

持久的身体活動が発育期児童の 心形態・機能に及ぼす影響

—— 縦断的検討 ——

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 cardiac dimensions and functions in adolescent boys

—— a longitudinal study ——

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

Abstract

The influence of aerobic exercise on cardiac dimensions and functions was studied in 115 normal children (aged 13 to 15 years) in exercise (n=66) and control (n=49) group. Each group was divided into 3 groups, such as 1C(13 yr, n=14), 2C(14 yr, n=15), 3C(15 yr, n=20), and 1E(13 yr, n=23), 2E(14 yr, n=24), 3E(15 yr, n=19). Echocardiographic study was performed at rest in each groups. The exercise group participated in an aerobic exercise session that met 1-2 hours/day, 5-7 days/week for 21 weeks. Each exercise bout was performed about 65% of predicted HR max.

The results were as follows:

- 1) There was no significant change in left ventricular wall thickness, left ventricular mass and fractional shortening between control group and exercise group.
- 2) Left ventricular diastolic dimension and stroke volume exhibited a significant increase in exercise group.
- 3) These findings indicate that when compared with control groups, pubertal children involved in an aerobic exercise program (about 65% HR max) showed progressive increase in left ventricular diastolic dimension and stroke volume and no change in left ventricular wall thickness, left ventricular mass and fractional shortening.

I. 緒 言

近年、我が国の疾患別死亡率では心疾患が脳血管疾患を追い越し、悪性新生物に次いで2位となってきた¹⁹⁾。これは食生活の改善に伴う摂取エネルギーの増加、生活様式の省力化に伴う身

原稿受理日 平成4年9月30日

* 三重大学教育学部

** 筑波大学体育科学系

*** 天理大学体育学部

体活動量の不足、社会的なストレスの増加などにより生じた結果である。心疾患や脳血管疾患の誘因となるものは一般的に成人病と呼ばれる高血圧症、糖尿病、高脂血症、動脈硬化などであるが、これらは持久的な身体活動のある一定期間行うことによって改善することが報告されている^{24,25)}。

一方、このような成人病の基礎を作るのが発育期における生活習慣であり、発育期から運動を行う習慣を付けることが将来、成人病を予防する上で重要となってくる。これまでに児童と身体活動量、児童に対する持久的トレーニング効果等は主に最大酸素摂取量を指標として数多く報告されており、身体活動量の多い児童は最大酸素摂取量も高く、またトレーニングにより最大酸素摂取量は増大することが示唆されている^{3,21)}。

先に我々は、持久的な身体活動を行うことにより最大酸素摂取量などを指標とした呼吸循環器系機能の中心である心形態・機能が中学2～3年の時期から適応し始めることを横断的に報告してき

た^{28,29)}。しかしながら、発育期において横断的な検討だけでは正常な発育による影響と身体活動による影響とが区別できない。また、成人において心形態・機能に関する持久的身体活動の影響を縦断的に検討した報告でも一定の見解が得られていない。DeMaria たち⁵⁾は平均26歳の健常な男女を対象とし、11週間の持久的トレーニングを行った結果、心形態・心機能ともに改善を示したことを報告しているのに対し、Wolfe たち³¹⁾は平均37歳の男性を対象とし24週間のトレーニングで心形態・機能の両方に変化はなかったとしている。この点に関して Graettinger¹⁵⁾は長期間のトレーニングの効果は、そのトレーニングを開始した年齢とトレーニングの期間に依存するとしており、Wolfe たち³¹⁾は DeMaria たちが用いた被検者が若かったことから、心臓のトレーナビリティが高かったのではないかと指摘している。さらに、Peronnet たち²²⁾はトレーニングに対する心臓のトレーナビリティは成人よりも子供や思春期児童

Table 1 Means of actual values and % change for physical characteristics before and

	N	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	BSA (m ²)
1st grade Control (1C)					
Before		12.7±0.36	149.1±6.78	41.3±8.40	1.32±0.149
After	14	13.1±0.37	152.7±7.17	43.6±9.44	1.38±0.166
% Diff		3.2±0.11	2.4±0.84	5.4±4.51	4.0 ±2.24
Exercise (1E)					
Before		12.9±0.29	156.3±9.92	44.7±8.88	1.42±0.181
After	23	13.3±0.28	159.2±9.90	46.8±9.45	1.46±0.187
% Diff		3.2±0.12	1.9±0.57	4.5±2.38	3.3 ±1.09
2nd grade Control (2C)					
Before		13.7±0.32	159.5±7.58	46.4±7.52	1.46±0.134
After	15	14.2±0.32	162.4±6.78	48.8±7.47	1.51±0.122
% Diff		3.1±0.15	1.8±1.09	5.3±3.13	3.5 ±1.99
Exercise (2E)					
Before		13.8±0.31	161.2±6.41	49.3±6.3	1.51±0.115
After	24	14.2±0.32	163.4±6.12	51.9±6.54	1.56±0.116
% Diff		3.2±0.12	1.4±0.79	5.3±3.31	3.2 ±1.96
3rd grade Control (3C)					
Before		14.6±0.25	163.5±5.33	52.6±9.02	1.57±0.141
After	20	15.0±0.25	165.4±4.69	54.3±8.43	1.60±0.128
% Diff		3.1±0.11	1.2±0.81	3.5±4.23	2.3 ±2.16
Exercise (3E)					
Before		14.7±0.31	166.0±6.99	53.4±6.75	1.60±0.125
After	19	15.2±0.32	168.4±5.93	57.3±6.84	1.66±0.106
% Diff		3.1±0.11	1.5±1.75	7.9±8.46	4.4 ±4.60

