

長期の水中運動が競泳選手の心形態及び機能に及ぼす影響

田口信教*, 山奥慎一**, 平田文夫*, 齋藤和人*

Echocardiographic evaluation of the left ventricle in swimmers before and after endurance training

Nobutaka TAGUCHI*, Shinichi YAMAOKU**, Fumio HIRATA* and Kazuhito SAITOH*

Abstract

The authors studied the effects of endurance training on the left ventricular (LV) function and LV mass, the aerobic capacities and the sympathovagal regulation of circulatory function in 6 swimmers.

Echocardiographic measurements, the maximal oxygen consumption and the power spectral analysis of heart rate variability (HRV) were performed before and after 12 weeks of training. The low frequency (0-0.15 Hz; LF) and the high frequency (0.15-0.5 Hz; HF) areas under spectra were calculated for evaluating sympathetic (LF/HF) and vagal (HF) activities. The endurance training caused a significant increase in the LV diastolic dimensions (LVDD), stroke volume, LV mass, maximal oxygen consumption, R-R intervals ($p < 0.01$) and the HF peak power ($p < 0.05$) of swimmers. The correlation of maximal oxygen consumption with LVDD ($r=0.819$) or LV mass ($r=0.795$) was significant ($p < 0.01$). However, there were no statistic correlation between the increase of swimming speed and any cardiac parameters.

These results that LVDD and LV mass measured by echocardiography may be useful to predict the aerobic capacities of swimmers, however, the improvement of swimming speed caused by endurance training may be due to not only aerobic capacities but many other factors.

KEY WORDS: *Echocardiography, Swimmer, Training, Heart rate variance, Maximal oxygen consumption.*

緒 言

ある程度以上の身体運動を長期間繰り返すと徐脈, 心肥大, 心拡大などの様々な変化をもたらす。このような心臓は「スポーツ心臓」と呼ばれている¹⁾⁻³⁾。身体運動を大別すると静的運動と動的運動に分けられる。ウエイトリフティング, 投てき, レスリングのように筋が等尺性収縮を行う静的運

動では, 末梢の血管系が圧迫されて抵抗が高まり, 血圧は急激に上昇を続け, 左心室壁厚の増大を主体とした求心性肥大を生じるとされている。ランニング, サイクリング, 水泳などのような動的運動では, 筋収縮と弛緩がリズムカルに繰り返され, 血流量が増大しても末梢の血管が拡張し, 抵抗が小さくなるので, 血圧の上昇は比較的緩徐である。また, 静脈系に対しては, 筋ポンプの働きによっ

* 鹿屋体育大学 National Institute of Fitness and Sports in Kanoya, Kagoshima, Japan.

** (株)南海スポーツ企画 Nankai Sports Plan Corporation, Ehime, Japan.

て、血液の心臓への還流が促進され、左心室容積の増大を主体とした遠心性肥大を生じるとされている。¹⁾⁴⁾しかし、実際のスポーツの運動様式は単一ではなく静的、動的運動が混在し、心形態及び機能の影響は様々と考えられる。また競泳では、水中という特殊環境下で行われるため、心臓に特殊な変化を及ぼす可能性も考えられる。

そこで、著者らは、競泳選手を対象として、水中運動が最大酸素摂取量、心形態及び機能、自律神経活動に及ぼす影響、さらに、競技成績とこれらの関連について検討した。

方 法

〔被検者〕

被検者は、体育学専攻の水泳選手6名(身長 171.9 ± 3.3 cm, 体重 67.1 kg, 年齢 20 ± 1 歳)で、いずれも日本学生選手権に出場経験のある水泳経験年数10年以上の熟練した選手であった。実験を

開始するにあたり、すべての被検者に本研究の目的、方法を十分に説明し、研究への参加の同意を得た。

〔トレーニング期間と方法〕

本研究では水中運動の頻度は、1日2回を週4回と1日1回を週1回の頻度で12週間行った。運動量は、練習開始2週間は、一回約3000m、次の2週間は、一回約4000m、次の2週間は、一回約6000m、次の2週間は、一回約5000m、次の2週間は、一回約4000m、次の2週間は、一回約3000mのトレーニングを行った(表1)。

