.4%、また女子6名の体格は、身長157.7cm、体重53.6kg、体脂肪量18.8%と、いずれも同年代の日本人平均とほぼ近似しており、肺活量のみが有意に大きな値を示した。

これらの被検者はいずれも、あらかじめ実験室で、treadmillによる exhaustive exercise を負荷して、最大運動時の生体反応を測定した。すなわち気温 25.0°C、湿度 55%に調節された人工気候室内で、傾斜角3度の treadmill を 140m/min の速度からはじめ、1分毎に 10m/min ずつ増速させる負荷漸増法によった。これにより各被検者ごとに心拍数・酸素摂取量関係式を求めておいた。これら被検者の最大心拍数、最大酸素摂取量などは表2に示した。体重あたりの最大酸素摂取量は、男子で平均 52.42ml/kg・min、女子で平均 44.56ml/kg・min を示し、いずれも、同年代の日本人平均を著しく大きく上まわっていた。

低圧環境下の流水プールにおけるトレーニング

表1 Physical characteristics of swimmers

	Age yr	Sex	Body height (cm)	Body weight (kg)	Chest girth (cm)	Body fat (%)	Rohrer's Index	Blood pressure (mmHg)	Vital Capacity (ml)
I S A	21	m	175.7	75.5	100.2	17.7	139.2	134/88	5,680
K A N	19	m	172.8	74.0	96.9	16.6	143.4	118/78	5,220
I T O	19	m	177.0	70.0	98.4	12.1	126.2	126/68	5,800
A K O	19	m	168.0	57.5	83.8	14.2	121.3	112/70	4,610
O G T	19	m	163.5	57.5	91.0	12.6	131.6	112/70	4,940
U N O	19	m	170.0	57.0	86.0	11.0	116.0	118/82	4,840
I W A	19	m	171.4	69.0	94.2	13.5	137.0	120/74	5,280
S T O	19	m	169.0	77.5	102.0	22.6	160.6	146/90	4,250
S H M	18	m	172.4	67.0	91.0	13.0	130.8	124/82	6,110
$\bar{x}$			171.1	67.2	93.7	13.4	134.0	123/78	5,192
K R O	18	f	160.1	50.0	79.3	14.0	121.8	106/78	3,100
Y A M	18	f	161.3	54.0	81.0	18.3	128.7	128/84	3,020
H R O	18	f	163.3	52.9	84.0	17.5	121.5	114/78	3,200
T A K	18	f	152.8	53.5	82.5	20.9	150.0	126/80	3,200
Y O S	18	f	158.4	54.0	83.9	19.1	135.9	118/74	3,770
M A K	18	f	150.3	57.0	87.1	23.1	167.9	128/86	3,060
$\bar{x}$			157.7	53.6	82.9	18.8	137.6	120/80	3,225

表2 Maximal data of cardio-pulmonary functions of swimmers

	HR (beats/m)	SBP (mmHg)	DBP (mmHg)	Mean P (mmHg)	O <sub>2</sub> pluse (ml)	RR (times/m)	$\dot{V}E$ (l/m)	TV (ml)	$\dot{V}O_2$ max (ml/kg·m)	O <sub>2</sub> -R (ml)
I S A	188	220	40	100.0	19.1	69	121.4	1,760	47.61	29.6
K A N	194				18.9	74	128.6	1,737	49.52	28.5
I T O	204				19.2	67	125.8	1,877	55.88	31.1
A K O	177	192	52	98.7	15.9	67	86.7	1,294	48.99	32.5
O G T	205	192	44	93.3	17.4	67	118.3	1,765	61.92	30.1
U N O	195				17.2	69	108.2	1,568	58.84	31.0
I W A	197				17.0	75	106.9	1,425	48.64	31.4
S T O	184	230	50	110.0	18.6	75	110.1	1,469	44.20	31.1
S H M	192	196	50	98.7	19.6	55	113.4	2,062	56.20	33.2
$\bar{x}$	193	206	47	100.1	18.1	62	113.2	1,662	52.42	30.9
K R O	192	190	62	104.7	11.4	65	68.9	1,060	43.81	31.8
Y A M	195				12.2	55	70.7	1,286	44.14	33.7
H R O										
T A K	195	202	60	107.3	13.3	63	74.8	1,187	48.37	34.6
Y O S	193	218	44	102.0	14.1	59	79.1	1,341	50.38	34.4
M A K	188	172	54	93.3	10.9	65	72.5	1,115	36.11	28.4
$\bar{x}$	193	196	55	101.8	12.4	61	73.2	1,198	44.56	32.6

は、水泳競技シーズンの始まる4月より8月下旬にいたる4カ月間とし、1日1回、週6日を原則とした。低圧環境暴露は、午後の3時間を充当し、頭初の約60分で標高3,000~3,500m相当の低

圧環境に適応させ、続く約120分間に流水プールにおける水泳トレーニングを課すという方法をとった。流水プールにおけるトレーニングは10分泳の反復とし、負荷強度は、かなりきついと自覚し

うる程度の、RPE 値にして16~18に相当する submaximal load とし、流速により調節した。低圧環境下の流水プールにおける水泳トレーニングの状況を図1に示した。

生理機能の測定は、低圧環境下の流水プールにおける水泳トレーニングの開始前および4カ月後とした。測定に先立ち、前日に treadmill test を課して有酸素性作業能を明らかにしたのち、食後9時間以上経過した空腹安静時の採血を行った。

