

## 女子スポーツ競技者の左室機能と最大酸素摂取量

芳賀脩光・松田光生・小関 迪\*・小島龍平\*\*  
植屋悦男\*\*\*・鷗木秀夫\*\*\*\*・富樫健二\*\*\*\*\*  
中谷敏昭\*\*\*\*\*・折笠 敏\*\*\*\*\*・梨羽 茂\*\*\*\*\*

### Left ventricular function and maximum oxygen uptake of top female athletes

Shukoh HAGA, Mitsuo MATSUDA, Susumu KOSEKI, Ryuhei KOJIMA,  
Etsuo UEYA, Hideo IKARUGI, Kenji TOGASHI, Toshiaki NAKATANI,  
Satoshi ORIKASA and Shigeru NASHIBA

The purpose of this study was to investigate the aerobic work capacity, cardiac dimensions and function of female athletes in the All Japan class and University female athletes and to compare these data to previous studies. Interventricular septal thickness (IVST), left ventricular posterior wall thickness (LVPWT), left ventricular end-diastolic dimension (Dd) and left ventricular end-systolic dimension (Ds) were obtained from M-mode echocardiogram, and hemodynamic indices were calculated to evaluate the left ventricular functions. Competitive athletes who participated in the study were marathon runners and ball game players. They were divided into two groups, 20 top female athletes (Top G.) and 13 university female athletes (Univ.G.).  $\dot{V}O_2\max$  was measured in 17 top female athletes and 8 university female athletes.

1. The average age, height and weight for Univ.G. and Top G. were 19.9 years and 20.2 years, 159.0cm and 162.0cm, 53.7kg and 56.3kg respectively. Two groups had the same physical characteristics.
2. Maximum oxygen uptake ( $\dot{V}O_2\max$ :l/min) was 2.8 l/min in Univ.G. and 3.2 l/min in Top G. The latter had significantly higher  $\dot{V}O_2\max$  (l/min) than the former ( $p<0.05$ ).  $\dot{V}O_2\max$  per body weight (ml/kg·min) for two groups were 50.2ml/kg·min, 56.3ml/kg·min. There was no significant difference between two groups although Top G. tended to have the higher  $\dot{V}O_2\max$  (ml/kg·min) than Univ.G.. Top G. was considered to be high class players compared to the female athletes who had superior aerobic work capacity in foreign countries.
3. Interventricular septal thickness (IVST) was 7.0mm in Univ.G. and 7.5mm in Top G. No significant difference between them was noted. Left ventricular posterior wall thickness (LVPWT) was 7.6mm and 8.8mm. It was noted that Top G. had higher average value of LVPWT than Univ. G. ( $p<0.05$ ). These values were less than Japanese male athletes or female athletes in foreign countries.
4. Left ventricular end-diastolic dimension (Dd) for Univ.G. and Top G. were 48.5mm, 51.3mm

\*日本体力医学研究所  
\*\*昭和大学医学部  
\*\*\*愛知大学教養部

\*\*\*\*神戸商科大学  
\*\*\*\*\*筑波大学体育研究科

respectively, and Top G. had significantly higher values ( $p < 0.05$ ). However, there was no significant difference among Dd per body surface area for two groups. Left ventricular end-systolic dimension (Ds) for two groups were about same values. It was considered that the Dd values in Top G. was higher than that in Japanese female marathon runners and same as or higher than the data from reports in foreign countries. The percentage of Dd in Top G. to male athletes corresponded to 94~97%.

5. Left ventricular end-diastolic volume (LVEDV), LVEDV per body surface area, stroke volume (SV) and stroke index (SI) in Top G. were higher values than Univ.G. ( $p < 0.05$  respectively). This results reflected the increased Dd in Top G. and also the training effects on left ventricular volume and cardiac output was observed.
6. Left ventricular mass (LVM) in Top G. was significantly higher than Univ.G. ( $p < 0.001$ ). This was due to the increased Dd and LVPWT and it appeared to be influenced by training.
7. The relationships among cardiac structure, left ventricular function and  $\dot{V}O_2\max$  were given in Fig. 1~6. It was indicated in Top G. that Dd and LVEDV were significantly correlated with LVM ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$  respectively) and the relationship between SV and fractional shortening (FS) also was significant ( $p < 0.05$ ). Therefore,  $\dot{V}O_2\max$  in Top G. was contributed to the increased Dd, SV and FS which was one parameter of myocardial contractility.

Key words : echocardiography, left ventricular function, hemodynamic indices, maximum oxygen uptake, top female athletes.

## I. 緒 言

競技者の有気的作業能力をみるうえで左室機能は極めて重要な因子である。これまで筆者たち<sup>6)</sup>は一流男子競技者の最大酸素摂取量と左室内腔について検討し、陸上競技者に代表されるような大きな最大酸素摂取量を有するものは左室拡張終期内径も大きく、かつ心筋収縮力も大きいことを指摘してきた。また、国外における男子競技者の結果<sup>2,3,11,15,23)</sup>と比較検討を加えた。しかしながら、今日男子競技者の諸報告に比べ女子競技者の報告は非常に少なく、我が国においては松井<sup>14)</sup>が陸上競技選手の一部について報告している以外はほとんどみられていない。

そこで本研究では我が国の一流女子競技者と大学運動部に所属する女子競技者を対象とし、その左室内腔について検索すると共に、国外のこれまでの報告と比較検討を加え、併せて最大酸素摂取量との関連をみようとするものである。

