

発育発達期児童の左室機能にみられる 持久的身体活動の影響

— 横断的検討 —

富樫 健二*・芳賀 脩光**・松田 光生**
中谷 敏昭**・浅見 高明**・松浦 義行**

Influence of aerobic exercise on left ventricular function in adolescent boys

— a cross sectional study —

Kenji TOGASHI, Shukou HAGA, Mitsuo MATSUDA
Toshiaki NAKATANI, Takaaki ASAMI, Yoshiyuki MATSUURA

I. 緒 言

昨今、我が国の発育期児童においては食生活等の改善により形態面の向上は認められているものの、生活様式の機械化、受験の競争化による身体活動の不足やそれともなう持久力、筋力の低下が報告されており²⁾¹⁷⁾²⁰⁾、発育期における問題の一つとされている。このような発育期児童の体力に関する要因の中で、呼吸循環器系機能は重要な要素と考えられ、これまでに最大酸素摂取量を指標として検討がなされている⁷⁾¹⁶⁾³⁴⁾。しかし、最大酸素摂取量は呼吸循環器系機能を総合的に評価するものであり、その中心である心機能について検討したものは少ない¹⁴⁾。

近年、超音波心エコー図法を用いて非観血的に心臓の形態や機能に関する詳細な指標を得ることが可能になり、身体活動が心形態・機能に及ぼす影響について多くの報告²²⁾²⁹⁾³²⁾がなされている。これらの報告によれば、成人の場合、持久的身体活動を行なっているものは座業生活者と比較して、左室径が増大し、その結果一回拍出量の増大、さらには大きな心予備力を生じていることが知られ

ている。

こうした非観血的方法を用い、発育期児童の左室形態・機能に対する持久的身体活動の影響を検討した報告もこれまでにいくつか見られるが、左室内径の増大を示したもの¹⁵⁾¹⁸⁾、左室壁厚の増大を示したもの¹³⁾³⁾と一定した結果は得られていない。

そこで本研究は、中学生男子児童を対象とし、発育発達期に行なう全身持久的運動が、心形態・機能に与える影響について超音波心エコー図法を用いて検討することを目的とした。

II. 研究方法

1. 被検者

被検者は中学1年から3年の心疾患を有さない健全な男子児童115名であり、対照群(49名)と運動群(66名)に分類した。対照群は通常、週3日の体育授業を除いて定期的な身体活動を行っていないものであった。運動群は週5～7日間、全身持久的な身体活動をクラブ活動(陸上、サッカー、バスケット等)を通して行っているものであった。各群は学年別に1年対照群を1C(14名)、運動群を1E(23名)、2年対照群を2C(15名)、運動群を2E(24名)、3年対照群を3C(20名)、運動群を3E(19名)とした。運動群に対しては身体活動時の運動強度を推定するため、

原稿受理日 平成3年9月30日

* 三重大学教育学部

** 筑波大学体育科学系

陸上部、中・長距離選手8名を対象に、身体活動時の心拍数をテレメーター法により記録した。

各被検者に対して、形態測定と安静時心電図、過去の運動歴・現在の身体活動状況、通学方法・時間等についてのアンケートを行った。また、有気的能力の指標としてスポーツテストにおける1500 m 走の作業成績を記録した。各群の身体的特性を表1に示した。

2. 心エコー図撮影

心形態及び心機能を比較検討するため超音波心エコー図の撮影を行なった。心エコー図の撮影にはアロカ社製のエコーカルディオグラフ (SSD-119) を、記録には UCG 波形記録用サーマルレコーダー (フクダ RF-81) を使用し、毎秒 50 mm の速度で記録した。また、同時に、第II誘導による心電図 (ECG) と、心音計を第II音が明瞭となる位置 (第2または第3肋間胸骨右縁) に置いて心音図 (PCG) を記録した。心エコー図撮影前に被検者の左肘窩上腕動脈部より水銀血圧計で安静時血圧を測定した。

心エコー図の撮影および計測方法に関しては、Committee on M-Mode Standardization of the American Society of Echocardiography 推奨の方法 (28) に従い実施した。すなわち、被検者を仰臥位に寝かせ、探触子 (3 MHz) を被検者の第3～4肋間胸骨左縁から垂直外方にあて、断層法 (Bモード法) により、ビームが心室中隔壁、左室、左室後壁を左室腱索レベルにおいて垂直に横断することを確認後に、Mモード法による記録を行なった。左室拡張終期径 (Left ventricular end-diastolic dimension: LVDd)、心室中隔壁厚 (Intra ventricular septal thickness: IVST)、左室後壁厚 (Left ventricular posterior wall thickness: LVPWT) は同一心時相における心電図上のR波の立ち上が

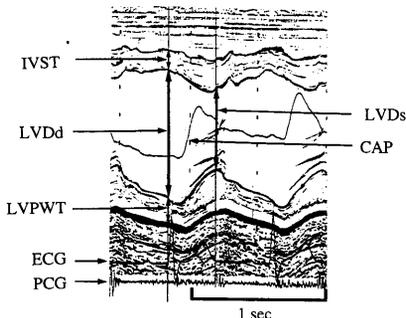


Fig. 1. M mode Echocardiography

りの時点で計測し、左室収縮終期径 (Left ventricular end-diastolic dimension: LVDs) は第II心音の開始点で計測した (図1)。心拍数は同期させた心電図の R-R 間隔から計算した。なお、心エコー図の計測値は呼吸による影響等⁵⁾ を考慮し、3心拍の各計測値の平均値を用いた。