測定項目は白血球数、赤血球数、ヘモグロビン量、ヘマトクリット値などの一般検査のほか、総蛋白 (Biuret 法) 尿素窒素 (Urease-GLDH 法)、尿酸 (Uricase-EHSPT 法)、血糖 (GOD-POD 法)、乳酸 (酵素電極法)、総コレステロール (COD-POD 法)、中性脂肪 (GK-GPO 法)、そして pH (Sorensen 法)、 $PCO_2$  (Stow 法)、 $PO_2$

(Clark 法) などとした。採血は医師により、肘部正中静脈より静脈血を採取するのを原則としたが、必要に応じ肘部上腕動脈より動脈血を採取した。

安静時血中物質の測定後、被検者にそれぞれ軽食をとらせ、低圧環境に暴露させた。流水プールにおけるトレーニングは10分泳の反復を原則としており、それぞれ最初の10分泳時の心拍数連続記録をポリグラフ (日本光電製, RM-6000) により導出し、運動時心拍数の推移を観察した。またこの10分泳の前後で、随時、呼気ガスおよび血液の採取を行った。このあと被検者にはそれぞれ、120分にわたり、交互に水泳トレーニングを課した。

### 実験成績

#### 1. 低圧環境下のトレーニングにおける酸素運搬系の動向

低圧環境下のトレーニング負荷としての水泳運動が、酸素運搬系に与える影響を血液ガスの動態から観察した。図2がそれで、水泳運動により、血液 pH、血液中の酸素分圧および二酸化炭素分圧がどのような推移を示すかをみたものである。図の上段に動脈血のそれを、同じく下段に静脈血

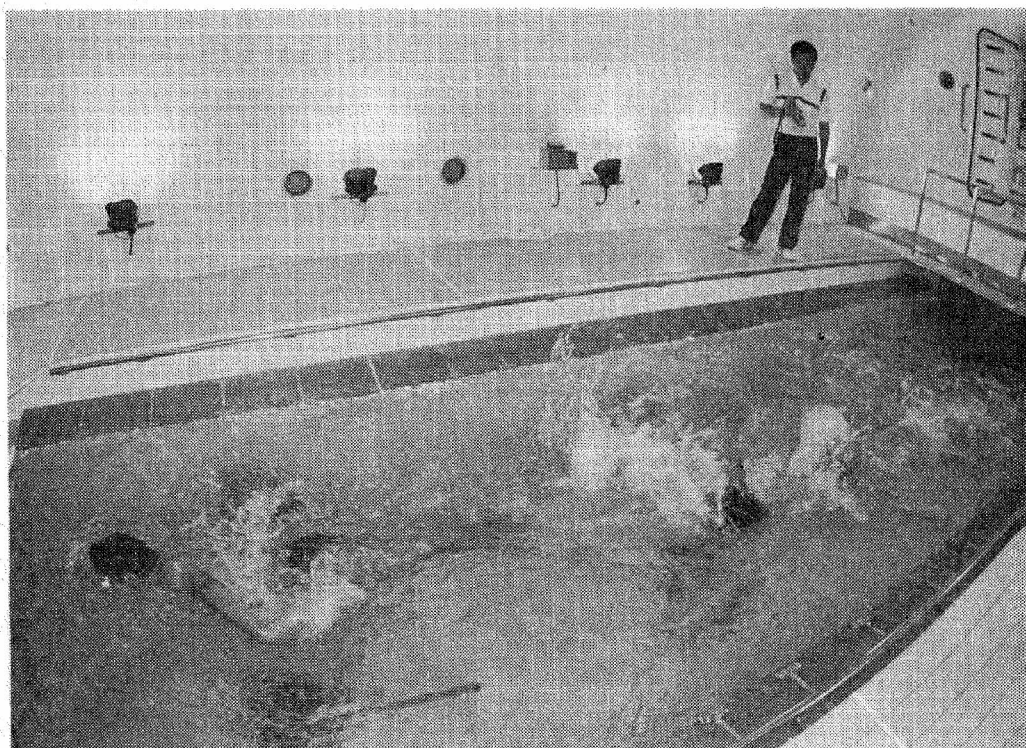


図1 A photograph showing the swimming exercise of hypoxic training in swim-mill.



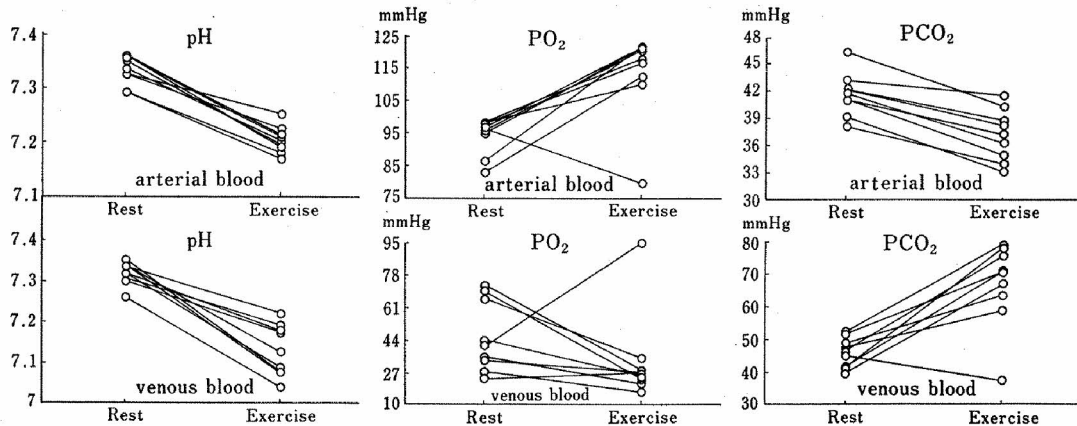


図2 Changes in blood gases due to swimming exercise in arterial (upper) and in venous (under) blood samples.