## II. 方 法

### 1) 被検者

被検者は、一流女子競技者として女子マラソンにおいて上位に入賞した選手(4名)、全日本実業

団陸上競技大会等で入賞した選手(6名)、ハンドボール選手(4名)、バドミントン選手(6名)で全日本チームおよび日本リーグに所属する選手計20名であった。また大学女子競技者としては大学の運動部に所属し主に大学リーグ戦に参加するもので、バレーボール(2名)、バスケットボール(2名)、ハンドボール(2名)、テニス(1名)、陸上競技(3名)、水泳(1名)、ダンス(2名)の選手計13名であった。

### 2) 安静時における超音波心エコー図法

心エコー図法の撮影および計測に関する報告<sup>9,16,22,24)</sup>は多くみられるが、本研究においては筆者たち<sup>5,6,12,13)</sup>がこれまでに報告してきた心エコー図法と同様の方法で実施した。その概略について述べると被検者は仰臥位にて断層撮影(Bモード法)を行ない、探触子からのMモードビームが心室中隔(interventricular septum: IVS)左室後壁(left ventricular posterior wall: LVPW)を左室腱索レベルにおいて横断するように確認してからMモード法によって記録した。これによって、左室拡張終期内径(left ventricular end-diastolic dimension: Dd)、左室収縮終期内径(left ventricular end-systolic dimension: Ds)を計測

した。そして、左心室を回転楕円体と仮定し、Pombo<sup>19)</sup>の式から左室拡張終期容量 (left ventricular end-diastolic volume: LVEDV =  $Dd^3$ )、左室収縮終期容量 (left ventricular end-systolic volume: LVESV =  $Ds^3$ ) を求めた。また、その他の血行動態諸標は次に示した式によって算出した。

一回拍出量 (Stroke Volume: SV) は、 $SV = LVEDV - LVESV$

心拍出量 (Cardiac Output: CO) は、 $CO = SV \times HR$

心筋の機能的指標である駆出分画 (Ejection Fraction: EF) は、 $EF = (SV/LVEDV) \times 100$ 、左室内径短縮率 (Fractional Shortening: FS) は、 $FS = \{(Dd - Ds)/Dd\} \times 100$

左室心筋重量 (Left Ventricular Mass: LVM) は、Devereux と Reichek<sup>4)</sup>らの式により、 $LVM = 1.04\{(Dd + LVPWT + IVST)^3 - Dd^3\} - 14$ として算出した。さらに、Dd, Ds, SV, CO, LVEDV, LVESV, については体表面積 (Body Surface Area: BSA) によって標準化した。

3) 最大酸素摂取量の測定

最大酸素摂取量 (Maximum Oxygen Uptake:  $\dot{V}O_2max$ ) の測定について、運動負荷試験法の装置はトレッドミルを使用し、走速度は120m/minから1分毎に10m/min ずつ漸増する速度漸増負荷法により実施した。また、走運動は疲労困憊に

至るまで継続させた。酸素摂取量に関して採気はダグラスバッグ法により、呼気の分析はベックマン社製のOM-11型 ( $O_2$ ) およびLB-2型 ( $CO_2$ ) を使用した。これにより、1分毎に摂取した酸素の最大値を  $\dot{V}O_2max$  とした。なお、心拍数(HR)は心電図法 (CM5) により、呼吸数 (RR) はサーミスター法により測定した。

III. 結 果

表1は大学女子競技者 (以下: 大学競技者群) および一流女子競技者 (以下: 一流競技者群) の年齢と身体的特性 (身長, 体重, 体表面積) の値を示したものである。年齢は大学競技者群では19.9歳、一流競技者群では20.2歳でほとんど同じ年齢層であった。身長は大学競技者群では159.0cm、一流競技者群では162.4cmであり、後者の方が高かったが有意差はなかった。体重においても大学競技者群では53.7kg、一流競技者群では56.3kgであり一流競技者群の方がやや高い値を示したが有意差はなかった。体表面積は1.55m<sup>2</sup>、1.58m<sup>2</sup>とほぼ等しかった。表2は大学競技者群と一流競技者群における最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2max$ : l/min), 体重当たりの最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2max/weight$ : ml/kg·min), 最高心拍数 (HRmax: beats/min), 最大換気量 ( $\dot{V}Emax$ : l/min) を示したものである。最大酸素摂取量を測定できたものは大学競技者群では8名、一流競技者群では17名で

Table 1. Physical characteristics for two groups of female athletes.

	UNIV. (n=13)			TOP (n=20)			Signif. UNIV. vs TOP
	Mean	SD	Range	Mean	SD	Range	
Age (years)	19.9	1.10	19~22	20.2	2.02	18~25	ns
Height (cm)	159.0	5.41	150.0~167.7	162.4	5.67	154.8~175.0	ns
Weight (kg)	53.7	6.47	41.9~64.5	56.3	8.27	44.5~78.0	ns
BSA (m <sup>2</sup> )	1.55	0.11	1.34~1.74	1.58	0.14	1.40~1.95	ns

UNIV.: University female athletes group, TOP: Top female athletes group.

Table 2.  $\dot{V}O_2max$ , HRmax,  $\dot{V}Emax$  for two groups of female athletes.