のほうが高いかもしれないが、その仮説を支持する心エコー図法を用いたデータはないとしている。このような理由から発育期における持久的身体活動が、児童の心形態・機能へ与える影響について検討することは意義のあることであると考えられる。そこで、本研究は21週間の持久的身体活動が、発育期における心形態・機能にどのような影響を及ぼすか、心エコー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(12.2~15.2歳)の特に心疾患を有さない健康な男子児童115名であり、対照群(Control group; 49名)と運動群(Exercise group; 66名)に分類した。対照群は、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1日1~2時間、週5~7日、持久的な身体活動をクラブ活

after experimental period in each group

HR (bpm)	BPs (mmHg)	BPd (mmHg)
73.5±10.11	109.6 ±9.06	51.3±8.07
77.9±11.11	112.1 ±13.40	56.6±4.99
6.8±13.60	2.4 ±10.19	12.3±16.59
72.0±9.30	112.5 ±9.77	51.2±9.57
69.7±9.90	119.2 ±11.78	55.0±10.62
-2.2±14.68	6.1 ±6.69	11.0±29.18
79.5±16.21	112.1 ±10.34	51.5±9.11
77.1±14.77	114.4 ±10.56	51.3±10.59
-0.6±21.47	2.39±8.02	1.3±22.76
70.6±10.53	118.5 ±10.96	51.2±7.50
64.1±11.49	117.4 ±10.31	57.2±9.71
-8.5±14.81	-0.7 ±6.39	13.0±20.86
70.8±8.36	117.0 ±8.25	51.5±8.54
79.8±12.48	123.5 ±10.44	51.7±6.78
13.1±16.08	6.0 ±10.40	2.4±16.62
67.2±11.5	120.8 ±11.75	49.6±5.86
69.5±11.07	125.0 ±5.59	54.1±8.42
4.5±14.25	4.4 ±11.06	10.3±20.20

Values are mean±SD

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。各群は学年別に中学1年対照群を1C(14名)、運動群を1E(23名)、中学2年対照群を2C(15名)、運動群を2E(24名)、中学3年対照群を3C(20名)、運動群を3E(19名)とした。

トレーニング期間は21週間とし、その前後(Before、After)に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、心エコー図の撮影を行った。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、無作為に8名を抽出し、身体活動時の心拍数をテレメーター法により記録した。

2. 心エコー図撮影

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50mmの速度で記録した。撮影手順としては被検者を仰臥位に寝かせ、探触子(3MHz)を被検者の第3~4肋間胸骨左縁に於て、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った。また、同時に、第II誘導による心電図と、心音計を第II音が明瞭となる位置に置いて心音図を記録した。心エコー図撮影前に被検者の左肘窩上腕動脈部よりマンシエット法により安静時血圧を測定した。

安静時の心エコー図の撮影や計測方法に関しては先に我々が行った方法と同様にして行った^{28,29)}。大動脈径(Ao)、左室拡張終期径(LVDd)、心室中隔壁厚(IVST)、左室後壁厚(LVPWT)は心電図上R波の開始点で計測し、左室収縮終期径(LVDs)は第II心音の開始点で計測した。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^{2,31)}を考慮し、3心拍の平均値を用いた。また、これらの計測値から以下の指標を算出した。

左室壁厚(WT; mm)=IVST+LVPWT

左室拡張終期容量(LVEDV; ml)=Dd³²³⁾

左室収縮終期容量(LVESV; ml)=Ds³²³⁾

一回拍出量(SV; ml)=LVEDV-LVESV

心拍出量(CO; l/min)=SV×HR

左室内径短縮率(FS; %)=

$\{(Dd-Ds)/Dd\} \times 100$

$$\begin{aligned} \text{駆出分画 (EF; \%)} &= (\text{SV/LVEDV}) \times 100 \\ \text{左室心筋重量 (LVM; g)} &= \\ &[1.04 \{(\text{Dd} + \text{LVPWT} + \text{IVST})^3 - \text{Dd}^3\} - 14] \\ &\times 0.8 + 0.6 \end{aligned}$$

3. 統計処理

各学年間の有意差検定には unpaired t-test を用い、トレーニング期間前後における検定には paired t-test を用いた。有意水準は $p < 0.05$ を有意とした。

III. 結 果

形態測定・アンケート・身体活動量

両群における身体的特徴の変化を Table 1 に示した。体表面積 (BSA) は両群とも全ての学年でトレーニング後有意に ($p < 0.001$) 増大した (Fig. 1A)。体表面積の変化率は各学年とも両群間で有意差はなかった (Fig. 1B)。また、身長、

体重、体表面積は日本人男子児童の標準値とほぼ一致していた。

アンケートの結果、運動群の1、2年は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) の持久的な身体活動を行っていた。身体活動時の平均心拍数は 134 bpm であり、これは被検者の年齢別予測最高心拍数の約65%に相