(いずれも橈骨動静脈)の成績を示した。

水泳運動の影響は、静脈血の変化にみられるように、血液 pH の 3% 程度の低下および、血中の酸素分圧の約 45% の減少と二酸化炭素分圧の約 45% の増加という、酸素消費の増大とそれともなう代謝産物産生の増大を示唆する結果を示した。しかし、動脈血ガスの動態は必ずしもこれと一致せず、血液 pH は確かに 2~3% の低下を示したものの、血中の酸素分圧は約 20% の増加を示し、二酸化炭素分圧は 10% 以上の有意な減少を示した。すなわちトレーニング負荷としての水泳運動は、酸素供給と回収に合目的に機能していると考えられ、酸素運搬系の十分な活性化に大きく寄与していると思われる。

血液ガスの動態とならんで、それを活動筋に供給する心拍数の機序も重要な意味を有する。トレーニング負荷時の心拍数の推移は、まず図 3 に連続 10 分泳におけるものを掲げた。通常の sea level における 10 分泳が、運動開始後 3~4 分で plateau に達し、およそ 135 拍/分程度の心拍水準で推移するのにたいし、標高 3,000m 相当の低圧環境では運動開始後 6~7 分で plateau となり、およそ 150 拍/分程度の 10% 高い心拍水準で推移するのを例とした。さらに標高 3,500m 相当の低圧環境下になっても 6~7 分で運動時心拍数に plateau があら

われるのに変りはなく、165~170 拍/分程度のさらに 10% 高い心拍水準に達するのが一般であった。

図 4 にはトレーニング負荷としての 10 分泳を、1 分運動、1 分休息というインターバル形式の断続 10 分泳としたときの運動時心拍数の推移を掲げた。通常の sea level では運動時心拍数ははじめ 140 拍/分程度から徐々に増加し、図では 160 拍/分を越えるときもあるが、多くは 150 拍/分程度で終始し、一方、休息期には図にあるように大幅な心拍数回復 (30% 以上の変化率) のみられるのが通例であった。しかし標高 3,000m 相当の低圧環境下では、運動時の心拍数上昇が、sea level のそれに比してつねに 10% 程度小さく、また休息期の心拍数回復も運動時のその 10% 程度に過ぎず、図にあるように sea level における大幅な心拍数変動と異なって、すべての被検者で、心拍数変動は小幅な範囲にとどまっていた。

## 2. 低圧環境下のトレーニングによる血中物質の変動。

低圧環境下における 4 カ月の水泳トレーニングの前後において、安静時の血中物質の変動を観察した。そのうちのいくつかを、表 3 に掲げた。上段はトレーニング開始前、そして下段は 4 カ月のトレーニング後の測定値である。安静状態における赤血球数、ヘモグロビン量、ヘマトクリット値

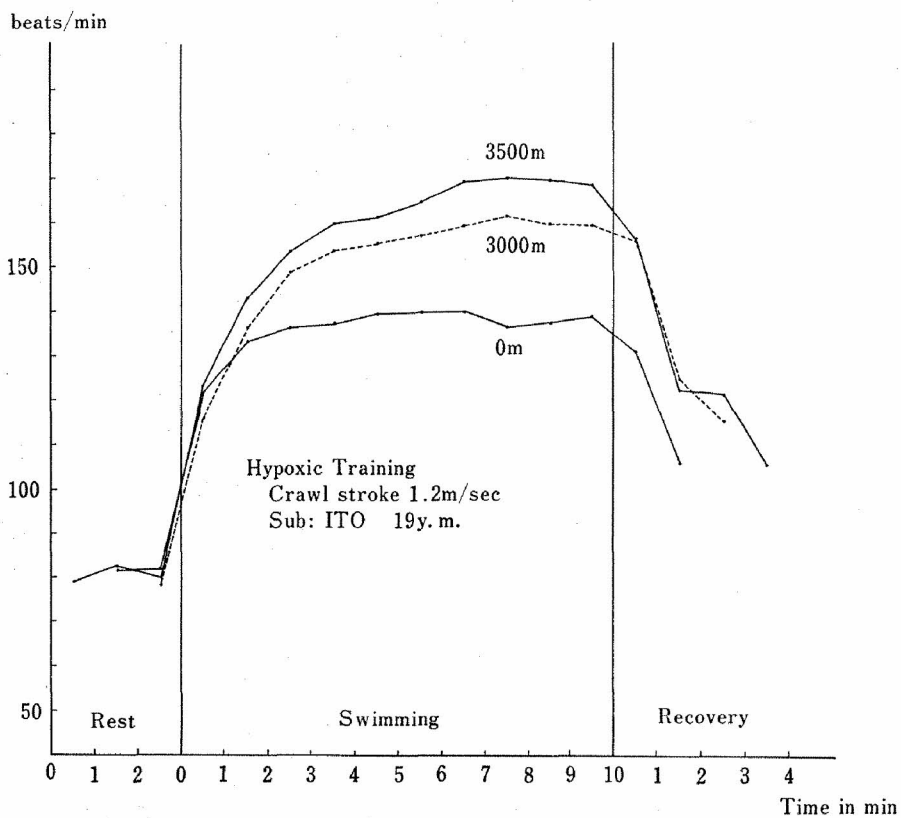


图 3 Changes in heart rate due to swimming exercise in hypoxic training at various kinds of high-altitudes.