	UNIV. (n=8)			TOP (n=17)			Signif. UNIV. vs TOP
	Mean	SD	Range	Mean	SD	Range	
$\dot{V}O_2max$ (l/min)	2.81	0.46	2.25~3.51	3.21	0.42	2.53~4.14	p<0.05
$\dot{V}O_2max$ (ml/kg·min)	50.2	10.06	36.2~64.5	56.3	7.43	43.6~71.5	ns
HRmax. (beats/min)	198.3	5.92	190~210	192.4	8.16	180~210	ns
$\dot{V}Emax$ . (l/min, BTPS)	83.1	11.49	62.4~96.6	103.5	15.51	79.8~136.4	p<0.05

UNIV.: University female athletes group, TOP: Top female athletes group.

あった。その結果について述べると、大学競技者群の  $\dot{V}O_2\max$  の絶対値は2.81 l/minであるのに対し、一流競技者群のそれは3.21 l/minであり、後者の値が有意に高い値 ( $P<0.05$ ) を示した。しかしながら、体重当たりの  $\dot{V}O_2\max$  でみると大学競技者群では50.2ml/kg $\cdot$ min、一流競技者群では56.3ml/kg $\cdot$ minを示し、一流競技者群が高い傾向ではあったが有意差はなかった。HRmaxはそれぞれ198.3beats/min、192.4beats/minを示したが有意差はなかった。また、 $\dot{V}E\max$ をみると大学競技者群では83.1 l/min、一流競技者群では103.5l/minと一流競技者群が有意に高い値 ( $P<0.05$ ) であった。

表3は大学競技者群および一流競技者群の左室の形態および血行動態諸標について平均値で示したものである。心室中隔壁厚 (IVST) については大学競技者群では7.0mm、一流競技者群では7.5mmと一流競技者群が高い傾向を示したが有意差はなかった。しかし、左室後壁厚 (LVPWT) は大学競技者群では7.6mmであるのに対し、一流競技者群では8.8mmと有意 ( $P<0.05$ ) に高い値を示した。体表面積当たりでみたIVSTおよびLVPWTは

両群でそれぞれ4.5に対して4.7mm/m<sup>2</sup>(ns)、4.9に対して5.6mm/m<sup>2</sup> ( $P<0.05$ ) であり、絶対値でみた場合と同様の結果であった。また、左室拡張終期内径 (Dd) は大学競技者群では48.5mmを示したが、一流競技者群では51.3mmと有意 ( $P<0.05$ ) に高い値であった。しかし、体表面積当たりの左室拡張終期内径係数 (Dd/BSA) はほとんど同じであった。一方、左室収縮終期内径 (Ds) は大学競技者群では31.9mm、一流競技者群では33.2mmでほとんど差異はなかった。また、体表面積当たりの左室収縮終期内径係数 (Ds/BSA) においてもほぼ同じ値であった。左室拡張終期容量 (LVEDV) は絶対値においては、大学競技者群では115.4mlであるのに対し、一流競技者群では136.0mlを示しDdと同様に有意に大きい値 ( $P<0.05$ ) を示した。そして、この左室拡張終期容量を体表面積当たりでみる左室拡張終期容量係数 (LVEDV/BSA) は一流競技者群では85.9ml/m<sup>2</sup>を示し、大学競技者群の73.8ml/m<sup>2</sup>に対して有意 ( $P<0.05$ ) に高い値であった。

また、左室収縮終期容量 (LVESV) と体表面積当たりでみる左室収縮終期容量係数 (LVESV/

Table 3. Echocardiographic data for two groups of female athletes.

	UNIV. (n=13)			TOP (n=20)			Signif. UNIV. vs TOP
	Mean	SD	Range	Mean	SD	Range	
IVST (mm)	7.0	1.89	4.2~10.5	7.5	1.25	4.7~9.9	ns
IVST/BSA (mm/m <sup>2</sup> )	4.5	1.32	2.6~6.9	4.7	0.86	2.8~6.2	ns
LVPWT (mm)	7.6	1.32	6.0~9.8	8.8	1.19	6.6~11.3	p<0.05
LVPWT/BSA (mm/m <sup>2</sup> )	4.9	0.81	3.8~6.1	5.6	0.88	4.1~8.0	p<0.05
Dd (mm)	48.5	3.37	44.6~55.5	51.3	2.72	47.0~56.0	p<0.05
Dd/BSA (mm/m <sup>2</sup> )	31.2	1.30	29.0~33.3	32.5	2.78	27.5~38.2	ns
Ds (mm)	31.9	3.49	26.3~36.5	33.2	3.16	27.8~39.8	ns
Ds/BSA (mm/m <sup>2</sup> )	20.5	1.68	17.8~23.4	21.0	2.59	16.0~26.5	ns
LVEDV (ml)	115.4	24.86	88.7~171.0	136.0	21.52	103.8~175.6	p<0.05
LVEDV/BSA (ml/m <sup>2</sup> )	73.8	11.60	57.7~97.7	85.9	13.35	63.6~112.6	p<0.05
LVESV (ml)	33.6	10.51	18.2~48.6	37.6	11.25	21.4~62.8	ns
LVESV/BSA (ml/m <sup>2</sup> )	21.4	5.89	12.6~30.0	23.8	7.11	12.3~40.7	ns
EF (%)	71.3	5.11	62.3~79.5	72.4	6.63	57.6~80.7	ns
FS (%)	34.3	3.99	27.9~41.0	35.3	5.14	24.9~42.2	ns
SV (ml/beat)	81.8	16.41	65.8~122.3	98.4	18.34	70.3~139.7	p<0.05
SV/BSA (ml/m <sup>2</sup> $\cdot$ beat)	52.4	7.38	43.1~70.1	62.1	11.31	49.8~83.8	p<0.05
CO (l/min)	4.90	1.42	3.24~8.24	5.71	1.51	3.52~8.15	ns
CO/BSA (l/m <sup>2</sup> $\cdot$ min)	3.13	0.74	2.16~4.42	3.57	0.81	2.25~5.23	ns
HR (beats/min)	59.4	9.65	41~77	58.0	11.37	35.2~74.1	ns
LVM (g)	142.5	28.18	103.4~211.1	180.9	28.32	129.1~237.1	p<0.001