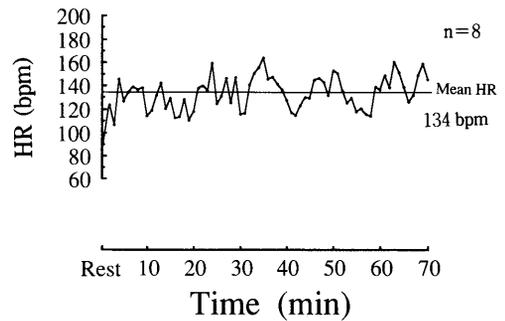


Fig. 2 Mean heart rate response in the exercise group during physical exercise

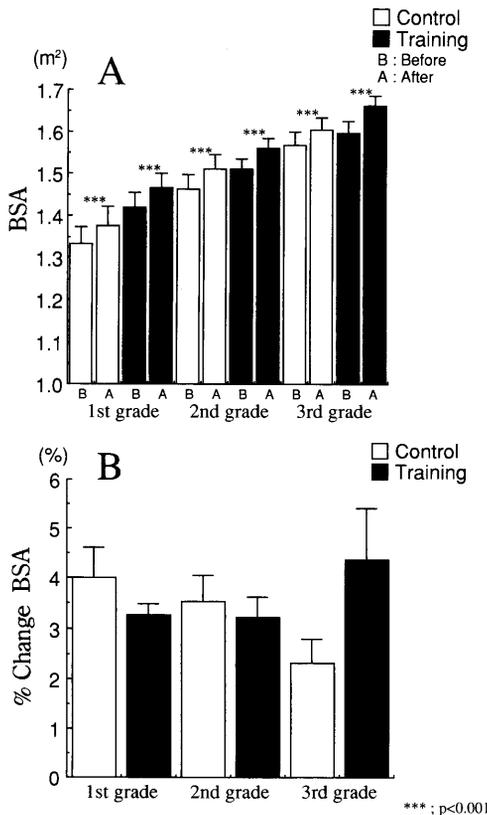


Fig. 1 Change of BSA before and after training (A), and comparisons of % change BSA in each grade of exercise and control group (B)

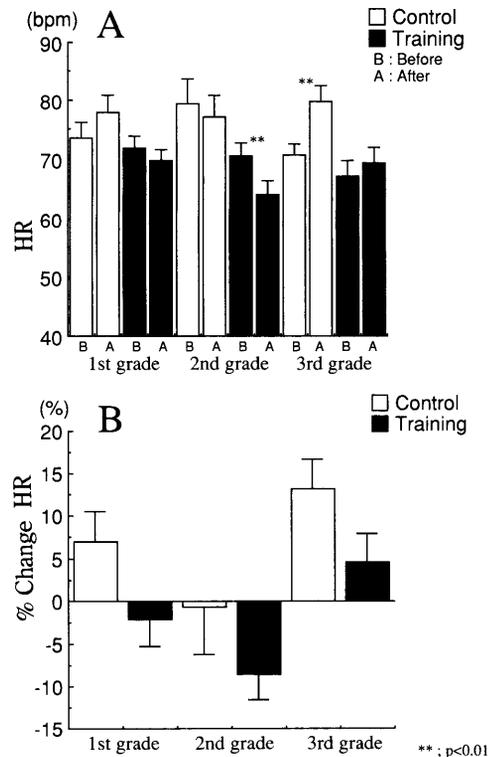


Fig. 3 Change of HR before and after training (A), and comparisons of % change HR in each grade of exercise and control group (B)

当していた (Fig. 2)。一方、運動群 3 年は Before の計測終了後クラブ活動を中止していた。

心エコー図

心拍数 (HR) はトレーニング後、2 年運動群で平均 71 bpm から 64 bpm へと有意に ($p < 0.01$) 低下し、3 年対照群において 71 bpm から 80 bpm へと有意に ($p < 0.01$) 増加した (Fig. 3A)。トレーニング後の変化率は、各学年とも両群間で有意差はなかった (Fig. 3B)。

心筋壁厚 (WT) は対照群全ての学年でトレーニング後有意に (それぞれ、 $p < 0.001$ 、 $p < 0.05$ 、 $p < 0.001$) 増大した。一方、運動群では 3 年のみトレーニング後有意 ($p < 0.05$) に増大した (Fig. 4A)。トレーニング後の変化率は 1 年対照群が運動群より有意に高い値を示した (Fig. 4B)。

Fig. 5A に左室拡張終期径 (LVDD) の結果を示した。トレーニング後、対照群は 1 年、2 年、3 年と高学年になるにつれ、それぞれ 45.4 mm から 45.8 mm (0.8%)、44.9 mm から 46.0 mm

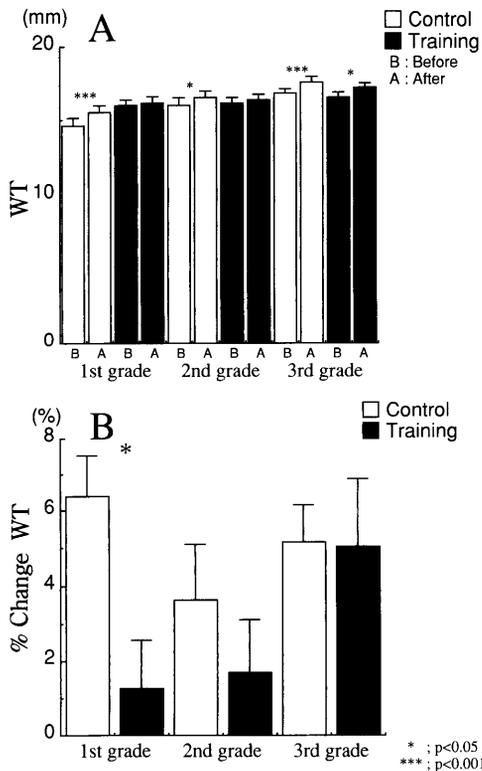


Fig. 4 Change of WT before and after training (A), and comparisons of % change WT in each grade of exercise and control group (B)