左室拡張終期容量 (Left ventricular end-diastolic volume: LVEDV)、左室収縮終期容量 (Left ventricular end systolic volume: LVESV) については、Mモード法により得られた左室内径 (短径: LVDd、LVDs) から Pombo たち²⁷⁾ の式により

$$LVEDV = LVDd^3$$

$$LVESV = LVDs^3$$

として算出した。心臓の機能的指標である一回拍出量 (Stroke volume: SV) は、

$$SV = LVEDV - LVESV$$

として算出した。心拍出量 (Cardiac output: CO) は、

$$CO = SV \times HR$$

として算出した。また、心筋の収縮性の指標である左室内径短縮率 (Fractional shortening: FS)、駆出分画 (Ejection fraction: EF) は、

$$FS = \{ (LVDd - LVDs) / Dd \} \times 100$$

$$EF = (SV / LVEDV) \times 100$$

として算出した。

左室心筋重量 (Left ventricular mass: LVM) は、Devereux and Reichek⁹⁾ たちの式により、

$$LVM = [1.04 \{ (LVDd + LVPWT + IVST)^3 - LVDd^3 \} - 14] \times 0.8 + 0.6$$

として算出した。

R波の立ち上がりの時点における大動脈前壁エコー前面から大動脈後壁エコー前面までの間隔を大動脈径 (Aortic dimension: AoD) として計測した。さらに発育に伴う体格の因子を排除するため、左室拡張終期径、左室収縮終期径、心室中隔壁厚、左室後壁厚、大動脈径、左室拡張終期容量、左室収縮終期容量、一回拍出量、心拍出量、左室心筋重量については体表面積 (Body surface area: BSA) によって相対化し、それぞれ、左室拡張終期径係数 (LVDd Index: LVDd I)、左室収縮終期径係数 (LVDs I)、心室中隔壁厚係数 (IVST I)、左室後壁厚係数 (LVPWT I)、大動脈径係数: AoD I)、左室拡張終期容量係数 (LVEDV I)、左室収縮終期容量係数 (LVESV I)、一回拍出係数 (SI)、心係数 (CI)、左室心筋重量係数 (LVM I) とした。撮影、計測にあたっては主観

Table 1 Characteristics of Subjects

	1st grade		2nd grade		3rd grade	
	Control (1C)	Exercise (1E)	Control (2C)	Exercise (2E)	Control (3C)	Exercise (3E)
N	14	23	15	24	20	19
Age (Years)	12.7 ± 0.36	12.9 ± 0.29	13.7 ± 0.32	13.8 ± 0.31	14.6 ± 0.25	14.7 ± 0.31
Height (cm)	149.1 ± 6.78	156.3 ± 9.92	159.5 ± 7.58	161.2 ± 6.41	163.5 ± 5.33	166 ± 6.99
Weight (kg)	41.3 ± 8.4	44.7 ± 8.88	46.4 ± 7.52	49.3 ± 6.30	52.6 ± 9.02	53.4 ± 6.75
BSA (m ²)	1.32 ± 0.149	1.42 ± 0.181	1.46 ± 0.134	1.51 ± 0.115	1.57 ± 0.141	1.6 ± 0.125
HR (bpm)	73.5 ± 10.11	72 ± 9.30	79.5 ± 16.21*	70.6 ± 10.53	70.8 ± 8.36	67.2 ± 11.50
BPs (mmHg)	109.6 ± 9.06	112.5 ± 9.77	112.1 ± 10.34	118.5 ± 10.96	117 ± 8.25	120.8 ± 11.75
BPd (mmHg)	51.3 ± 8.07	51.2 ± 9.57	51.5 ± 9.11	51.2 ± 7.50	51.5 ± 8.54	49.6 ± 5.86

Values are Mean ± SD *; p < 0.05

が入らないようそれぞれ別の検者が行った。

III. 結 果

本研究における被検者の身体的特性を表1に示した。身長、体重、体表面積は対照群、運動群とも高学年児ほど高い値を示したが、1年の身長を除いて両群間の値に有意差はなかった。また、これらの値は日本人男子児童の標準値とはほぼ一致していた。安静時の心拍数は2年において対照群が運動群よりも有意に高い値 (P < 0.05) を示した。収縮期血圧は両群とも高学年になるにつれわずかづつではあるが増加する傾向を示したが、両群を比較すると運動群がやや高い反応を示した。拡張期血圧は対照群、運動群ともほぼ同じ値を示した。

被検者の日常生活内容を把握するために、アンケートを実施した。その結果、対照群は通常、週3日の体育授業を除いて定期的な身体活動を行っていなかった。運動群は1日2~2.5時間(平均2.1時間)、1週間に5~7日(平均6.5日)の全身持久的な種目の身体活動(陸上中・長距離、バスケットボール、サッカー、バドミントン、卓球等)を行っており、これまでの身体活動継続期間は1年で平均0.2年、2年で1.6年、3年で2.4年であった。また、対照群、運動群とも自宅から学校まで徒歩で要する通学時間に有意差はなかった。

運動群のうち陸上競技中・長距離選手8名を対象に、身体活動時の心拍数の変動を記録した。その結果、身体活動時の平均心拍数は134 bpmであった。これは被検者の年齢別予測最高心拍数の約65%に相当していた。