UNIV. : University female athletes group, TOP : Top female athletes group

BSA) は大学競技者群ではそれぞれ33.6ml, 21.4 ml/m<sup>2</sup>, 一流競技者群では37.6ml, 23.8ml/m<sup>2</sup>と一流競技者群が高い傾向を示したが有意差はなかった。駆出分画 (EF) は両群ではそれぞれ71.3%, 72.4%とほぼ同程度の値を示し有意差はなかった。心筋収縮力の指標の一つと考えられている左室内径短縮率 (FS) はそれぞれ34.3%, 35.3%とほぼ同じ値であった。一回拍出量 (SV) は一流競技者群では98.4mlを示し、大学競技者群の81.8mlより有意 (P<0.05) に大きい値であった。そして一回拍出係数 (SV/BSA) は一流競技者群では62.1ml/m<sup>2</sup>を示し、大学競技者群の52.4ml/m<sup>2</sup>よりも有意 (P<0.05) に高い値であった。心拍出量 (CO) は大学競技者群では4.90 l/min, 一流競技者群では5.71 l/minと後者が高い値を示したが統計的に有意差はなかった。また、心係数 (CO/BSA) は両群ともほぼ同じ値であった。左室心筋重量 (LVM) は大学競技者群では142.5gであるのに対し、一流競技者群では180.9gと大きく、これは有意 (P<0.001) に高い値であった。

図1は体重と左室拡張終期内径の関係を示した

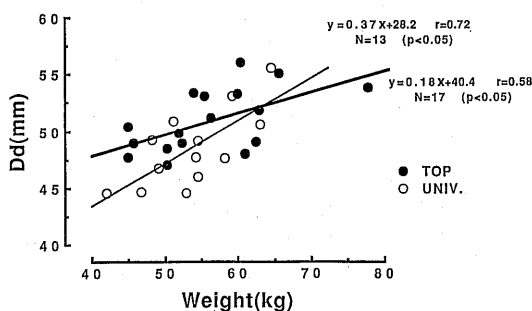


Fig. 1 Relationship between Weight and Dd

が、左室拡張終期内径は体重に対し正の相関を示し、一流競技者群では $r=0.58$  ( $P<0.05$ ), 大学競技者群では $r=0.72$  ( $P<0.05$ ) であった。図2は左室拡張終期内径と左室心筋重量の関係を示したが、左室心筋重量は左室拡張終期内径に対し一流競技者群では正の相関 $r=0.65$  ( $P<0.01$ ) を示した。大学競技者群では統計的に有意な相関はなかった。図3は心筋重量と左室拡張終期容量の関係を示した。左室拡張終期容量は左室心筋重量に対し一流競技者群では正の相関 $r=0.51$  ( $P<0.05$ ) を示した。大学競技者群では統計的に有意な相関はなかった。図4は単位体表面積当たりの左室拡張終期内径と体重1kg当たりの最大酸素摂取量との関係をみたものである。体重1kg当たりの最大酸素摂取量は単位体表面積当たりの左室拡張終期内径に対し、一流競技者群では正の相関 $r=0.77$  ( $P<0.01$ ) を示した。大学競技者群では統計的に有意な相関はなかった。図5は一回拍出量と最大酸素摂取量との関係をみたものである。最大酸素摂取量 (l/min) は一回拍出量に対し一流競技者群では正の相関 $r=0.77$  ( $P<0.01$ ) を示し

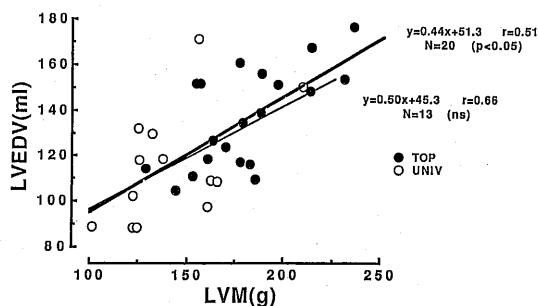


Fig. 3 Relationship between LVM and LVEDV

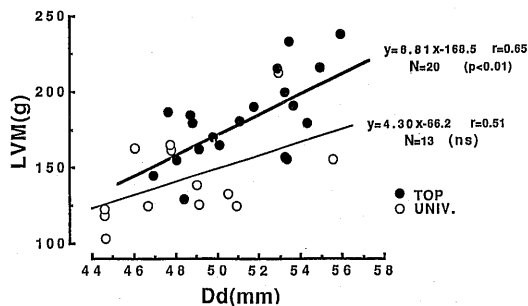


Fig. 2 Relationship between Dd and LVM

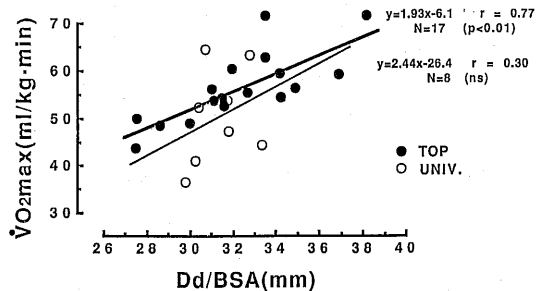


Fig. 4 Relationship between Dd/BSA and  $\dot{V}O_2\max$  (ml/kg · min)