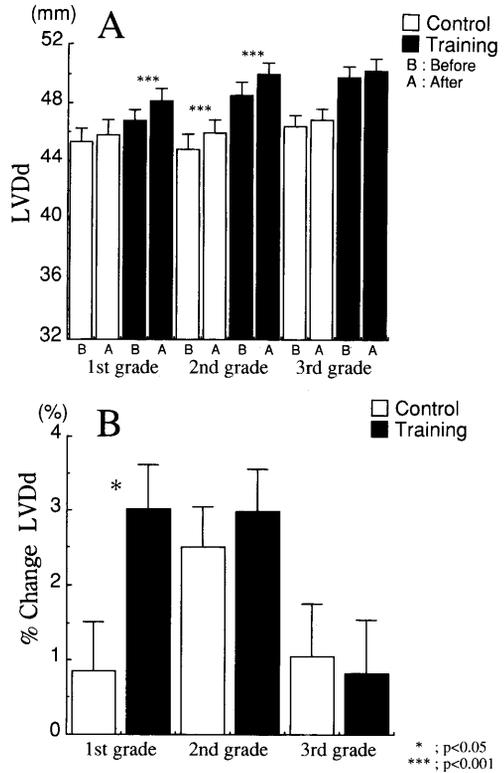


Fig. 5 Change of LVDD before and after training (A), and comparisons of % change LVDD in each grade of exercise and control group (B)

(2.5%)、46.5 mm から 46.9 mm (1.0%) へ増大した。運動群ではそれぞれ 46.8 mm から 48.2 mm (3.0%)、48.6 mm から 50.0 mm (3.0%)、49.8 mm から 50.2 mm (0.8%) へと増大した。対照群の 2 年と運動群の 1、2 年は有意な ($p < 0.001$) 増大であった。また、その変化率を各学年の対照群と運動群で比較すると 1 年の運動群は対照群より有意に ($p < 0.05$) 高い値を示し、2、3 年ではほぼ等しい変化率であった (Fig. 5B)。

一回拍出量 (SV) も左室拡張終期径と同様な傾向を示し、対照群では 2 年生が 64.5 ml から 69.5 ml へ、運動群では 1、2 年がそれぞれ 74.1 ml から 81.1 ml、84.8 ml から 92.2 ml へと有意に ($p < 0.01$) 増大した (Fig. 6A)。トレーニング後の変化率は 1 年の運動群で対照群より有意に ($p < 0.05$) 高い値を示した (Fig. 6B)。

左室心筋重量 (LVM) は両群とも全ての学年でトレーニング後有意に ($p < 0.01$ 、 $p < 0.001$) 増大した (Fig. 7A)。しかし、その変化率は各学年と

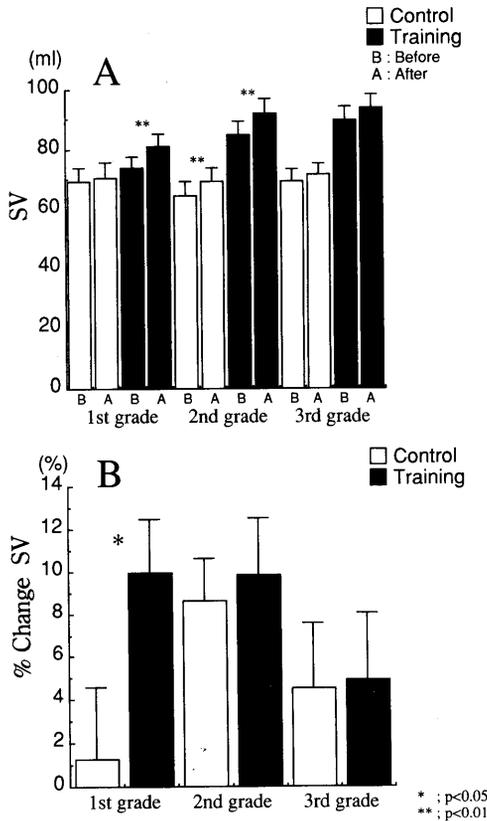


Fig. 6 Change of SV before and after training (A), and comparisons of % change SV in each grade of exercise and control group (B)