1500 m 走の成績(図2)は両群とも高学年になるにつれて向上したが、運動群はどの学年においても対照群より有意に (P < 0.001) 速かった。

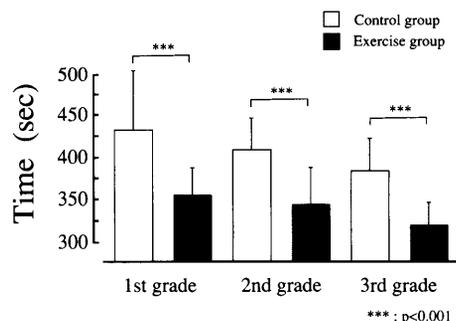


Fig. 2. Comparisons of 1500 m running time in each grade of exercise group and control group

超音波心エコー図

1) 心形態

心エコー図より得られた心形態の結果を表2に示した。

大動脈径(図3)は両群とも高学年になるにつれ増大する傾向を示したが、体表面積当りで相対化した大動脈径係数は対照群、運動群とも高学年になるにつれて低下する傾向を示した。各学年の対照群、運動群の間に有意差はなかった。

心室中隔壁厚、左室後壁厚、心室中隔壁厚係数、左室後壁厚係数は各学年ともほぼ同値を示し、両群間の間に有意差はなかった。

左室拡張終期径は図4にも示したが、対照群の1、2、3年でそれぞれ平均45.4、44.9、46.5 mmであり、運動群ではそれぞれ平均46.8、48.6、49.8 mmであった。発育に伴う変化をみると対照群ではわずかな増大傾向を示したのに対し、運動群において高学年になるにつれ対照群を上回る増大傾向を示した。これらを体表面積当りで相

Table 2 Cardiac structure of each group

	1st grade		2nd grade		3rd grade	
	Control (1C)	Exercise (1E)	Control (2C)	Exercise (2E)	Control (3C)	Exercise (3E)
N	14	23	15	24	20	19
LVDd (mm)	45.4 ± 3.31	46.8 ± 3.69	44.9 ± 3.94**	48.6 ± 4.12	46.5 ± 3.38**	49.8 ± 3.20
LVDd I (mm/m ²)	34.5 ± 2.6	33.3 ± 3.02	30.9 ± 3.26	32.2 ± 2.27	29.7 ± 1.88*	31.3 ± 2.65
LVDs (mm)	29.1 ± 3.03	30.9 ± 2.76	30.0 ± 2.83	31.5 ± 3.29	31.6 ± 2.79	32.3 ± 3.34
LVDs I (mm/m ²)	22.2 ± 2.54	22 ± 2.09	20.7 ± 2.37	20.8 ± 1.78	20.2 ± 1.67	20.3 ± 2.06
IVST (mm)	7.4 ± 1.07	7.9 ± 1.10	7.8 ± 1.23	7.6 ± 1.17	8.0 ± 1.41	8.1 ± 1.14
IVST I (mm/m ²)	5.7 ± 0.92	5.6 ± 0.67	5.3 ± 0.82	5.0 ± 0.68	5.1 ± 0.76	5.1 ± 0.74
LVPWT (mm)	7.8 ± 0.92	8.1 ± 1.09	8.3 ± 0.85	8.6 ± 0.99	8.8 ± 0.71	8.4 ± 0.93
LVPWT (mm/m ²)	5.5 ± 0.78	5.8 ± 0.71	5.7 ± 0.82	5.7 ± 0.50	5.6 ± 0.60	5.3 ± 0.59
AoD (mm)	23.4 ± 1.93	24.3 ± 2.83	24.1 ± 1.99*	25.8 ± 2.59	25.4 ± 1.92	26.1 ± 1.78
AoD I (mm/m ²)	17.9 ± 2.20	17.4 ± 2.21	16.5 ± 1.47	17.1 ± 1.56	16.3 ± 1.80	16.4 ± 1.28
LVM (g)	104.6 ± 24.07*	122.9 ± 27.04	114.4 ± 25.63	132.2 ± 28.47	129.3 ± 26.30	141.0 ± 24.53
LVM I (g/m ²)	78.8 ± 14.69	86.0 ± 12.92	78.3 ± 16.04	86.8 ± 14.33	82.0 ± 12.10	88.2 ± 13.07

Values are Mean ± SD *; p < 0.05
 **; p < 0.01

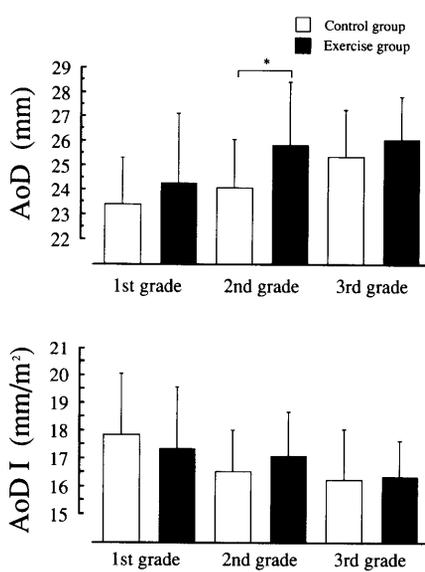


Fig. 3. Comparisons of AoD, AoD I in each grade of exercise group and control group

対化した左室拡張終期径係数は1年で対照群が運動群より高い傾向を示したが、2年では運動群が高い傾向を示し、3年では運動群 (31.3 mm) が対照群 (29.7 mm) に対し有意に高い値 (p < 0.05) を示した。また、左室拡張終期径係数は対照群、運動群とも高学年になるにつれ低下する傾向を示した。