〔最大酸素摂取量の測定〕

12週間のトレーニング前後に、最大酸素摂取量の測定を行った。運動負荷にスイムミルによるクロール泳をえらび、負荷強度の設定は、 $0.90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の泳速から開始し、 $1.10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ までは2分毎に $0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ずつ、それ以降は1分毎に $0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ずつ、疲労困憊に至るまで増速する漸増負荷法を用いた(図1)。

表1 主なトレーニング強度と練習量

	月	火	水	木	金	土	日
A. M	Aerobic	A2-AN2	OFF	A2-AN2	Aerobic	AN2	OFF
P. M	EN2	AN2	OFF	EN2	EN1	OFF	OFF

A2: ドリル練習ペース OFF: 休養
 EN1: 最大下持久力ペース AN2: 最大持久力ペース
 EN1: スピード向上 AN2: パワー向上

Training Week	1 - 2	3 - 4	5 - 6	7 - 8	9 - 10	11 - 12
Distance	3.000m	4.500m	6.000m	5.000m	4.000m	3.000m

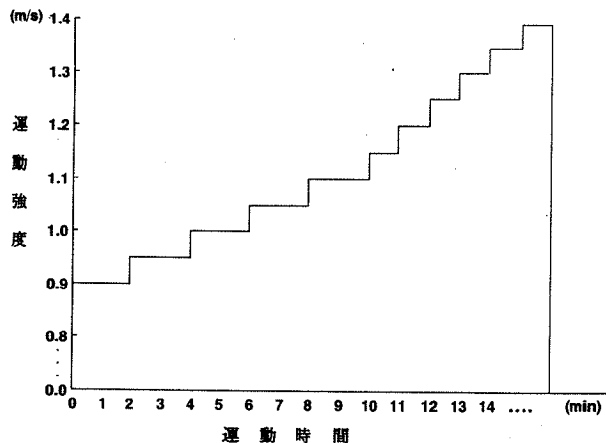


図1 最大酸素摂取量測定のための漸増負荷設定例

運動中, 呼気ガスを連続採気し, 自動呼吸代謝機能測定装置 OXYCON (Mijn-hardt 社製) により30秒毎の呼気ガスを記録し, 酸素摂取量及び一回換気量の測定を行った。

〔心エコー図測定〕

12週間の水中運動前後に各被検者の心エコー図を記録・測定した。電子操作型超音波診断装置 (SSH-140A, 東芝) を用いて, 被検者を仰臥位にし, 安静時の左心室腔のMモード心エコー図を記録した (紙送り速度 $50\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)。心エコー図を観察・記録の際には, 探触子を第三ないし第四肋間胸骨左縁に置き, 心断層図を実時間で観察しつつ, 僧帽弁前尖ないし, 腱索の一部が見える通常の短軸測定方向のビームを選び, 心室中隔, 左心室後壁及び左室内腔を記録した。そして, 心電図のR波の頂点で, 左室拡張期径 (LVDb), 左心室後壁厚 (PWth), 心室中隔厚 (IVSth) を, 心音図の第2音大動脈弁成分の開始時点で左室収縮期径 (LVDS) を計測し, 左室壁厚 (LVWT) 左室駆出率 (EF), 1回拍出量 (SV) 及び左室心筋重量 (LVM) を以下の公式を用いて求めた。⁵⁾

- ・ $\text{LVWT} = \text{PWth} + \text{IVSth}$
- ・ $\text{SV} = \text{Dd}^3 / 1000 - \text{Ds}^3 / 1000$
- ・ $\text{EF} = \text{SV} / \text{Dd}^3 \times 1000$

$$\cdot \text{LVM} = 1.04 \{(\text{Dd} + \text{PWth})^3 - \text{Dd}^3\} / 1000 - 14$$