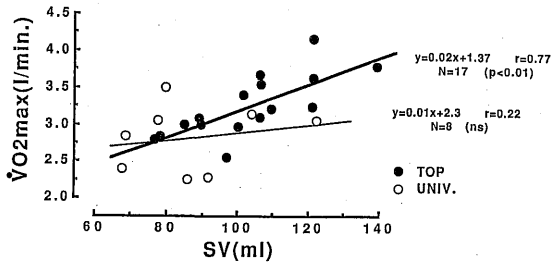


Fig. 5 Relationship between SV and  $\dot{V}O_2\max$  (l/min)

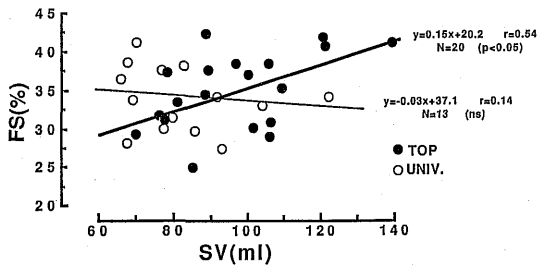


Fig. 6 Relationship between SV and FS

た。図6は一回拍出量と内径短縮率との関係を見たものである。内径短縮率は一回拍出量に対し一流競技者群では正の相関  $r=0.54$  ( $P<0.05$ ) を示した。しかし大学競技者群では統計的に有意な相関はなかった。

#### IV. 論 議

体重は一流競技者群の方が平均値でわずかに高い値を示したが、統計的に差異はなくほぼ等しい値であった。また、有酸素的作業能としての最大酸素摂取量は絶対値において一流競技者群が有意に高い値であった。しかし、体重当たりでみると一流競技者群はおよそ  $6 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$  ほど高い値であったが有意差はなかった。これまでの報告<sup>14)</sup>からみると、日本の女子中距離走者の場合、体重当たりの最大酸素摂取量は  $53.9 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$ 、一流の日本女子マラソンランナーの場合でみると、増田明美選手の  $72.7 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$  を除いては他の選手でおよそ  $56\sim 60 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$  の範囲にある。また、他の日本女子一流競技者群の結果を比較すると、女子スピードスケート競技選手では  $47\sim 48 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$ <sup>8)</sup>、女子スキー距離選手では  $59 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$ <sup>10)</sup>、陸上競技800m選手では  $61 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$ <sup>14)</sup> を示し、本

研究での結果、特に一流競技者群においては他の研究の競技選手と比べて同レベルにあるといえよう。また本研究の場合、女子マラソン上位入賞を果たした3名のランナーの平均値は絶対値で  $3.67 \text{ l/min}$ 、体重当たりで  $67.4 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$  であった。これらの値について外国人の値と比較すると、水泳選手では  $57.0 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$ <sup>21)</sup>、クロスカントリーランナーでは  $61.4 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$ <sup>14)</sup>、中距離ランナーでは  $68.8 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$ <sup>14)</sup>、マラソンランナーで  $71.1 \text{ ml/kg}\cdot\text{min}$ <sup>14)</sup> であり、日本人は競技の種目にもよるが、本研究の一流競技者群の有酸素的作業能は外国人のレベルと比較してもほぼ同程度にあると考えられる。

次に全身持久性の決定に関与する心形態や左室内腔の dimension 及び血行動態諸指標から検討していきたい。はじめに心形態のひとつとして心室中隔壁厚は大学競技者群、一流競技者群ではそれぞれ  $7.0 \text{ mm}$ 、 $7.5 \text{ mm}$  とほぼ同じ値であった。しかし、左室後壁厚は大学競技者群の  $7.6 \text{ mm}$  に対し、一流競技者群では  $8.8 \text{ mm}$  と有意に高い値を示した。我が国における女子競技者の心エコー図からの検討はほとんどみられないが、これまでの唯一の報告<sup>14)</sup>と比較すると、女子マラソンランナーの心室中隔壁厚は  $8.5 \text{ mm}$ 、左室後壁厚は  $10.2 \text{ mm}$  であり、本研究の結果は、それより両群とも薄いことを認めた。一般に、持久的競技者の壁厚は容量負荷の影響により薄いことが知られている<sup>15)</sup>が、それが女子の場合どの程度にあるかは今後十分検討しなければならない点である。これまでの外国における報告<sup>20)</sup>では運動を特におこなっていない女子大学生の心室中隔壁厚は  $7.5 \text{ mm}$ 、左室後壁厚は  $7.0 \text{ mm}$  という結果がみられる。また心室中隔壁厚および左室後壁厚はスプリントランナーではそれぞれ  $8.1 \text{ mm}$ 、 $7.9 \text{ mm}$ 、陸上長距離ランナーでは  $7.3 \text{ mm}$ 、 $7.8 \text{ mm}$ 、水泳選手では  $7.7 \text{ mm}$ 、 $8.0 \text{ mm}$ 、バスケットボール選手では  $7.8 \text{ mm}$ 、 $7.6 \text{ mm}$ 、ダンサーでは  $7.3 \text{ mm}$ 、 $7.1 \text{ mm}$  を示している。陸上ホッケー女子プレーヤーの心室中隔壁厚は  $8.3 \text{ mm}$ 、左室後壁厚は  $10.7 \text{ mm}$  であったという報告<sup>25)</sup>がある。さらに、国際的なランクにある女性長距離ランナーと中程度のトレーニングを行なっている女性ランナーの場合、心室中隔壁厚は共に  $10 \text{ mm}$ 、左室後壁厚はそれぞれ  $9 \text{ mm}$ 、 $10 \text{ mm}$  という結果が報告<sup>18)</sup>されている。こうした外国の諸報告からみれば、女子スポーツ競技者は一般女子と比較して壁厚が厚い傾向にあることがうかが