左室収縮終期径は両群とも高学年になるにつれ増大する傾向を示した。左室収縮終期径係数は各

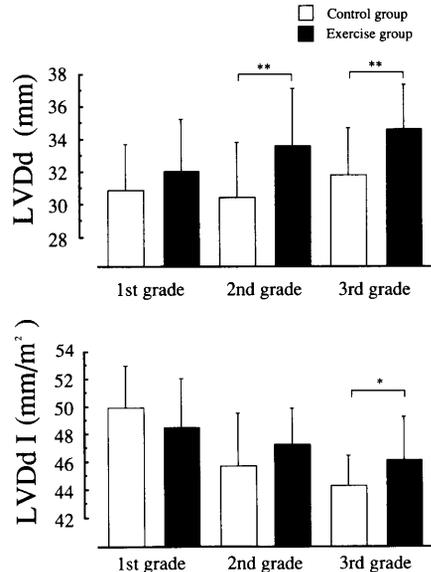


Fig. 4. Comparisons of LVDD, LVDD I in each grade of exercise group and control group

学年の対照群、運動群の間に有意差はなかった。左室心筋重量 (図5) は両群とも高学年になるにつれ増大する傾向を示し、対照群の1、2、3年でそれぞれ平均 104.6、114.4、129.3 g、運動群ではそれぞれ平均 122.9、132.2、141.0 g であった。また、左室心筋重量係数は両群とも各学年を通してほぼ一定の値を示した。しかし、対照

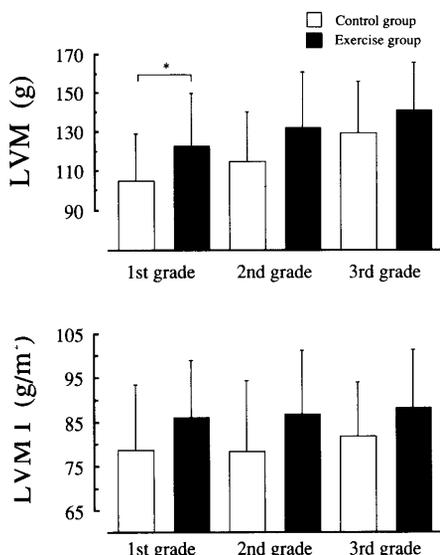


Fig. 5. Comparisons of LVM, LVM I in each grade of exercise group and control group

群と運動群を比較すると運動群が対照群よりも高い傾向を示した。

2) 心機能

心エコー図から求めた心機能の指標について表3に示した。

左室拡張終期容量は対照群の1、2、3年でそれぞれ平均 94.7、92.3、101.7 ml であり、運動群ではそれぞれ平均 104.1、116.9、124.5 ml で

あった。左室拡張終期容量は対照群では各学年を通じてほぼ一定の値であるのに対し、運動群において高学年になるにつれて増大する傾向を示した。また、左室拡張終期容量係数は対照群では高学年になるにしたがい低下する傾向を示すのに対し、運動群では各学年を通じてほぼ一定の値を示した。その結果、運動群は対照群に対し2年 (P < 0.05)、3年 (P < 0.01) で有意に高い値を示した。

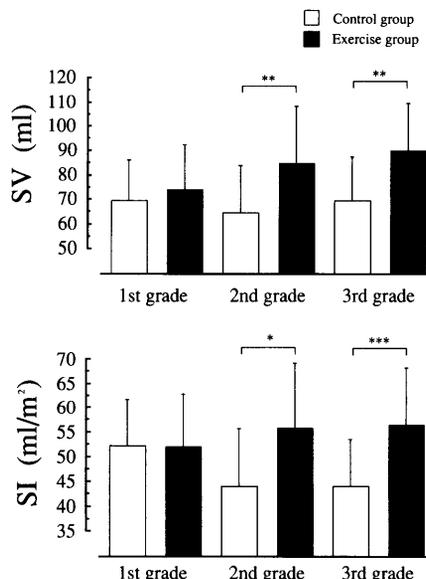


Fig. 6. Comparisons of SV, SI in each grade of exercise group and control group

Table 3 Cardiac function of each group

	1st grade		2nd grade		3rd grade	
	Control (1C)	Exercise (1E)	Control (2C)	Exercise (2E)	Control (3C)	Exercise (3E)
N	14	23	15	24	20	19
LVEDV (ml)	94.7 ± 20.29	104.1 ± 23.05	92.3 ± 24.79*	116.9 ± 30.63	101.7 ± 21.13**	124.5 ± 24.51
LVEDV I (ml/m ²)	71.3 ± 11.4	73.2 ± 12.70	63.1 ± 14.84*	76.9 ± 16.84	64.5 ± 10.38**	78.1 ± 13.80
LVESV (ml)	25.4 ± 7.53	30.1 ± 7.78	27.7 ± 7.72	32.2 ± 11.28	32.2 ± 8.41	34.7 ± 10.48
LVESV I (ml/m ²)	19.2 ± 5.47	21.1 ± 4.46	19.0 ± 5.05	21.1 ± 6.43	20.5 ± 4.87	21.6 ± 6.02
SV (ml)	69.4 ± 16.53	74.1 ± 18.44	64.6 ± 19.35**	84.8 ± 23.44	69.5 ± 17.88**	89.9 ± 19.59
SI (ml/m ²)	52.2 ± 9.48	52.1 ± 10.80	44.8 ± 11.56*	55.8 ± 13.35	44.0 ± 9.51***	56.4 ± 11.74
CO (l)	5.11 ± 1.439	5.31 ± 1.482	5.03 ± 1.505	5.87 ± 1.328	4.88 ± 1.269*	5.96 ± 1.223
CI (l/m ²)	3.82 ± 0.792	3.73 ± 0.863	3.44 ± 0.892	3.86 ± 0.705	3.1 ± 0.702**	3.73 ± 0.669
FS (%)	35.8 ± 4.93	33.9 ± 4.04	33.0 ± 3.69	35.2 ± 4.15	31.9 ± 4.83	35.1 ± 5.21
EF (%)	73.2 ± 6.28	70.9 ± 5.08	69.7 ± 5.14	72.5 ± 5.32	68.0 ± 6.88	72.2 ± 6.74