〔心拍変動〕

12週間の水中運動前後に各被検者の心拍変動を測定した。心電図を胸部双極誘導によって15分間集積し, PREDICTER II (Corazonix 社) による自動解析システムにより R-R 間隔をスペクトル解析し, 0-0.15Hz のパワーの総数を求め, 低周波と高周波の比 (LF / HF) を交感神経系活動, 高周波成分 (HF) を副交感神経系活動の指標とした⁶⁾⁸⁾ (図2)。

〔100m及び200m泳の測定〕

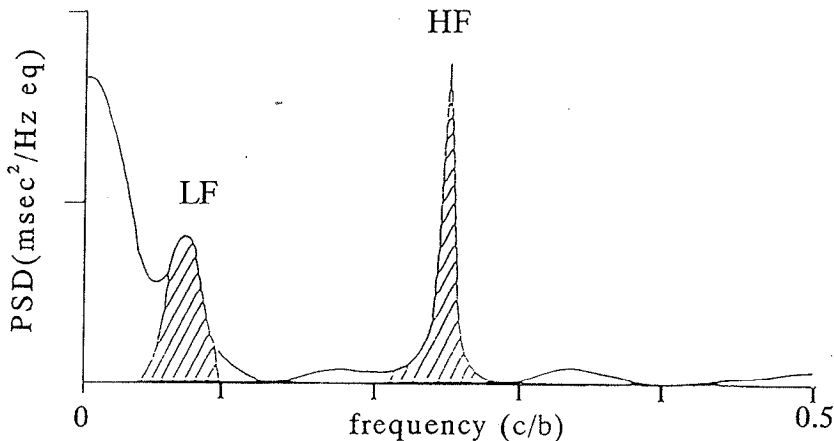
12週間の水中運動前後に各被検者の記録会を行い, 各自の専門種目で100m泳と200m泳を行い, 泳速度 (m / sec) を測定した。

〔統計分析〕

結果は全て平均値±標準偏差であらわし, 12週間の水中運動前後の変化は, 対応のあるt検定を用い検討し, 危険率5%未満を有意とした。

最大酸素摂取量と心形態および機能, 100m及び200m泳の泳速の変化と心形態, 心拍変動と自律神経系活動との相関は, 一次回帰検定を行い, 危険率5%未満をもって有意差ありと判定した。

Power spectral density



LF : Low Frequency : ~0.1 c/b

HF : High Frequency : ~0.25 c/b

図2 心拍変動パワースペクトル密度関数

結 果

1. 心エコー図所見

水中運動により左室拡張期径は 55 ± 2 mm が 58 ± 2 mm, 一回拍出量 123.9 ± 13.2 ml が 142.0 ± 15.2 ml, 左室心筋重量 215.3 ± 25.4 g が 242.8 ± 37.2 g, 体重当りの左室心筋重量は 3.3 ± 0.4 g \cdot kg $^{-1}$ が 3.7 ± 0.6 g \cdot kg $^{-1}$, 体表面積当りの左室心筋重量 121.2 ± 15.3 g \cdot m $^{-2}$ が 136.7 ± 22.4 g \cdot m $^{-2}$ と有意な増大を示した ($p < 0.01$)。また, 左室拡張期径は, 35 ± 1 mm が 37 ± 1 mm, 左室壁厚は 17 ± 1 mm が 18 ± 1 mm, 心拍出量 7.84 ± 1.01 l \cdot min $^{-1}$ が 7.96 ± 0.91 l \cdot min $^{-1}$ と有意な増大を示した ($p < 0.05$)。

しかし, 左室駆出率においては, 有意な変化は認められなかった (表2)。

2. 身体形態

身体形態は, 水中運動により有意の変化を認めなかった。

3. 最大酸素摂取量

水中運動により最大酸素摂取量は 3.30 ± 0.31 l \cdot min $^{-1}$ が 3.95 ± 0.51 l \cdot min $^{-1}$, と有意に増大した ($p < 0.01$)。しかし, 一回換気量においては, 有意な変化は認められなかった。