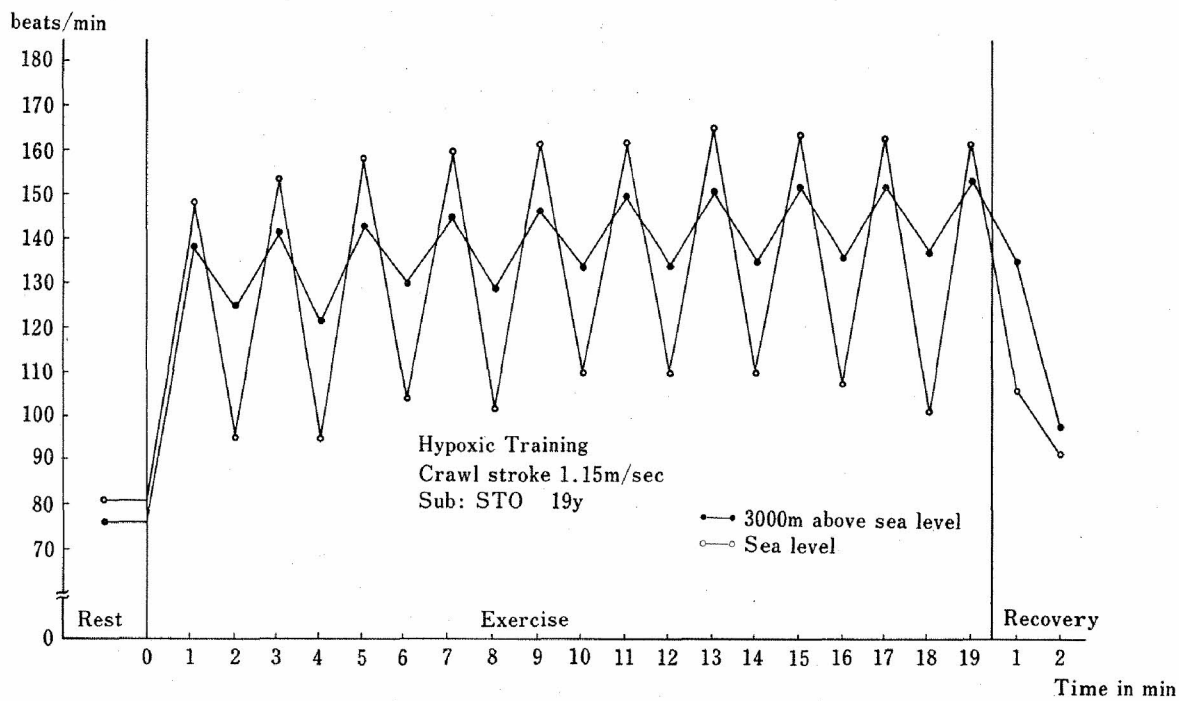


图 4 Changes in heart rate due to swimming exercise in hypoxic interval training at various kinds of high-altitudes.

表3 Blood constituents of swimmers at rest before training

	RBC (10 <sup>4</sup> /mm <sup>3</sup> )	Hb (g/dl)	Ht (%)	pH	PO <sub>2</sub> (mmHg)	Glucose (mg/dl)	LA (mg/dl)	CHOL (mg/dl)	TG (mg/dl)	TP (g/dl)
I S A										
KAN	557	16.0	47.7	7.37	32.9	70		164	55	6.8
I T O	552	15.5	45.3	7.33	30.5	71	5	263	50	6.6
A K O										
O G T	504	14.3	42.5	7.37		73	7	159	46	6.4
U N O	512	15.2	45.1	7.36	34.7					
I W A	554	13.8	43.8	7.41	54.4	87		235	136	
S T O										
S H M										
$\bar{x}$	536	15.0	44.9	7.37	38.1	75	6	205	72	6.6
K R O	402	12.1	36.2	7.35		101		271	74	7.5
Y A M	503	12.7	44.7	7.36		89		127	52	6.8
K R O										
T A K	456	13.2	39.0	7.37	28.4	89	8	300	97	6.7
Y O S	451	12.3	39.9	7.39	38.9	83		214	48	8.1
M A K	450	12.2	36.5	7.37	30.1	88		194	88	7.6
$\bar{x}$	452	12.5	39.3	7.37	32.5	90	8	221	72	7.3

• Blood constituents of swimmers at rest after training

	RBC (10 <sup>4</sup> /mm <sup>3</sup> )	Hb (g/dl)	Ht (%)	pH	PO <sub>2</sub> (mmHg)	Glucose (mg/dl)	LA (mg/dl)	CHOL (mg/dl)	TG (mg/dl)	TP (g/dl)
I S A										
KAN	520	16.2	50.4	7.31	30.3	94	11	179	46	
I T O										
A K O										
O G T	530	16.0	47.2	7.31	43.8	80	11	143	47	
U N O										
I W A	503	16.3	44.2	7.34	33.3	91	10	204	63	
S T O	488	15.3	45.4	7.34	35.9	88	7	159	57	
S H M										
$\bar{x}$	510	16.0	46.8	7.33	35.8	88	10	171	53	
K R O	410	12.8	40.8					142	24	
Y A M	447	13.4	40.9	7.34	44.7	92	7	155	45	
H R O										
T A K										
Y O S	437	13.2	39.0					175	28	
M A K	435	10.6	35.7			77		189	47	
$\bar{x}$	432	12.5	39.1	7.34	44.7	85	7	165	36	