Values are Mean ± SD *; p < 0.05

**; p < 0.01

***; p < 0.001

一回拍出量(図6)は対照群の1、2、3年でそれぞれ平均69.4、64.6、69.5 ml とほぼ同じ値を示したが、運動群ではそれぞれ平均74.1、84.8、89.9 ml と高学年になるにつれて増大する傾向を示した。一回拍出係数は対照群では高学年になるにつれて低下する傾向を示したのに対し、運動群では各学年を通じてほぼ一定の値を示した。その結果、運動群が対照群よりも2年 ($P < 0.05$)、3年 ($P < 0.001$) で有意に高い値を示した。

左室内径短縮率、駆出分画(図7)は対照群において高学年になるにつれ低下する傾向を示したのに対し、運動群では各学年を通じてほぼ一定の値を維持した。その結果、2、3年では有意ではないものの運動群が対照群よりも高い値を示した。

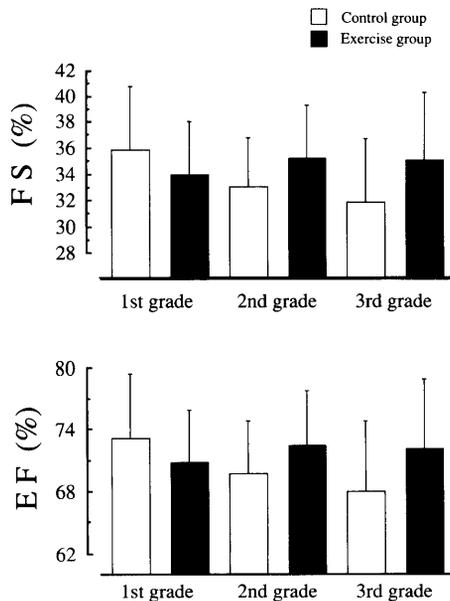


Fig. 7. Comparisons of FS, EF in each grade of exercise group and control group

IV. 論 議

1. 心形態に関する検討

身長、体重等の体格的な面を各学年ごとにみると(表1)、対照群、運動群間でほぼ同じ値であったが、1年から3年に至る過程では、高学年になるにつれて両群とも次第に増大する傾向を示した。

こうした身体そのものの発育に伴う心形態の変化を、心筋壁厚(心室中隔壁厚、左室後壁厚)に

ついて検討すると、表2に示したように身長、体重と同様、高学年になるにつれて次第に増大する傾向を示したが、両群とも各学年ではほぼ同じ厚さであった。対照群の場合、これまでの一般座業生活者の値と比較するとおよそ90~100%に相当しており²²⁾²⁹⁾³²⁾、身体活動を行っていない中学生の壁厚は、この時期においてすでに一般成人のレベルに近いところまで発育しているものと推察される。しかし、この時期から運動を行っていた児童の場合には、過去に筆者たちが報告¹¹⁾した日本人一流競技者(陸上競技、サッカー)や、Nishimura たち(自転車競技)の報告²²⁾、佐藤たち(陸上競技、自転車競技)の報告²⁹⁾、Sugishita たち(陸上競技)の報告³²⁾と比較し、まだ80~90%の発達率である事が指摘される。

さらに、壁厚を運動群と対照群で比較するとき、成人の場合では運動群の方が、対照群よりも15~20%程度増大しているとする報告⁶⁾²⁴⁾がみられる。また、本研究のような発育期児童の結果から考えれば、13~15歳というこの時期においては壁厚はほぼ一般成人の域まで発達することが考えられるが、運動群、対照群とを比較すると両群間に差はなかったことから、成人競技者にみられるような持続的トレーニングによる影響は、この時期にまだ壁厚まで生じないのかも知れない。おそらく、中学生の運動群においては発育期後期の高校期を終了するまでトレーニングを継続すれば、こうした成人持久性競技者のレベルに近いところまで発達する可能性があることを示すものであろう。

次に左室拡張終期径(図4)についてみると、対照群では45.5、44.9、46.5 mm と高学年になるにつれわずかずつ増大する傾向を示し、一方、運動群では46.8、48.6、49.8 mm と著明な増大を示した。対照群の結果からみれば左室拡張終期径は身体其自然な、あるいは生物学的な発育に比例して増加することが考えられる。しかし、運動群の場合は日常のトレーニングの影響により、対照群よりもさらに左室拡張終期径そのものが大きく、かつ、各学年毎の増加の程度が対照群よりも大きいことがその特徴として挙げられよう。