4. 心拍変動

水中運動により安静時心拍数は 61 ± 6 bpm が 56 ± 5 bpm と有意に減少した ($p < 0.05$)。R-R 間隔のスペクトル分析による高周波成分 (HF) においては, 25.1 ± 13.8 % が 33.8 ± 14.5 % と有意な増大が認められた ($p < 0.01$)。しかし, 低周波成分と高周波成分の比 (LF / HF) においては, 有意な変化を示さなかった。

5. 100m及び200m泳の泳速度

水中運動により100m泳は, 1.62 ± 0.2 m \cdot sec $^{-1}$ が 1.63 ± 0.2 m \cdot sec $^{-1}$ ($p < 0.05$), 200mは 1.48 ± 0.1 m \cdot sec $^{-1}$ が 1.54 ± 0.1 m \cdot sec $^{-1}$ ($p < 0.01$)とどちらの泳速度も有意な増大を示した。以上の諸指標のトレーニングによる変化を表3に

表2 トレーニング前後の心エコー図所見 (平均値±標準偏差)

		Pre-test	Post-test	P
左室拡張期径	(mm)	55±2	58±2	**
左室拡張期径	(mm)	35±1	37±1	*
左室壁厚	(mm)	17±1	18±1	*
一回拍出量	(ml)	123.9±13.2	142.0±15.2	**
心拍出率	(l)	7.84±1.0	7.96±0.9	**
左室駆出率	(%)	74±2	74±1	NS
左室心筋重量	(g)	215.3±25.4	242.8±37.2	**
体重当たり左室心筋重量	(g/kg)	3.3±0.4	3.7±0.6	**
体表面積当たり左室心筋重量	(g/m ²)	123.9±13.2	142.0±15.2	**

NS: not significant. ** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$

表3 水中運動前後の被検者の身体的特性及び諸指標値 (平均値±標準偏差)

		Pre-test	Post-test	P
身長	(cm)	172.3±3.8	172.2±4.1	NS
体重	(kg)	65.6±2.5	65.3±3.1	NS
体表面積	(m ²)	1.78±0.1	1.71±0.2	NS
最大酸素摂取量	(l/min)	3.34±0.	3.96±0.5	**
	(ml/kg/min)	50.8±4.1	60.6±7.4	**
一回換気量	(l)	2.31±0.3	2.31±0.3	NS
安静時心拍数	(dpm)	61±6	56±5	**
副交感神経系活動	(%)	25.1±13.8	33.8±14.5	*
交感神経系活動	(%)	1.41±0.9	1.41±1.0	NS
100m泳の記録	(m/sec)	1.62±0.2	1.63±0.2	*
200m泳の記録	(m/sec)	1.48±0.1	1.54±0.1	*

NS: not significant. ** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$

まとめて示した。

6. 最大酸素摂取量と心形態との関係

最大酸素摂取量と、左室拡張期径、左室収縮期径、心室中隔厚、左室後壁厚、一回拍出量、左室心筋重量、体重当たりの左室心筋重量、体表面積当たりの左室心筋重量の間において正の相関関係が得られた。その中でも、体重当たりの最大酸素摂取量と左室拡張期径および左室心筋重量では、

相関係数0.819, 0.795と比較的高い相関が得られた(表4)。

7. 自律神経系活動と心拍数及び心形態との関係

副交感神経活動を反映する高周波成分(HF)と安静時心拍数の間にのみ、有意な相関関係が得られた($p < 0.05$)。しかし、HF及びLF/HFと他の心形態の間には、有意な相関関係は得られなかった(表5)。

表4 心形態及び機能と最大酸素摂取量との関係

	最大酸素摂取量	
	(l / min)	(ml / kg / min)
左室拡張期径	0.781 **	0.819 **
左室収縮期径	0.635 *	0.675 *
心室中隔厚	0.589 *	0.651 *
左室後壁厚	0.673 *	0.709 *
1回拍出量	0.658 *	0.712 **
心拍出量	0.161NS	0.362NS
左室駆出率	0.499NS	0.577NS
左室心筋重量	0.732 **	0.795 **
体重当たり左室心筋重量	0.604 *	0.759 **
体表面積当たり左室心筋重量	0.624 *	0.789 **
安静時心拍数	-0.619 *	-0.478NS