など血球成分にかかわる指標は、トレーニングの前後で有意の変化を示さなかった。

また、静脈血 pH および PO<sub>2</sub> も、トレーニングによる変動はみられなかった。同様に、血糖および血中乳酸にも、男子女子ともトレーニングによ

るとされる変動はみられなかったが、総コレステロールや中性脂肪などの血中脂質については、男子および女子のいずれも、4カ月の水泳トレーニング後に有意の低下を示していた。すなわち総コレステロール値は男子で平均205mg/dl から171

mg/dlへ、女子で平均221mg/dlから165mg/dlへ、また中性脂肪も男子で平均72mg/dlから53mg/dlへ、女子で平均72mg/dlから36mg/dlへ、それぞれ低下することが認められた。

3. 低圧環境下のトレーニングによる有酸素性作業能力の変動.

低圧環境下における4カ月の水泳トレーニングの前後において、最大酸素摂取量などの有酸素性作業能力の変動を観察した。すなわち、表2に示したような treadmill 漸増負荷法による exhaustion 時の生理機能の反応をみたもので、図5にその1例を示した。

一般に treadmill 走の exhaustion 時間からみた physical performance は、トレーニングの前後において、平均しておよそ5%減を示し、また physical resource としての  $\dot{V}O_2\max$  も平均すると9.6%の減を示したが有意の変化ではなかった。図5にあげた例では、4カ月の水泳トレーニングの前後で、treadmill走時間は11'00''と変りがな

かったが、 $\dot{V}O_2\max$  は55.88から48.95ml/kg・minへむしろ低下を示した。しかし図にもあるように、運動時心拍数の推移や運動時酸素摂取量の推移など、ほとんどトレーニングの前後で変化していないとみてよく、最大心拍数の前後における差は、わずかに平均3拍/分程度であった。

また、運動時の呼吸数および呼吸量の増大にたいし、肺における酸素摂取の効率をみたものがこの図の最下段のグラフであるが、多くの被検者で図のように、トレーニング後に酸素摂取率の変化が小さくなった。

4. 低圧環境下のトレーニングによる運動時心拍数の変動

低圧環境下における4カ月の水泳トレーニングの前後において、有酸素性作業能力そのものの発達はみられなかったが、低圧環境下の運動時心拍数の推移には、次の図6および図7に示したような特徴がみられた。

図6は、標高3,500m相当の低圧環境下におい

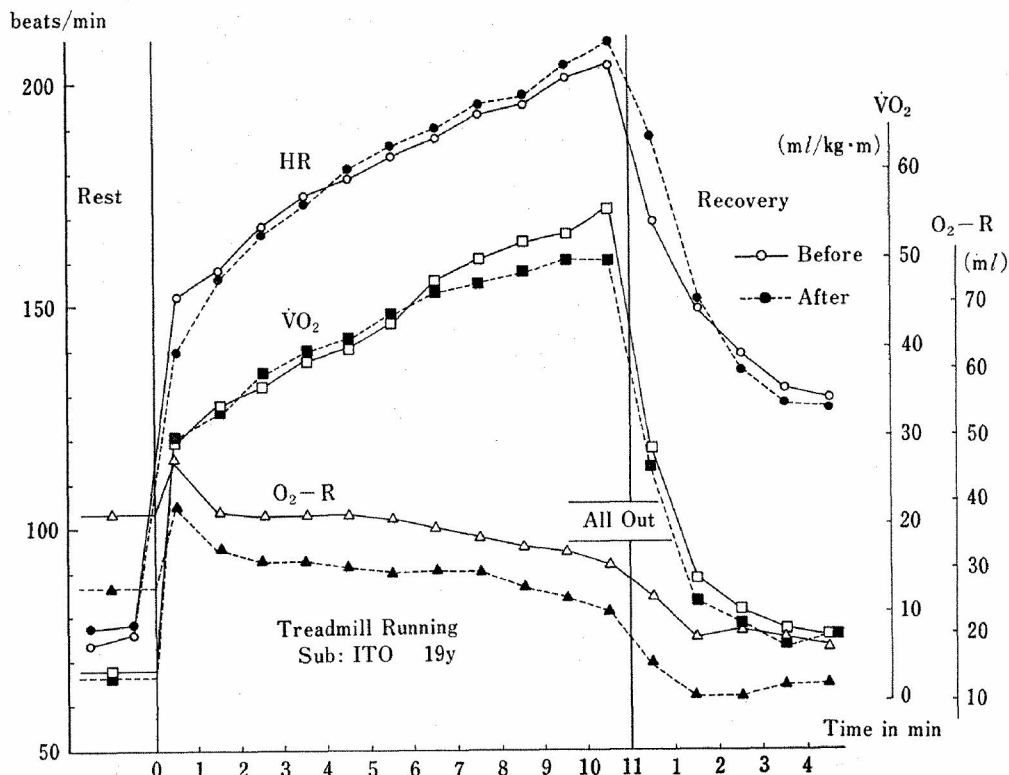


図5 Changes in aerobic capacity due to treadmill exercise before and after hypoxic training.