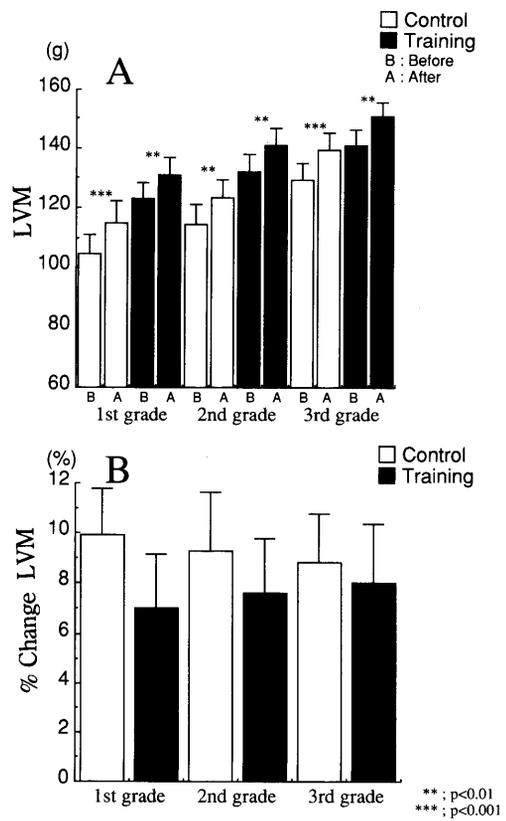


Fig. 7 Change of LVM before and after training (A), and comparisons of % change LVM in each grade of exercise and control group (B)

も両群間で有意差はなかった (Fig. 7B)。

左室内径短縮率 (FS) は両群とも全ての学年でトレーニング後有意な変化を示さなかった (Fig. 8A)。また、トレーニング後の変化率を各学年の対照群、運動群の間で比較しても有意差はなかった (Fig. 8B)。

IV. 考 察

近年、心エコー図法の確立により非観血的に心形態や機能を評価できるようになってきた。特に、形態面ではX線等に比べ心筋壁と心内腔に分けて検討が行えるようになった。心エコー図法は簡便で信頼性が高く、反復して検査が行えることから臨床の場においても多く利用されている¹³⁾。本研究ではこの心エコー図法を用い、発育期における21週間の持続的身体活動が心形態・機能にどのような影響を及ぼすか検討した。

初めに、対照群、運動群の形態 (身長、体重、

体表面積等) はトレーニング後、各学年とも有意に増大した (Table 1, Fig. 1)。本研究の被検者は発育過程において第二次性徴期にあたり、形態の発育はピークにあるものと考えられる。しかしながら、トレーニング後の変化率は各学年とも両群間に有意差はなく形態に持続的身体活動の影響はみられなかった。

心拍数 (Fig. 3A) は運動群において対照群よりも低い傾向がみられ、またトレーニング後、2年運動群は有意に減少した。持続的身体活動に伴う心拍数の減少には一回拍出量の増大と副交感神経系の緊張などが関与しているものと考えられる^{9,11)}。また、3年の運動群においてトレーニング後、心拍数が増大しているのはクラブ活動の中止ともなうデイトレーニングの影響であると考えられる。

心形態に関して、左室壁厚は対照群全ての学年でトレーニング後有意に上昇したのに対し、運動

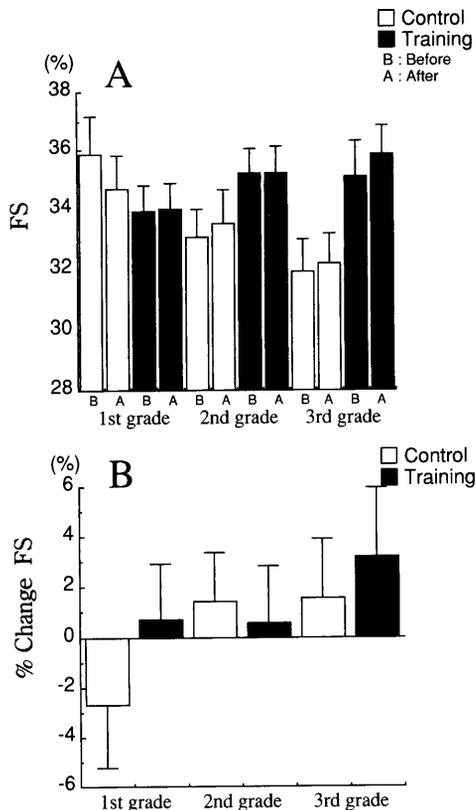


Fig. 8 Change of FS before and after training (A), and comparisons of % change FS in each grade of exercise and control group (B)

群では3年のみがトレーニング後有意に上昇した (Fig. 4A)。左室壁厚のトレーニング後の変化率を対照群と運動群との間で比較すると1年の対照群が運動群よりも有意に増大し、他の学年では両群間に有意差はなかった (Fig. 4B)。持久的な身体活動と左室壁厚の関係について、Ehsani たち⁸⁾ はトレーニング2~7ヶ月前までは規則的な身体活動を行っていない17~19歳の水泳選手に9週間の水泳トレーニングを行わせた結果、左室壁厚が対照群に対し有意に増大したとしている。また、Thompson たち²⁷⁾ は22歳の座業生活者を対象に10週間、脚トレーニングを行わせた結果、左室壁厚に有意な変化はなかったとし、Wolfe たち³²⁾ は1年以内の持久的なトレーニングでは左室壁厚を肥大させる刺激には不十分であると述べている。このように青少年や成人における左室壁厚の持久的なトレーニングに対する影響は被検者やトレーニング内容の相違にもよるが一致した見解は得られ