NS: not significant. ** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$

表5 自律神経系活動と心形態及び最大酸素摂取量との関係

	交感神経系活動	副交感神経系活動
左室拡張期径	0.306NS	-0.119NS
左室収縮期径	0.260NS	-0.236NS
心室中隔厚	0.211NS	-0.055NS
左室後壁厚	0.470NS	-0.089NS
1回拍出量	0.312NS	-0.280NS
心拍出量	-0.229NS	0.280NS
左室駆出率	0.525NS	0.102NS
左室心筋重量	0.323NS	0.111NS
体重当たり左室心筋重量	0.132NS	0.153NS
体表面積当たり左室心筋重量	0.165NS	0.022NS
安静時心拍数	-0.466NS	-0.581 *

NS: not significant. ** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$

8. 100m及び200m泳の泳速の増加率と心形態の増加率との関係

100m及び200m泳における泳速の増加率と心形態の増加率との間には、全ての指標において相関関係は認められなかった(表6)。

9. 100m及び200m泳の泳速の増加率と最大酸素摂取量の増加率との関係

100m及び200m泳における泳速の増加率と最大酸素摂取量の増加率との間には、相関関係は認められなかった(表6)。

考 察

1. 水中運動が心形態及び機能に及ぼす影響

ランニングなどによる持久的トレーニングにより、左室拡張期径が増大することは報告されている¹¹⁾⁹⁾⁻¹²⁾が、競泳による影響を報告したものは少ない。Ehsani¹¹⁾は、大学生に週6日間、1日2時間(4000~6000m)の水泳プログラムで9週間トレーニングした際の心機能を心エコー図で検討し、左室拡張期径9%、一回拍出量19%、左室心筋重量29%の増加を報告している。しかし、今回の研究では、左室拡張期径4.6%、一回拍出量12.9%、心拍出量5.2%、左室心筋重量12.4%と彼らの報告より少ない増加を示した。その原因としては、彼らの対象は研究開始以前に持久的トレーニングを行っていない被検者であり、本研究

の対象は、小学校低学年から競泳トレーニングを積んでおり、本研究の対象者の左室拡張期径は 55 ± 2 mmとEhsani¹¹⁾の 48.7 ± 4.8 mmより大きいので、これらのことが関与していると考えられる。左室収縮期径は動的トレーニングにより増大する報告¹⁴⁾があるが、本研究においても有意な増大が認められた。しかし、今回の結果では、一回拍出量は増大し、左室駆出率に変化が認められなかったことから、競泳トレーニングの左室収縮期径の増大に及ぼす影響は、左室拡張期径における増大よりも穏やかであることが判明した。左室壁厚は、わずかではあるが有意に増大した($p < 0.05$)。これは、左室拡張期径と左室収縮期径の拡大にともない壁応力が上昇しないように内径と壁厚の比を一定に保つように代償機転を示したものと思われる。

2. 水中運動が自律神経系活動に及ぼす影響

水中運動によって、安静時心拍数は約7%減少した。R-R間隔のスペクトル分析による低周波成分と高周波成分の比においては、トレーニング前の値と同等であったが、高周波成分においては約52%運動前よりも上回っていた。これは、交感神経系活動においては変化がなく、副交感神経系活動が有意に増大したことを示している。つまり水中運動経過に伴う心拍数の減少は、主として副交感神経系活動の亢進が関与していることが明ら

表6 100m及び200m泳の泳速の増加率と心形態及び最大酸素摂取量の増加率との関係

	100m	200m
左室拡張期径	-0.203NS	-0.148NS
左室拡張期径	-0.151NS	-0.096NS
心室中隔厚	-0.029NS	-0.008NS
左室後壁厚	0.419NS	-0.503NS
1回拍出量	0.576NS	0.598NS
心拍出量	-0.641NS	-0.581NS
左室駆出率	-0.726NS	-0.695NS
左室心筋重量	0.492NS	0.579NS
体重当たり左室心筋重量	0.332NS	0.433NS
体表面積当たり左室心筋重量	0.490NS	0.577NS
安静時心拍数	-0.807NS	-0.795NS
最大酸素摂取量	0.604NS	0.618NS
	0.398NS	0.421NS

NS: not significant.