われる。しかし、本研究では日本人の女子競技者の壁厚はあまり運動を行っていない一般女子の値とほぼ同じであり、外国の女子競技者の値と比較すれば薄い傾向にあると考えられる。先に筆者たち<sup>9)</sup>がおこなった男子スポーツ競技者を対象とした研究においても陸上競技選手やサッカー選手の値は、外国の男子選手と比較しても薄い傾向にあることを報告したが、このような傾向が日本人としての民族的な特徴なのか、あるいは単に外国の選手と比較して身長や体重が小さいことから生ずる形態的または体格的相違に由来するものなのかは今後さらに検討を要する課題であろう。

次に心形態の重要な因子としての左室拡張終期内径 (Dd) および、左室収縮終期内径 (Ds) について検討を加えたい。本研究の結果は左室拡張終期内径は大学競技者群では48.5mmであるのに対して、一流競技者群では51.3mmと後者が有意に高い値であった。しかし、体表面積当たりでみると両群ではそれぞれ31.2mm, 32.5mmとほぼ同程度の値であった。また左室収縮終期内径は両群がそれぞれ31.9mm, 33.2mmとほぼ同じ値であった。これに対し日本人女子マラソンランナー<sup>14)</sup>の左室拡張終期内径は44.4mm, 左室収縮終期内径は30.1mmという報告があるが、本研究の一流競技者群の値はそれよりもかなり高い。しかし、体表面積当たりでDdをみると30.2mmを示し、本研究の値と比較し小さい値となるもののほぼ同じ値である。これらの点について、体重の平均は50.2kgで、本研究における大学競技者群より3.2kg, また一流競技者群より6.1kg少ないという形態的相違に起因するものと思われる。本研究における一流競技者群の値は男子マラソンランナーの値 (50.8mm) よりは大きく、筆者たち<sup>9)</sup>が先に報告した一流競技者陸上群(52.7mm), サッカー群(52.5mm), 野球群(52.8mm) よりやや小さいものであった。外国における女子競技者の左室拡張終期内径をみると、スプリンター (48mm)<sup>20)</sup>, 長距離ランナー (50mm)<sup>20)</sup>, 水泳選手 (47mm)<sup>20)</sup>, バスケットボールプレイヤー (52mm)<sup>20)</sup>, ダンサー (47mm)<sup>20)</sup>, 陸上ホッケープレイヤー (47.3mm)<sup>25)</sup>, 他の報告の長距離ランナー<sup>18)</sup>では48mmという値が報告されている。こうした結果からみると、日本人一流女子競技者の左室内径は外国における競技者と比較してもほとんど同じ値かそれよりもやや大きい傾向にあり、全身持久能力を支える心形態はすぐれていると考えられよう。

男子一流競技者との比較から性差間の相違についてみると、Nishimura による報告<sup>17)</sup>では20歳代のプロ自転車競技選手の左室拡張終期内径は55mmと報告している。外国における報告からみれば、大学の陸上ランナー<sup>15)</sup>では54mm, 長距離ランナー<sup>2)</sup>では55mmという値もみられる。仮にこうした値を参考にしてみると女子競技者の左室拡張終期内径は男子競技者のおよそ94~97%程度に相当するものである。松井<sup>14)</sup>によれば日本人マラソンランナーの左室内径の男女比は87.4%と報告している。しかしこうした値は絶対値から比較したものであり、標準化した値で比較したものではない。従って、更に検討を要する。

次に心形態、左室機能および全身持久性の指標である最大酸素摂取量の関係について検討を加えたい。体重の増加にしたがって左室拡張終期内径は増大し(図1), それは左室心筋重量とも相関するものであった(図2)。つまり、左室拡張終期内径が大きければ左室容量の増大を促すものである。そして単位体表面積当たりの左室拡張終期内径の増大は一回拍出量の増大を可能にする。従って、体重あたりの最大酸素摂取量の増大を反映するものである。これは心筋収縮力のひとつの指標である左室内径短縮率の増大に起因するものであろう。本研究の図1~6からみればかぎりにおいては、一流競技者群と比較して大学競技者群の場合には必ずしも各々指標との間に有意な相関はなかった。この点から考えられることとして、ひとつは一流競技者群の方がばらつきが少なく全身持久能力と各種の血行動態諸標との関係は大きいことを反映している。もうひとつは大学競技者群の被検者数が少なかったことが影響しているかもしれない。しかしながら、先に述べたように、最大酸素摂取量は心内径の大きさ, 心筋重量, 左室容量, 一回拍出量, 心筋収縮力にも左右されるものである。