これまで日本人成人における一般座業生活者の左室拡張終期径はおよそ45~50 mm であることが報告²²⁾²⁹⁾³²⁾されている。こうした過去の報告と比較すると、概ね対照群は一般座業生活者の域にまだ達していないが、運動群ではその値にほぼ近くなり、特に最終学年(中学3年:15歳)では

一般座業生活者の上限値に相当する値に達している。しかしながら、絶対値では 55～60 mm がその上限と考えられる日本人の成人持久性競技者¹¹⁾²²⁾²⁹⁾³²⁾と比較するとおよそ90%に相当しており、今後運動群が身体活動を継続すれば左室拡張終期径はさらに増大する可能性を有するものと思われる。

次に、対照群と運動群について比較検討してみると、これまでの成人持久性競技者の左室拡張終期径は座業生活者に比べ有意に増大していることが報告³⁾⁶⁾²²⁾²⁵⁾されており、さらに、全身持久性の指標である最大酸素摂取量と左室拡張終期径の間に有意な相関があることも報告³⁾¹²⁾²⁵⁾されている。本研究の場合、図8に示したように1500 m 走の作業成績と左室拡張終期径との間に有意な相関があったことから、左室拡張終期径の増大はより大きな一回拍出量、さらには心拍出量を生じさせ、その結果、末梢の筋組織への酸素運搬量が増大し、高いレベルでの有気的作業が可能となると推察される。

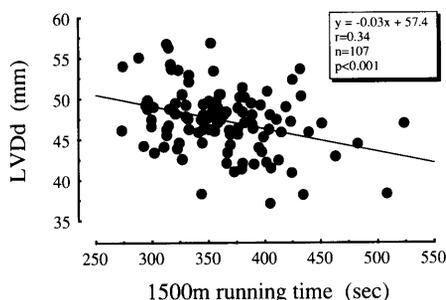


Fig. 8. Relationship between 1500 m running time and LVdD

体表面積当りで相対化した左室拡張終期径係数(図4)をみると、対照群では高学年になり、体表面積が増大するにつれて左室拡張終期径係数が低下するのに対し、運動群では2年から3年にかけて一定の値を保ち、3年では対照群に比較して有意に高い値を示した。これより対照群における心形態の発育がこの時期では身体の発育に追従していないこと、運動群では身体の発達にほぼ比例して左室拡張終期径が増大していることが推察されよう。発育期における報告の一つとして大柳たち²³⁾は15～18才の児童25名を対象に、持久性ランナー群では対照群に比べて左室拡張終期径係数が有意に増大していると述べている。また、Lengyel たち¹⁸⁾は14才の児童を対象とし左室拡張

終期径では水泳選手と対照群の間に有意差はないが、左室拡張終期径係数では水泳選手が有意に増大していると述べている。これらの知見と本研究の結果から運動の開始時期や内容などによっても異なるであろうが、スポーツ心臓にみられるような心拡大の形成²⁶⁾³⁰⁾はすでにこの時期(中学3年:15歳)において生じはじめているものと考えられる。このように、成人の持久性競技者や本研究のような持久的身体活動を行っている児童に示された左室拡張終期径の増大が起こる理由として、身体活動に伴う静脈還流量(前負荷)の増大と末梢血管抵抗(後負荷)の減少が挙げられる。それが心臓脈管系に反復的な血液による容量負荷をかけ、その結果、左室拡張終期径の増大が適応として起こる³⁾⁶⁾²¹⁾²⁵⁾のであろう。

こうした左室拡張終期径の増大が生じることはその血液量が駆出される大動脈径においても同様な傾向を示し(図3)、運動群は対照群よりも増大している傾向があった。しかしながら、左室拡張終期径と同様に大動脈径においても体表面積当たりで相対化すると、高学年になるにつれて低下する傾向を示した。これに関して、Gutgesell たち¹⁰⁾は体表面積当たりの大動脈径や心形態の指標は新生児の方が青年、成人よりも大きいとしている。また、Bouchard たち⁴⁾が述べているように、発育期は大動脈径や心形態の発育増加率よりも身体発育の増加率が高いとしていることから、おそらくこうしたことが関与しているものであろう。

次に、心筋重量(図5)に関してみると、対照群、運動群とも各学年ごとに増大し、また両群の比較においては運動群の方が高い値を示した。Maron たち¹⁹⁾は成人持久性競技者と座業生活者を比較し、心筋重量は競技者が45%程度大きいと述べている。また、心筋重量は壁厚や心臓の大きさによって左右されるが、特に左室拡張終期径の大小によることが指摘されており¹⁹⁾、本研究の結果も以上のことを反映しているものであろう。

2. 心機能に関する比較検討

はじめに心機能の発育に伴う変化を検討してみると左室拡張終期容量(表3)は対照群の1、2、3年で94.7、92.3、101.7 mlと増大傾向を示し、一方、運動群は104.1、116.9、124.5 mlと高学年になるにつれて対照群よりも著明な増大を示した。体表面積当りで相対化した左室拡張終期容量

係数(表3)を対照群と運動群とで比較すると、運動群の2、3年は対照群よりも21%の有意な増大を示した。

一回拍出量(図6)は対照群の1、2、3年で69.4、64.6、69.5mlとほぼ一定の値を示したのに対し、運動群では74.1、84.8、89.9mlと対照群に比べ著明な増大を示した。これは日本人成人持久性競技者の平均値(114ml)¹²⁾²⁷⁾³⁵⁾⁴⁰⁾の約65~80%に相当するものであった。中学生において左室収縮終期径の値はほぼ成人のレベルにあることから、今後の運動群における一回拍出量の増大には左室拡張終期径、左室拡張終期容量、さらに心筋収縮性の増大が関与するところが大きいと考えられる。また、対照群との比較においては一回拍出係数(図6)が運動群の2、3年において25%、28%とそれぞれ有意に増大していることから、運動群の心機能に対する身体活動の効果が推察される。