ていない。本研究における運動群が行っていた身体活動は持久的な種目であり、少なくとも、1年間以上は身体活動によるトレーニングを行っていた2年運動群でさえも対照群に対し左室壁厚の有意な増大が生じなかったということは、中学生という発育期において左室壁厚の増大に関与するものは身体活動の因子よりも形態の発育による因子の方が大きいのかかもしれない。また、先に我々が報告²⁹⁾ した結果より、3年生運動群の左室拡張終期径は成人持久性競技者の左室拡張終期径に対して占める割合が87~93%であるのに対し、左室後壁厚が成人持久性競技者の左室後壁厚に対し占める割合は約80%であることから運動の刺激に対する壁厚の増大は左室拡張終期径の増大より遅れて生じることが考えられる。さらに、動物実験において、心臓の運動に対する適応はまず左室拡張終期径に増大が起こり、その後、壁厚に増大が起こることが報告されている³³⁾。本研究の結果から言えば、対照群では左室拡張終期径の発育が終了し、左室壁厚の増大が生じ始めたのに対し、運動群ではまだ左室拡張終期径の発育段階であり、今後の身体活動の継続により運動群の左室壁厚が増大する可能性は高いものと考えられる。

次に、左室拡張終期径の発育について検討してみると、対照群ではトレーニング後において2年のみが44.9 mm から46.0 mmへと有意に増大しただけであった (Fig. 5A)。各学年のトレーニング後の変化率では2年が最も高い値であり、運動群ともほぼ等しいものであった (Fig. 5B)。従って、一般的な発育期児童では中学2年生頃が左室拡張終期径の最も増大する時期であることが推察される。一方、運動群のトレーニング後 (Fig. 5A) の変化を検討すると1年 (46.8 mm から48.2 mm) と2年 (48.6 mm から50.0 mm) において有意な増大を示した。また、トレーニング後の変化率 (Fig. 5B) は中学1年、2年において3年より有意に高い値を示した。左室拡張終期径の身体活動に対するトレーニング効果について検討してみると、これまでの成人における縦断的な報告では大きく分けてトレーニングにより左室拡張終期径が増大するもの^{1,5,8,26,30)} と変化はないとするもの^{4,10,12,16,22)} が報告されている。トレーニング効果がみられたとする最も顕著な報告としては Ehsani たち⁸⁾ のものであり、彼等は17~18才の水泳競技者8名を対象とし激しいトレーニングを行った結果、1週間目で左室拡張終

Table 2 Means of actual values and % change for echocardiographi

	N	LVDd (mm)	LVDs (mm)	WT (mm)	Ao (mm)	LVEDV (ml)
1st grade Control (1C)						
Before		45.4±3.31	29.1±3.03	14.7±1.8	23.4±1.93	94.7±20.29
After	14	45.8±3.94	29.9±2.87 *	15.6±1.6 *	24.1±2.01	97.9±25.05
% Diff		0.8±2.50	2.8±4.64	6.4±4.2	3.6±9.97	2.7±7.93
Exercise (1E)						
Before		46.8±3.69 #	30.9±2.76	16.0±2.0 #	24.3±2.83	104.1±23.05
After	23	48.2±3.84 *	31.7±2.74 *	16.2±2.0	25.1±2.52	113.8±25.61 *
% Diff		3.0±2.90	3.1±6.80	1.3±6.2	3.4±9.69	9.6±9.64
2nd grade Control (2C)						
Before		44.9±3.94	30.0±2.83	16.0±1.9	24.1±1.99	92.3±24.79
After	15	46.0±3.63 *	30.5±2.91 *	16.5±1.6 *	25.3±1.47 *	98.7±22.91 *
% Diff		2.5±2.10	1.8±4.35	3.6±5.7	5.8±8.26	7.8±6.62
Exercise (2E)						
Before		48.6±4.12	31.5±3.29	16.1±1.9	25.8±2.59	116.9±30.63
After	24	50.0±3.80 *	32.3±2.92	16.4±2.0	26.1±2.07	126.8±28.94 *
% Diff		3.0±2.77	3.1±6.06	1.7±6.9	1.4±7.79	9.5±8.85
3rd grade Control (3C)						
Before		46.5±3.38	31.6±2.79	16.8±1.6	25.4±1.92	101.7±21.3
After	20	46.9±3.37	31.8±2.94	17.6±1.5 *	26.3±1.88 *	104.7±21.74
% Diff		1.0±3.19	0.7±4.60	5.2±4.5	3.9±4.86	3.4±10.16
Exercise (3E)						
Before		49.8±3.20	32.3±3.34	16.5±1.8	26.1±1.78	124.5±24.51
After	19	50.2±3.72	32.2±3.47	17.2±1.3 *	26.8±2.31 *	128.3±29.09
% Diff		0.8±3.17	-0.1±6.30	5.0±8.0	2.8±3.80	2.8±9.89

LVDd: Left ventricular end-diastolic dimension, LVDs: Left ventricular end-systolic dimension, WT: Wall systolic volume, SV Stroke volume, CO: Cardiac output LVM: Left ventricular mass, FS: Fractional *; before vs after #; vs exercise group

期径が平均 4.3 mm 増大したとしている。一方、伊藤たち¹⁶⁾は18~19歳の座業生活者を対象とし、10週間の持久的トレーニングを行っても左室拡張終期径に有意な変化はなかったと報告している。さらに年齢的な因子を加え、6~7歳の発育期前児童¹⁴⁾や中年²²⁾を対象とした報告ではトレーニング前後で左室拡張終期径に変化はないとしている。このように左室拡張終期径に対するトレーニングの影響には年齢の因子や被検者の条件などが関与しており、一定の見解は得られていない。本研究においてはトレーニング後の左室拡張終期径の変化率が1年生運動群において対照群よりも有意に高い値であった。このことより、発育期において持久的な身体活動を行えば左室拡張終期径にトレーニング効果が認められると考えられる。また、本研究の運動群における身体活動時の心拍数