かとなった。

3. 最大酸素摂取量と心形態及び機能との関係

持久的トレーニングにより最大酸素摂取量が増大することは良く知られている。本研究では水中運動によって、体重当たりの最大酸素摂取量は19.1%の有意な増大が認められた。

酸素摂取量は、筋への酸素運搬能力(心拍出量)と筋自体の酸素取り込み能力(動静脈酸素較差)によって決定される。筋の酸素を取り込む能力は、ミトコンドリアの酸化酵素活性やミトコンドリア含量、毛細血管密度などの影響を受けている。ミトコンドリアの酸化酵素活性やミトコンドリア含量は、持久的トレーニングによって増加する事が報告されている¹⁵⁾⁻¹⁷⁾。

また、筋の毛細血管密度の増加は、血管表面積を増加させ、血管からミトコンドリアへの酸素を運搬する経路を短くし、酸素を取り込む能力を促進することができる。この毛細血管密度もトレーニングにより増加することでトレーニングによって筋の酸素取り込み能力が向上することは明らかである¹⁸⁾。

しかし、Gollnickらは、酸化酵素活性が100%増加したのに対し、酸素摂取量の増大は14%しか起らなかったことから、持久的トレーニングにより筋自体の酸素取り込み能力の改善が行われても、それが直接最大酸素摂取量の増大には結びつかないことを報告している¹⁹⁾。

本研究において、筋の酸素取り込み能力については説明できないが、水中トレーニングによって安静時の心拍出量の増大がみられたことから、今回の最大酸素摂取量の増大には、心拍出量の増大が関与しているものと考えられる。

また最大酸素摂取量と心形態及び機能との間には、左室拡張期径、左室心筋重量において、非常に高い相関関係が得られた。これらのことから、左室拡張期径及び左室心筋重量によって最大酸素摂取量の推定ができるものと考えられた。

4. 各自の競技成績との関係

今回の水中運動によって、各自専門種目での100m泳の泳速度は、1.9% ($p < 0.05$), 200m泳の泳速度は、3.4% ($p < 0.01$) の有意な変化が

認められた。

1分程度で疲労困憊に至るような運動におきる有酸素性及び無酸素性エネルギー供給機構の貢献度の割合は、約50%と50%。2分程度で疲労困憊に至るような運動では、約60%と40%であると報告されている²⁰⁾²¹⁾。これらを考えれば最大酸素摂取量の増大が泳速度の改善に關与しているものと考えられる。また身体抵抗の変動が競技成績に影響すると考えられているが、体脂肪率や運動中の一回換気量に変化がなかったことから、身体抵抗に影響はなかったと考えられる。

しかし、100m及び200m泳の泳速度の増加率と今回測定された指標の変化率との間には有意な相関関係は認められなかった。

つまり、左室拡張期径及び左室心筋重量や最大酸素摂取量の増加のみによって泳速度の向上を推定することはできなかった。

結 語

競泳選手を対象として、長期の水中運動が最大酸素摂取量、心形態及び機能、自律神経活動に及ぼす影響、さらに、競技成績とこれらの関連について検討し、以下の結論を得た。

- 1) 長期水中運動により、左室拡張期径、一回拍出量、心拍出量、左室心筋重量は有意に増大した。
- 2) 安静時心拍数は有意に減少し、その原因として副交感神経系活性の亢進が大きく関与しているものと推定された。
- 3) 左室拡張期径及び左室心筋重量と最大酸素摂取量は有意の正の相関を示した。
- 4) 左室拡張期径及び左室心筋重量、最大酸素摂取量の増加のみによって泳速度の向上を推定することはできなかった。