次に、心筋収縮性の指標である左室内径短縮率、駆出分画(図7)の発育に伴う変化について検討したい。対照群と運動群を比較すると、対照群における左室内径短縮率は高学年になるにつれ35.8、33.0、31.9%、駆出分画は73.2、69.7、68.0%とそれぞれ低下傾向を示した。一方、運動群では左室内径短縮率で、33.9、35.2、35.1%、駆出分画で、70.9、72.5、72.2%と各学年を通してほぼ一定した値を維持した。これらを3年の対照群と運動群との間で比較すると統計的な有意差はないものの運動群において高い傾向を示した。これまでの成人における報告では左室内径短縮率、駆出分画に座業生活者と持久性競技者との間で有意な差がないとするもの³⁾⁶⁾²¹⁾²²⁾、持久性競技者において増加しているとするもの¹³⁾²⁴⁾、低下しているとするもの²⁵⁾³²⁾が報告されており、被検者などの相違にもよるが必ずしも一定の傾向は得られていない。Stein たち³¹⁾は左室拡張終期径が増大すれば左室内径短縮率は減少するか変化はないと述べており、本研究においては運動群にみられた左室拡張終期径の増大により左室内径短縮率、駆出分画は一定に保たれたと考えられる。また、心筋収縮性を左右する因子に心拍数が挙げられるが、Peronnet たち²⁶⁾や DeMaria たち⁸⁾は心拍数の上昇に伴い左室拡張終期径が減少することを報告している。本研究においては表1に示したように2年の対照群の心拍数は運動群よりも有意に上昇していた。先の Stein たち³¹⁾の報告からすれば心

拍数の上昇による左室拡張終期径の減少により2年対照群の左室内径短縮率は増大するように考えられるが、運動群よりも低い傾向を示したことから、この時期における心筋収縮性の低下と何らかの関係があるのかもしれない。

以上のことからまとめると、左室拡張終期容量や一回拍出量、左室内径短縮率、駆出分画などの心機能においても対照群では心形態の場合と同様、発育と共に絶対値でわずかに増加するが、体表面積当たりの指標でみると低下していた。これは心機能の各指標が発育期における自然な発育に追従できないことを示すものであろう。しかし、運動群では体表面積当たりでみた指標でも低下することなく、横ばいまたは一定の値を示しており、これは対照群と異なり身体形態の増大に伴って心機能は増加し続けることを意味するもので、発育期に身体活動を継続的にこなうこと、またその期間の影響などにより効果が期待されるものと思われる。

V. ま と め

発育期における児童を対象に身体活動が心形態・機能に及ぼす影響について超音波心エコー図法を用いて検討した。

結果は以下のとおりである。

- 1) 左室拡張終期径は運動群において増大している傾向にあり、特に中学3年においては対照群よりも有意に増大していた。すなわち、成人持久性競技者にみられるスポーツ心臓は既にこの時期において形成されることが示唆された。
- 2) 心筋壁厚は対照群と運動群の間で有意差はなかったが、運動群において今後、身体活動を継続することにより増大する可能性のあることが示唆された。
- 3) 心機能は運動群において対照群よりも充進している傾向がみられた。

Reference

- 1) Allen, H. D., S. J. Goldberg, D. J. Sahn, N. Schy and R. Wojcik: A quantitative echocardiographic study of champion childhood swimmers. *Circulation*. 55(1): 142-145. 1977
- 2) 浅見俊雄: 現代社会が体力科学に要求するもの. *体育の科学*. 38(8): 600-605. 1986
- 3) Bekaert, I., J. L. Pannier, C. Van De Weghe, J. P. Van Durme, D. L. Clement and R. Pannier: Non-invasive evaluation of function in