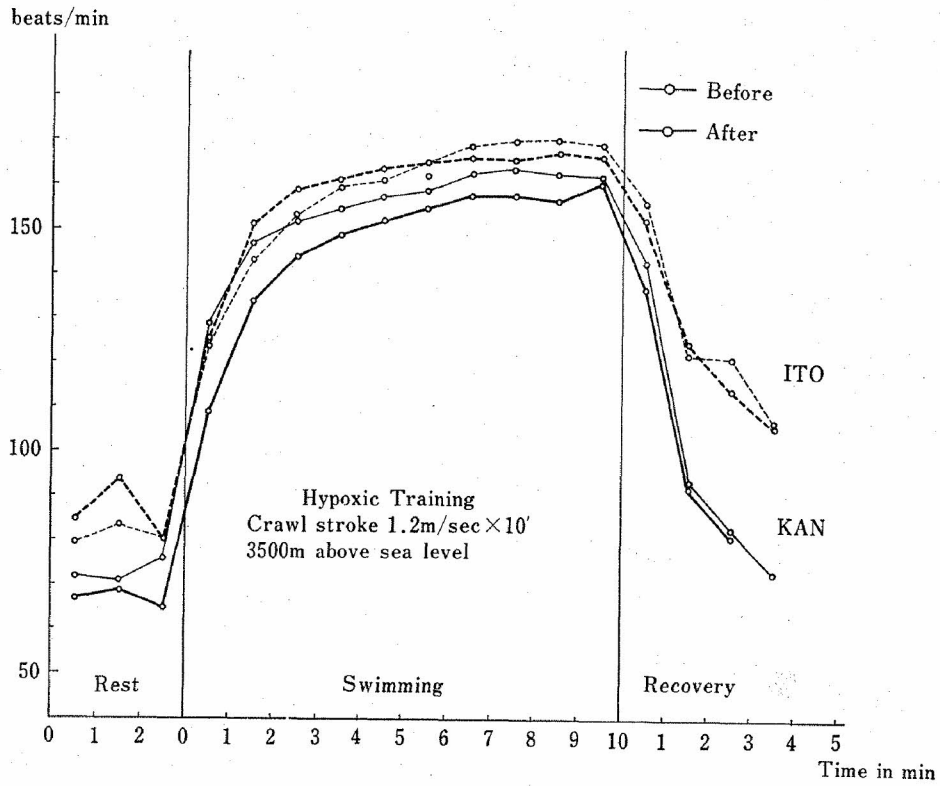


図6 Comparison of changes in exercise heart rate before and after hypoxic training.

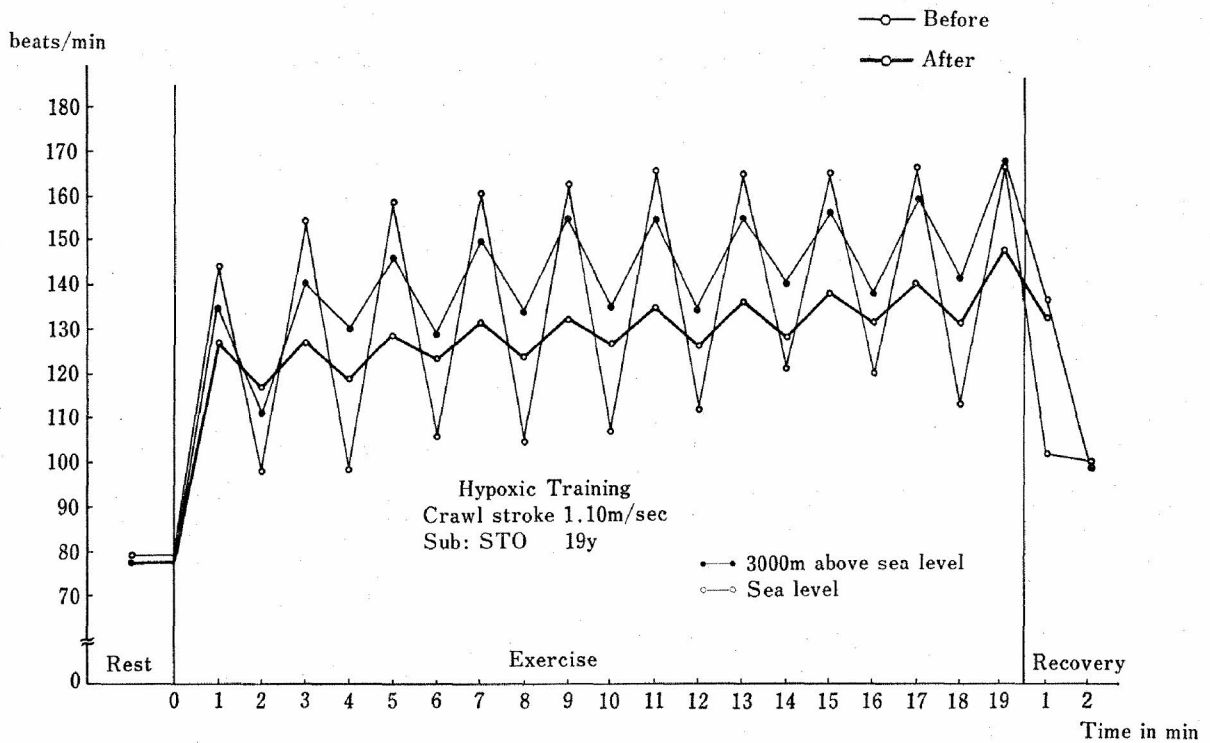


図7 Comparison of changes in exercise heart rate before and after hypoxic intermittent training.