運動トレーニングによる左室拡張終期内径の増大に関して、Zeldis<sup>25)</sup>は最大酸素摂取量との間に相関のあることを認め、最大心拍出量の増大を促し、全身持久性に必要な最大一回拍出量の増大に強く影響するであろうと述べている。また、Hargen<sup>7)</sup>は左室心筋重量が最大酸素摂取量と有意な相関 ( $r=0.76$ ) をもつことを報告している。DeMaria<sup>3)</sup>は長期間の等張性運動トレーニングは、左室拡張終期内径の増大, 収縮終期内径の縮小, 左室心筋重量の増大を促し、一回拍出量, 内径短

縮率の増大を引き起こすことを観察している。こうした結果に対して、Maron<sup>11)</sup>は左室拡張終期内径はおよそ10%程度増大すると述べており、Wolfe<sup>23)</sup>はトレーニングによって左室拡張期の容量はおよそ25%増大すると算出している。心形態、心機能の変化のメカニズムに関して、Pollak<sup>18)</sup>やRubal<sup>20)</sup>などは左室拡張終期内径や左室壁厚の増大は拡張期の時間が延長すること、またそれによって生ずる血液充満量の増大などによるものであると述べている。Anholm<sup>1)</sup>は運動による心臓脈管系への適応として心内腔の増大、壁厚の増大に加えて、左室駆出分画の増大を指摘しているが、これは機能的な因子よりもむしろ dimensional な因子が大きいと述べている。本研究の結果、一流競技者はこうした心臓脈管系への適応をよく示したものであり、最終的には心筋収縮力の増減が全身持久性の良否を大きく左右するのであろう。一般に全身持久的な performance に対しては、末梢筋における酸素抽出能力、末梢抵抗の減少、無酸素性作業能、筋力、あるいは心理的因子など多くの因子が相互に関与するものであるが、持久的トレーニングによる誘発性の心室拡大、心筋肥大、心機能への影響については今後さらに検討が必要であろう。

## V. 結 論

本研究は、我が国の一流女子競技者と大学運動部に所属する女子競技者の左室内腔および左室機能と最大酸素摂取量との関連性について、内外の諸報告と併せて検討することを目的とし、一流競技者20名、および大学女子競技者13名を対象に、Mモード超音波心エコー図法によって左室壁厚および左室内径を計測し、各種血行動態諸標を算出した。さらに、一流競技者17名、大学競技者8名については最大酸素摂取量の測定もおこなった。結果は次の通りである。

1. 大学競技者群と一流競技者群の年齢は19.9歳、20.2歳であり身長は159.0cm, 162.4cm, 体重は53.7kg, 56.3kgであり、ほぼ同じ身体的特徴を有していた。

2. 大学競技者群と一流競技者群の最大酸素摂取量は絶対値でそれぞれ2.81 l/min と3.21 l/min で一流競技者群が有意に高い値を示した。しかし、体重あたりの値では50.2ml/kg・min と56.3ml/kg・min で一流競技者群が高い傾向を示したが、有意

差はなかった。一流競技者は国外の女子競技者の有酸素的作業能と比較しても、高いレベルにあり、持久的能力は優れているといえよう。

3. 超音波心エコー図による結果、大学競技者群と一流競技者群の心室中隔壁厚はそれぞれ7.0mmと7.5mmであり、有意差はなかったが、左室後壁厚は7.6mmと8.8mmで一流競技者群が有意に高い値を示した。これらの値は、日本人男子や外国の女子競技者と比較して小さな値であった。

4. 大学競技者群と一流競技者群の左室拡張終期内径はそれぞれ48.5mmと51.3mmで一流競技者群が大きい値であった。しかし、体表面積当たりで見ると有意差はなかった。左室収縮終期内径は両群ともほぼ同じ値であった。これらの値は日本の女子マラソンランナーより大きく、他の国外の諸報告の値と比較しても同程度かあるいは大きい値を示した。男女比で見ると、女子競技者の値は男子のおよそ94~97%に相当した。

5. 一流競技者群は左室拡張終期容量、体表面積当たりの左室拡張終期容量、一回拍出量、一回拍出係数において大学競技者群より大きい値であった。これは左室拡張終期内径の増大を反映しており、容量や拍出量においてもトレーニングの効果がみられた。

6. 一流競技者群においては左室心筋重量も大きく、トレーニングの影響が観察された。

7. 心形態および左室機能と最大酸素摂取量との関連を検討すると、一流競技者の結果は、左室拡張終期内径の増大にともなって左室心筋重量は増大し、また左室拡張終期容量とも同様の関係を示した。最大酸素摂取量は左室内径の増大および一回拍出量と相関があった。これは心筋収縮力指標の1つである内径短縮率の増大に起因するものであろう。

## 引用文献

- 1) Anholm J.D., C.Foster, J.Carpenter, M.L. Pollock, C.K. Hellman, and D.H. Schidt.: Effect of habitual exercise on left ventricular response to exercise. *J. Appl. Physiol.* 52(6): 1648-1651, 1982.
- 2) Cohen J.L., and K.P. Segai.: Left ventricular hypertrophy in athletes.: An exercise-echocardiographic study. *Med.Sci.SportsExerc.* 17(6):695-700, 1985.
- 3) DeMaria A.N., A. Neumann, G. Lee, W.