- professional cyclists. *Br. Heart J.* **45**: 213-218. 1981
- 4) Bouchard, C., R. M. Malina, W. Hollmann and C. Leblanc: Submaximal working capacity, heart size and body size in boys 8-18 years. *Eurp. J. Appl. Physiol.* **36** 115-126. 1977
 - 5) Brenner, J. I. and A. Waugh: Effect of phasic respiration on left ventricular dimension and performance in a normal population. An echocardiographic study. *Circulation.* **57**(1): 122-127. 1978
 - 6) Cohen, J. L., P. K. Gupta, E. Lichstein and K. D. Chadda: The heart of a dancer: Noninvasive cardiac evaluation of professional ballet dancers. *Am. J. Cardiol.* **45**: 959-965. 1980
 - 7) Daniels, J. and N. Oldridge: Changes in oxygen consumption of young boys during growth and running training. *Med. Sci. Sports.* **3**(4): 161-165. 1971
 - 8) DeMaria, A. N., A. Neuman, P. J. Schubart, L. F. Garret and D. T. Mason: Systematic correlation of cardiac chamber size and ventricular performance determined with echocardiography and alterations in heart rate in normal persons. *Am. J. Cardiol.* **43**: 1-9. 1979
 - 9) Devereux, R. B., D. R. Alonso, E. M. Lutas, et al.: Echocardiographic assessment of left ventricular hypertrophy: Comparison to necropsy findings. *Am. J. Cardiol.* **57** 450-458. 1986
 - 10) Gutgesell, H. P., M. Paquet, D. F. Duff and D. G. McNamara,: Evaluation of left ventricular size and function by echocardiography results in normal children. *circulation.* **56**(3): 457-462. 1977
 - 11) 芳賀脩光、松田光生、植屋悦男、小島龍平、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
 - 12) 芳賀脩光、松田光生、小関 迪、小島龍平、植屋悦男、鶴木秀夫、富樫健二、中谷敏昭、折笠 敏、梨羽 茂：女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。 **12**. 185-193. 1989
 - 13) Ikaheimo, M. J., I. J. Palatsi and J. T. Takunen: Noninvasive evaluation of the athletic heart: Sprinters versus endurance runners. *Am. J. Cardiol.* **44**: 24-30. 1979
 - 14) 猪飼道夫、宮村実晴：最大毎分心拍出量の性、年齢別比較 **14** : 175-183. 1970
 - 15) 川原 貴、山本恵三、跡見順子、浅見俊雄、黒田善雄：11-12才男子における有酸素運動の継続的実施が心臓の形態に及ぼす影響。体力科学。 **34**(Suppl.) : 185-188. 1985
 - 16) Kobayashi, K., K. Kitamura, M. Miura, H. Sodeyama, Y. Murase, M. Miyashita and H. Matsui: Aerobic power as related to body growth and training in Japanese boys: a longitudinal study. *J. Appl. Physiol.* **44**(5): 666-672. 1978
 - 17) 近藤充夫：子供の生活と運動経験。体育の科学。 **38** : 572-573. 1988
 - 18) Lengyel, M. and I. Gyarfás: The importance of echocardiography in the assessment of left ventricular hypertrophy in trained and untrained schoolchildren. *Acta Cardiologica.* **34** (2): 63-69. 1979
 - 19) Maron, B. J.: Structural features of the athlete heart as defined by echocardiography. *J. Am. Coll. Cardiol.* **7**(1): 190-203. 1986
 - 20) 松島茂善 (編)：「国民体力の現状—最近5か年の文部省調査による—」。第一法規。1970
 - 21) Mumford, M., and R. Prakash: Electrocardiographic and echocardiographic characteristics of long distance runners comparison of left ventricular function with age-and sex-matched controls. *Am. J. Sports.* **9**(1): 23-28. 1981
 - 22) Nishimura T., Y. Yamada and C. Kawai: Echocardiographic evaluation of long-term effects of exercise left ventricular hypertrophy and function in professional bicyclists. *Circulation.* **61**(4): 832-840. 1980
 - 23) 大柳光正、朝隈 進、御幡千里、小正尚裕、川口清子、成瀬 均、岩崎忠昭：発育期における sports training の効果—dynamic exercise と static exercise との比較。臨床スポーツ医学。 **5**(3) : 325-330. 1988
 - 24) Parker, B. M., B. R. Londeree, G. V. Cupp and J. P. Dubiel: The noninvasive cardiac evaluation of long-distance runners. *Chest.* **73**(3): 376-381. 1978
 - 25) Paulsen, W., D. R. Boughner, P. Ko, D. A. Cunningham and J. A. Persaud: Left ventricular function in marathon runners: echocardiographic assessment. *J. Appl. Physiol.* **51** (4): 881-886. 1981
 - 26) Peronnet, F., R. J. Ferguson, H. Perrault, G. Ricci and D. Lajoie: Echocardiography and the athlete's heart. *The physician and sportsmedicine.* **9**(5): 103-112. 1981
 - 27) Pombo, J. F., B. L. Troy and R. O. Russell, Jr.: Left ventricular volume and ejection fraction by echocardiography. *Circulation.* **43**: 480-490. 1971
 - 28) Sahn, D. J., A. DeMaria, J. Kisslo and A. Weyman: Recommendations regarding quan-

- titation in M-Mode echocardiography : Results of a survey of echocardiographic measurements. *Circulation*. **58**(6): 1072-1083. 1978
- 29) 佐藤秀幸、尾崎 仁、松山泰三、井上通敏、安東明夫：ダイナミックな身体トレーニングによる左室肥大の意義と発生機序についての研究. *体力研究*. **62**(Suppl.) : 41-46. 1986
- 30) Spataro, A., A. Pelliccia, G. Caselli, E. Amici, and A. Venerando Echocardiographic standards in top-class athletes-A morphological study-. *J. Sports Card.* **2**. 17-27. 1985
- 31) Stein, R. A., D. Michielli, J. Diamond, B. Horwitz and N. Krasnow: The cardiac response to exercise training: Echocardiographic analysis at rest and during exercise. *Am. J. Cardiol.* **46**: 219-225. 1980
- 32) Sugishita, Y., S. Koseki, M. Matsuda, T. Yamaguchi and I. Ito: Myocardial mechanics of athletic hearts in comparison with diseased hearts. *Am. Heart Journal*. **105**(2): 273-280. 1983
- 33) Tharp, G. D., W. G. Thorland, G. O. Johnson and J. B. Peter: Cardiac dimensions in elite young track athletes. *Research Quarterly*. **57**(2): 139-143. 1986
- 34) Weber, G., W. Kartodihardjo and V. Klissouras: Growth and physical training with reference to heredity. *J. Appl. Physiol.* **40**(2): 211-215. 1976