て、同じ1.20m/sec という流速で連続10分泳を負荷したときの、4カ月のトレーニングの前後における運動時心拍数の比較である。細線であらわし

たトレーニング前にたいし、2例とも、太線であらわしたトレーニング後の運動時心拍数の方が、低い水準で推移しているといえよう。



同じく図7には、標高3,000m相当の低圧環境下において、同じ1.10m/secという流速で、インタバル型式の断続10分泳を負荷したときの、4カ月のトレーニングの前後における運動時心拍数の比較である。細線であらわしたトレーニング前のsea levelにおける運動時心拍数にたいし、中太線であらわしたトレーニング前の標高3,000mにおける運動時心拍数は、前述した通り、運動期と休息期の心拍数変動の振幅がsea levelのその1/3程度と小さくなっており、太線であらわしたトレーニング後の標高3,000mにおける運動時心拍数は、さらにトレーニング前のその1/2以下の小さな振幅となっていることが認められる。しかもそれは、連続10分泳におけると同様に、トレーニング前に比して、運動時心拍数は明らかに低い水準で推移していた。

## 考 察

高所環境暴露下の生理的適応については、Banisterら<sup>1)</sup>も、標高2,700mの地で十分な順化の認められることを報告し、肺換気量の増加と全血液量、ヘマトクリット、全赤血球容量、ヘモグロビンなどの増加、そしてHbO<sub>2</sub>や血液酸素容量の増加などを明らかにしている。

しかし最大酸素摂取量や換気効率などは低下し、組織における酸素分圧は明らかに減少するという。低圧が身体に作用した場合、気圧そのものの影響のほかに、低圧にともなって生ずる酸素分圧減少の影響がある。すなわち身体にとり入れられる酸素は、単なる酸素濃度低下にともなう、hypoxiaばかりでなく、肺胞から血液を経て組織にいたるすべての過程において減少していることが考えられる<sup>11)</sup>。

高所環境暴露といっても、本研究では高所順化者という意味ではなく、毎日3時間の一時的低圧環境暴露であり、実験成績に述べたように4カ月を経て、安静時の赤血球数、ヘモグロビン量、ヘ

マトクリット値に増加を認めることはできなかった。静脈血pHおよびPO<sub>2</sub>にも有意の変化はみられず、Daviesら<sup>5)</sup>のこのような酸素運搬系全般にわたる改善はなかったと考えられる。

しかもtreadmill漸増負荷法による有酸素性作業能力の観察によっても、図5にあるようにphysical resourceの面においてもまたphysical performanceの面においても、ほとんど有意の変化はみられなかった。標高5,000m以下のsimulateされた環境条件変化では、顕著な生理的適応を生じない例も多く報告されており<sup>1,5,18)</sup>、その意味では標高3,000mないし3,500m相当の低圧環境は、身体にhypoxiaを生ぜしめるほどの効果的な影響力を持たなかったと考えられる。

しかし、このような低圧環境下の水泳運動負荷が、血液pHの低下、あるいは酸素分圧の大幅な減少と二酸化炭素分圧の大幅な増加をもたらすことは、運動時の一般的反応としてこれまでもしばしば指摘されてきた<sup>4,10,13,16)</sup>。酸素消費の著しい増大とそれにともなう代謝過程の活性化を考えれば<sup>9,12)</sup>、生理的応答として当然の結果であるが、図2の動脈血ガスの動向は、新たな知見を付加するものと考えられる<sup>14)</sup>。たしかに水泳運動は血液pHを低下させるが、このとき、血中の酸素分圧は明らかに増加し、また二酸化炭素分圧は有意の減少を示していた。

このことは、酸素供給を主とする酸素運搬系の機能的活性の高進していることを示唆するものであり、しかもそれは、心拍数を加味した心拍出量として考えれば、図3にあるようにsea levelよりは標高3,000m、あるいはさらに3,500mの条件下において著しく大きくなると考えられる。

低圧環境下のインタバル・トレーニングにおいて、運動時心拍数が図4に示した推移をたどるのも注目される。sea level時に比して回復が十分でないのは理解されるが、酸素需要の高進する運動時の心拍数上昇がつねに小幅な変動となって

いる。

これについて Brooks ら<sup>3)</sup>は、体腔としての肺は、減圧時に呼息が促進されるのにたいし、吸息は所要時間も延長して抑制され、実質的に肺容積が減少すると述べている。低圧環境下の運動時心拍数増加が小幅に抑制されるのは、このような酸素摂取水準の増加が抑制されたことによると推察される。

しかし低圧環境下の流水プールにおける4カ月のトレーニング後にあらわれた運動時心拍数の推移は、図6に連続10分泳、図7に断続10分泳のものを示したが、心拍数変動がトレーニング前をさらに大きく下まわる点が特色である。sea levelにおける有酸素性作業能力は前述したように、有意の変化を示していない。標高3,000mないし3,500mに相当する低圧環境下においては、等しい負荷強度であるにもかかわらず、トレーニング後で、運動時の酸素摂取水準は明らかに低下を予測させるものである。