- Fowler, and T. Mason.: Alterations in ventricular mass and performance induced by exercise training in man evaluated by echocardiography. *Circulation*. 57(2):237-244, 1978.
- 4) Devereux, R. B., and N. Reichek.: Echocardiographic determination of left ventricular mass in man. *Circulation*. 55(4):613-618, 1977.
  - 5) 芳賀脩光, 小関 迪, 宮下充正, 植屋悦男.: 動的運動負荷心エコー図法による筋運動時, 怒責時, および全身持久性運動時の血行動態. 筑波大学体育科学系紀要 7 : 135-147, 1984.
  - 6) 芳賀脩光, 松田光生, 植屋悦男, 小島流平, 鶴木秀夫, 梨羽 茂, 富樫健二, 中谷敏昭, 城所邦昌.: 男子スポーツ競技者の左室内腔と最大酸素摂取量. 筑波大学体育科学系紀要 11 : 229-237, 1988.
  - 7) Hargen, M. R., R. Peshock, J. Katz, T. Ryschon, J. Stray-Gundersen, and J. H. Mitchell.: Left ventricular mass in women endurance athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19(2) Suppl: 47, 1987.
  - 8) 黒田善雄, 加賀谷照, 塚越克巳, 雨宮輝也, 太田裕造, 酒井淳子.: 日本人一流選手の最大酸素摂取量. 第1報. 日本体育協会研究報告集 : 1-8, 1968.
  - 9) 町井 潔, 梅田 徹, 桑子賢司, 大内慰義, 永沼方寿喜, 吉田昭一.: 断層心エコー図, 中外医学社 : 325-437, 1981.
  - 10) 真島英信, 青木純一郎, 前島 孝, 清水達雄.: スピードスケーティング選手の生理的研究 スピード・スケート高校優秀選手の体力, 冬期種目のスポーツ科学研究結果, 日本体育協会スポーツ科学研究会編, 1-7, 1968.
  - 11) Maron B. J.: Structural feature of the athlete heart as defined by echocardiography. *Am. J. Cardiol.* 7(1):190-203, 1986.
  - 12) 松田光生, 芳賀脩光, 喜多尾浩代, 野坂俊弥, 小島龍平, 杉下靖郎, 福島秀夫, 柄田幸徳.: 静的運動がパワーリフティング運動家の左心機能に及ぼす影響. 筑波大学体育科学系紀要11 : 315-322, 1988.
  - 13) Matsuda, M., Sugishita, Y. Koseki, S., Ito, I., Akatsuka, T., Takamatsu, K.: Effect of exercise on left ventricular diastole filling in athletes and nonathletes. *J. Appl. Physiol.* 55: 323-328, 1983.
  - 14) 松井秀治.: 女子マラソン選手の体力ー資料を中  
心としてー体育の科学33(3) : 193-197, 1983.
  - 15) Morganroth J., B. J. Maron, W. L. Heury, and S. E. Epstein.: Comparative left ventricular dimension in trained athletes. *Ann. Inter. Med.* 85:521-524, 1975.
  - 16) 仁村泰治, 永田正毅, 朴 永大, 榊原 博, 別府慎太郎, 心エコー図による心臓の動態解析ー原理と方法一. *臨床医学* 5(2) : 74-80, 1979.
  - 17) Nishimura T., Y. Yamada, and C. Kawai.: Echocardiographic evaluation of longterm effect of exercise on left ventricular hypertrophy and function in professional bicyclist. *Circulation* 61(4):832-840, 1980.
  - 18) Pollak, S. J., S. T. McMillan, E. Mumpower, R. Wharff, W. Knoph, J. M. Felner, and A. P. Yoganathan: Echocardiographic analysis of elite women distance runners. *Int. J. sports med.* 8 Suppl.: 81-83, 1987.
  - 19) Pombo, J. F., Troy, B. L., Russel, R. O. Jr.: Left ventricular volume and ejection fraction by echocardiography. *Circulation*. 43:480-490, 1971.
  - 20) Rubal, B. J., A. R. AL-Muhailani, and Joel Rosentswieg: Effect of physical conditioning on the heart size and wall thickness of college woman. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19:423-429, 1987.
  - 21) Saltin, S. and P-O. Åstrand: Maximal oxygen uptake in athlete. *J. Appl. Physiol.* 23 : 353-358, 1967.
  - 22) 杉下靖郎, 小関 迪, 松田光生, 山口 徹, 田村勤, 伊藤 徹, 浅井克晏, スポーツ心臓の臨床ー心エコー図所見を中心にー日本医事新報 No1891 : 2-11, 1979.
  - 23) Wolfe L. A., D. A. Cunningham, P. A. Rechitzen, and P. A. Nichol.: Effect of endurance training on left ventricular dimensions in healthy men. *J. Appl. Physiol.* 47(1):207-212, 1979.
  - 24) 山口 徹, 心エコー図の正常波形と計測法, *臨床医学*(5) : 67-63, 1979.
  - 25) Zeldis, S. M., J. Morganroth, and S. Rubler: Cardiac hypertrophy in response to dynamic conditioning in female athletes. *J. Appl. Physiol.* 44(6):849-852, 1978.