からみれば年齢別予測最高心拍数の約65%に相当する強度で左室拡張終期径に十分な効果を生じさせることが可能であると考えられる。このような持久的な身体活動に伴い左室拡張終期径が増大する機序として、体液性の調節因子と、機械的な刺激による影響が考えられている。体液性の調節因子としては運動に伴い血中にカテコラミンが放出され、 α_1 リセプターを介し蛋白合成を促進し、心筋細胞の肥大を起こすのであろう¹⁷⁾。また、機械的な刺激としては身体活動に伴い静脈観流量の増大、すなわち、心臓に対して前負荷が増大することにより心筋が機械的に引き伸ばされ、蛋白合成を促進したものと考えられる¹⁸⁾。

心臓の機能的な指標である一回拍出量は左室拡張終期径と同様なパターンを示し、運動群では1、2年が、対照群では2年がトレーニング後有意に

data before and after 21 weeks of training period in each group

LVESV (ml)	SV (ml)	CO (l)	LVM (g)	FS (%)	EF (%)
25.4±7.53	69.4±16.53	5.11±1.439	104.6±24.07	35.8±4.93	73.2 ±6.28
27.4±7.87 *	70.6±20.10	5.44±1.558	114.8±27.49 *	34.7±4.17	71.8 ±5.79
9.3±14.80	1.3±12.47	7.9 ±17.18	9.9±6.99	-2.6±9.58	-1.6 ±5.79
30.1±7.78	74.1±18.44 #	5.31±1.482	122.9±27.04	33.9±4.04	70.9 ±5.08
32.7±8.16 *	81.1±20.23 *	5.56±1.288	130.9±28.81 *	34 ±4.09	70.9 ±5.21
10.9±22.99	9.9±12.17	7.6 ±20.44	7.0±10.20	0.7±10.70	0.3 ±6.56
27.7±7.72	64.6±19.35	5.03±1.505	114.4±25.63	33.0±3.69	69.7 ±5.14
29.2±8.52	69.5±17.58 *	5.21±1.067	123.6±21.95 *	33.5±4.39	70.2 ±5.98
6.0±13.61	8.6±7.76	7.9 ±24.92	9.3±9.05	1.5±7.56	0.76±4.89
32.2±11.28	84.8±23.44	5.87±1.328	132.2±28.47	35.2±4.15	72.5 ±5.32
34.6±10.45 *	92.2±22.95 *	5.87±1.631	141.0±27.61 *	35.2±4.4	72.5 ±5.41
10.6±19.34	9.8±13.26	0.6 ±21.44	7.6±10.69	0.6±11.20	0.2 ±6.85
32.2±8.41	69.5±17.88	4.88±1.269	129.3±26.3	31.9±4.83	68.0 ±6.88
32.9±9.34	71.8±17.22	5.59±0.999 *	139.7±25.90 *	32.2±4.26	68.5 ±6.41
2.8±13.86	4.6±13.45	17.8 ±19.15	8.8±8.72	1.6±10.53	1.0 ±7.02
34.7±10.48	89.9±19.59	5.96±1.223	141.0±24.53	35.1±5.21	72.2 ±6.74
34.5±11.05	93.8±21.29	6.46±1.507	150.9±22.40 *	35.9±4.30	73.3 ±5.21
0.8±19.39	4.9±13.58	9.2 ±18.00	8.0±10.32	3.2±11.94	2.0 ±7.52

Values are mean±SD

thickness, Ao: Aortic dimension, LVEDV: Left ventricular end diastolic volume, LVESV: Left ventricular end shortening, EF: Ejection fraction

増大した (Fig. 6A)。トレーニング後の変化率をみると1年運動群が対象群に対し有意に増大しておりトレーニング効果がみられたが、2年、3年ではほぼ等しい値であった (Fig. 6B)。2年において差がなかったのは、この時期が心機能の自然な発達のピークであり、運動群とほぼ等しい変化率をみせたものと考えられる。また、3年において差がなかったのは、クラブ活動の中止に伴うダイエットの影響が考えられ、身体活動を続けた場合の変化については今後の検討が必要であると思われる。また、こうした持久的身体活動に伴う一回拍出量の増大が運動群における心拍数の減少に関与しているものと推察される。

左室心筋重量は全ての学年において両群とも有意に増大した (Fig. 7A)。しかしながら、トレーニング後の変化率は各学年で両群とも有意差はな

く、持久的身体活動の影響は認められなかった (Fig. 7B)。持久的身体活動に対する左室心筋重量の増大に関して Geenen¹⁴⁾ は、6～7歳の児童を対象に週4日、32週間の持久的トレーニングの結果、有意に増大したとしており、それは心筋壁厚の増大によるものであろうと推察している。一方、Thompson²⁷⁾ も同様なトレーニングを施し、左室心筋重量の増大を認めているが、それは左室拡張終期径の増大によるものであろうとしている。本研究において心筋壁厚は1、2年で対照群が運動群よりも増大しており、3年ではほぼ等しく、また左室拡張終期径では1、2年で運動群が対照群よりも増大しており、3年ではほぼ等しかったことから、これら両因子の相互作用により左室心筋重量の変化率に差が現れなかったものと考えられる。しかしながら、左室心筋重量の絶対値では