4カ月間の水泳トレーニングにより酸素摂取水準の増加が抑制されたというよりも、むしろトレーニング後では、少ない酸素摂取量で同一運動量を遂行しうるような機転が生じたものと推察される。

## 総 括

水泳選手がより大きな競技力を発揮するためには、運動に要するエネルギー総量を最大限に発達させる必要があり、それには酸素摂取能力および酸素運搬能力を高めるトレーニング法の開発が望まれる。

本研究では、これを水泳運動時の生理的限界の発達ととらえて、大気圧を sea level から標高3,000mないし3,500m相当の低圧環境に変化させて、最大酸素摂取水準の動向と酸素運搬系の変化を検討した。

被検者は18～21歳の健康な男女大学生15人とし

た。低圧環境暴露は1日1回週6日を原則とし、午後の3時間をそれにあて、はじめの60分で低圧環境に適応させ、続く120分間に流水プールにおける水泳トレーニングを課した。トレーニングは10分泳の反復とし、負荷強度はRPE値にして16～18に相当する submaximal load とし、流速により調節した。

低圧環境下の流水プールにおいて4カ月の水泳トレーニングを課し、その前後で生理機能の測定値を比較した。安静時の赤血球数、ヘモグロビン量、ヘマトクリット値に増加を認めることはできなかった。同じく静脈血pHおよび $PO_2$ にも有意の変化は認められなかった。Treadmill漸増負荷法により観察した有酸素性作業能力においても、トレーニングの影響を見出すにはいたらなかった。

しかし低圧環境下のトレーニング負荷としての水泳運動が、酸素運搬系に与える影響を血液ガスの動態により観察したところ、静脈血においては負荷の前後で血液pHの低下、酸素分圧の減少と二酸化炭素分圧の増加をもたらし、酸素消費の増大とそれともなう代謝産物の増加を示唆する結果を示した。

一方動脈血においては、負荷の前後で血液pHの低下はみられたものの、酸素分圧の増加と二酸化炭素分圧の減少をもたらし、酸素供給を主とする酸素運搬系の機能的活性の高進していることが示唆された。しかし運動時の心拍数増加は小幅に抑制される傾向がみられた。また、低圧環境下の連続10分泳、または断続10分泳という運動時心拍数の推移にも、4カ月のトレーニングを経て、心拍数増加が著しく小幅に抑制される傾向がみられ、少ない酸素摂取水準で運動負荷を遂行できるような機転の生じたことが推察された。

文 献

- 1) Banister, E.W. and W. Woo; Effects of simulated altitude training on aerobic and anaerobic power. *Europ. J. Appl. Physiol.*, **38**(1) : 55—59 (1978)
- 2) Billings, C., R. Bason, D. Mathews and E. Fox; Cost of submaximal and maximal work during chronic exposure at 3,800m. *J. Appl. Physiol.*, **30**(3) : 406—408 (1971)
- 3) Brooks, G.A. and T.D. Fahey; Exercise physiology. Human bioenergetics and its applications. John Wiley & Sons. NY. (1984)
- 4) Counsilman, J.E.; The science of swimming. Prentice-Hall. NJ. (1968)
- 5) Davies, C.T.M. and A.J. Sargeant; Effects of hypoxic training on normoxic maximal aerobic power output. *Europ. J. Appl. Physiol.*, **33** : 227—236 (1974)
- 6) Fox, E.L. and D.K. Mathews; Scuba and performance at altitude. In "The physiological basis of physical education and athletics" 433—453. Holt Saunders. Philadelphia. (1981)
- 7) Humpeler, E., K. Inama and P. Deetjen; Improvement of tissue oxygenation during a 20 days-stay at moderate altitude in connection with mild exercise. *Klin. Wochenschr.*, **57**(6) : 267—272 (1979)
- 8) 宮下充正 ; 水泳の科学, 杏林書院, 東京 (1970)
- 9) 宮下充正 ; トレーニングの科学, 講談社, 東京 (1977)
- 10) 芝山秀太郎, 江橋博, 西島洋子, 松沢真知子 ; 水泳運動の身体機能におよぼす効果, 体力研究, **44** : 47—53 (1979)
- 11) 芝山秀太郎, 江橋博 ; 運動と循環呼吸の生理, 一条書店, 東京 (1984)
- 12) 田口信教 ; 水泳, 旺文社, 東京 (1984)
- 13) 田口信教, 芝山秀太郎 ; 水泳競技力向上に關与する身体的要因, 体育の科学, **35**(9) : 717—720 (1985)
- 14) 田口信教, 芝山秀太郎 ; 低酸素環境暴露と水泳競技力の推移, 第36回日本体育学会大会号, 300 (1985)
- 15) 田口信教 ; 水泳トレーニングにおける科学の役割, 人類働態学会報, **51** : 17—18 (1986)
- 16) Taguchi, N., H. Shibayama and M. Miyashita; Mechanical and physiological added loads during swimming with a drag suit. Abstracts of 5th Int'l Symp. *Biomechanics Med. Swimming.*, **77**, Bielefeld (1986)
- 17) 田口信教, 深代泰子, 芝山秀太郎 ; 壮年者における水泳運動習慣の生理的効果, 第37回日本体育学会大会号, 904 (1986)
- 18) Wagner, J.A., S. Robinson and R.P. Marino; Age and temperature regulation of humans in neutral and cold environments. *J. Appl. Physiol.*, **37** : 562—565 (1974)