参考文献

- 1) Morganroth J, Maron BJ: The athlete's heart syndrome: A new perspective. *Ann NY Acad Sci* 301: 931-941, 1977.
- 2) Cohen J L and Segal KR: Left ventricular hypertrophy in athletes: An exercise echocardiographic

- study. *Med Sci Sports Exerc*, 17: 695-700, 1985.
- 3) Underwood RH, Schwade JL: Noninvasive analysis of cardiac function of elite distance runner's echocardiography, vector cardiography and cardiac intervals. *Ann NY Acad Sci* 301: 297-309, 1977.
 - 4) Kenl J, Dickhuth HH, Lehmann M, Staiger J: Athlete's heart haemodynamics and structure. *Int J Sports Med* 3: 33-43, 1982.
 - 5) Devereux RB, Reichek N: Echocardiographic determination of left ventricular mass in man. *Circulat.* 55: 613-618, 1977.
 - 6) Pggni MM., Ceruttis LF: Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domin. *Circulat.* 84: 482-492, 1991.
 - 7) Origio PR, Base G, Ceruttis LF, Veicstinas, A: The influence of exercise intensity on the power spectrum of heart rate variability. *Eur J Appl Physiol* 61: 143-148, 1990.
 - 8) Yamamoto Y, Hughson RL, Peterson JC. Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability spectral analysis. *J Appl Physiol* 71: 1136-1142, 1991.
 - 9) 平田文夫, 武田誠司, 末次哲朗, 齋藤和人, トレーニングの長距離ランナー及び短距離ランナーの左心機能及び左室形態に及ぼす影響: 心エコー図を用いて, 鹿屋体育大学学術研究紀要 9 : 11-15, 1993.
 - 10) ÅjWolf LA, Cunningham DA, Rechnitzer DA, Nichol PM.: Effects of endurance training on left ventricular dimensions in healthy men. *J Appl Physiol* 47: 207-212, 1979.
 - 11) Ehsani AA, Hagberg JM, Hickson RC: Rapid changes in left ventricular dimensions and mass in response to physical conditioning and deconditioning. *Am J Cardiol* 42: 52-56, 1978.
 - 12) ÅjAdams TD, Yanowitz FG, Fisher AG, Ridges JD, Lovell K, Pryor TA: Noninvasive evaluation of exercise training in college age men. *Circulat.* 64: 958-965, 1981.
 - 13) Wieling W, Borghols EAH, Hollander AP, Danner SA, Dunning AJ, Echocardiographic dimensions and maximal oxygen uptake in oarsmen during training. *Br Heart J* 46: 190-195, 1981.
 - 14) 満園良一, 大柿哲朗, 加治良一, 藤野武彦, 吉永 浩, 長距離ランナーにおける有酸素的作業能および安静時左心形態の縦断的評価. 久留米大学論叢 36 : 145-150 : 1987.
 - 15) Baldwin KM, Klinkerfuss GH, Terjung RL, Mole PA, Holloszy JO. Respiratory capacity of white, red, and intermediate muscle: adaptative response to exercise. *Am J Physiol.* 222:373-378, 1972.
 - 16) Barnard RJ, Peter JB.: Effect of a skeletal muscle cytochrome changes. *J Appl Physiol* 31: 904-908, 1971.
 - 17) Hickson RC, Heusner WW, Huss WV: Skeletal muscle enzyme alterations after sprint and endurance training. *J Appl Physiol* 40: 868-872, 1976.
 - 18) Brodal P, Ingjer F, Hermansen L.: Capillary supply of skeletal muscle fibers in untrained and endurance-trained men. *Am J Physiol* 232: H705-H712, 1977.
 - 19) Gollnick PD, Armstrong RB, Saltin B, Saubert CW, Sembrowich WL, Shepherd RE.: Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 34: 107-111, 1973.
 - 20) 平井雄介, 田畑泉. 超最大強度の水泳運動における無酸素性及び有酸素性エネルギー供給機構の役割. *Jap J Sports Sci* 12: 124-129, 1992.
 - 21) Medbo JI, Tabata I.: Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *J Appl Physiol* 67: 1881-1886, 1989.