運動群が対照群よりも有意に増大しているので、この差がいつごろから現れるのか、より低学年を対象として検討する必要があると思われる。

最後に、収縮性の指標である、左室内径短縮率 (Fig. 8A)、駆出分画 (Table 2) の発育に伴う変化は、対照群、運動群ともトレーニング後で有意な変化を示さなかった。また、トレーニング後の変化率も対照群と運動群の間で有意差はなかった (Fig. 8B)。これまでの成人を対象とした持久的トレーニングに伴う収縮性の変化については、トレーニングにより収縮性が亢進するもの^{5,10,26)}と不変であるとするもの^{1,8,12,16,30)}が報告されており、本研究のような発育期児童を対象とした縦断的研究では後者を支持するものとなった。しかし、これら収縮性の指標は長期間にわたり変化していくものと考えられ、身体活動が収縮性に与える影響を論議するためには今後より長期にわたる縦断的な検討が必要であろう。

V. 総 括

発育期における児童を対象に持久的な身体活動が心形態・機能に及ぼす影響について心エコー図法を用いて縦断的に検討した。

1) 発育期児童の心筋壁厚に持久的な身体活動の影響は認められなかった。発育期における心筋壁厚の増大には身体活動の因子よりも形態的な発育の因子 (体表面積等) の方が大きいことが推察される。

2) 左室拡張終期径、一回拍出量は1年の運動群において持久的な身体活動によるトレーニングの効果が認められた。発育期において年齢別予想最高心拍数の約65%で身体活動を継続することにより左室拡張終期径、一回拍出量は増大することが示唆された。また、一般的な児童の発育に関しては中学2年頃が左室拡張終期径、一回拍出量の増大のピークになることが示唆された。

3) 左室心筋重量は各学年とも両群間でトレーニング後有意に増大したが、運動群において持久的な身体活動に伴う影響は認められなかった。絶対値においては既に差がみられていることから、より低学年での検討が必要であると考えられる。

4) 心筋の収縮性に身体活動の影響は認められなかった。これらの指標は長期間にわたり変化していくものと考えられ、今後の縦断的な検討が必要であろう。

Reference

- 1) T. D. Adams et al., "Noninvasive Evaluation of Exercise Training in College-age Men," *Circulation* 64.5 (1981): 958-965.
- 2) J. I. Brenner, and R. A. Waugh, "Effect of phasic respiration on left ventricular dimension and performance in a normal population An echocardiographic study," *Circulation* 57.1 (1978): 122-127.
- 3) J. Daniels, and N. Oldridge, "Changes in oxygen consumption of young boys during growth and running training," *Med. Sci. Sports Exerc.* 3.4 (1971): 161-165.
- 4) G. M. Davis, R. J. Shephard, and F. H. H. Leenen, "Cardiac effects of short term arm crank training in paraplegics: echocardiographic evidence," *Eur. J. Appl. Physiol.* 56 (1987): 90-96.
- 5) A. N. DeMaria et al., "Alterations in ventricular mass and performance induced by exercise training in man evaluated by echocardiography," 57.2 (1978): 237-244.
- 6) A. N. DeMaria et al., "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 (1979): 1-9.
- 7) R. B. Devereux, "Detection of left ventricular hypertrophy by m-mode echocardiography: anatomic validation, standardization, and comparison to other methods," *Hypertension* 9.2 II suppl. (1987): II-19-II-26.
- 8) A. A. Ehsani, J. M. Hagberg, and R. C. Hickson, "Rapid Changes in left ventricular dimensions and mass in response to physical conditioning and deconditioning," *Am. J. Cardiol.* 42 (1978): 52-56.
- 9) B. Ekblom et al., "Effect of training on circulatory response to exercise," *J. Appl. Physiol.* 24.4 (1968): 518-528.
- 10) R. Fagard et al., "Noninvasive assessment of seasonal variations in cardiac structure and function in cyclists," *Circulation* 67.4 (1983): 896-901.
- 11) M. H. Frick, R. O. Elovaino, and T. Somer, "The mechanism of bradycardia evoked by physical training," *Cardiologia* 51 (1967): 46-54.
- 12) M. H. Frick et al., "Cardiovascular dimensions and moderate physical training in young men," *J. Appl. Physiol.* 29.4 (1970): 452-455.
- 13) 藤井諄一 他, "心エコー法による左室拡張期動態の検討," *心臓* 10.10 (1978): 1011-

- 1021.
- 14) D. L. Geenen et al., "Echocardiographic measures in 6 to 7 year old children after an 8 month exercise program," *Am. J. Cardiol.* 49. 1990-1995 (1982):
 - 15) W. F. Graettinger, and N. M. Albuquerque, "The cardiovascular response to chronic physical exertion and exercise training: An echocardiographic review," *Am. Heart J.* 108.4 (1984): 1014-1018.
 - 16) 伊藤真也 他, "短期間の身体トレーニングが左心形態・機能に及ぼす影響について," *体力科学* 33 (1984): 78-84.
 - 17) K. Kaibuchi, T. Tsuda, and A. Kikuchi, "possible involvement of protein kinase C and calcium ion in growth factor-induced expression of c-myc oncogene in Swiss 3T3 fibroblasts," *J. Biol. Chem.* 261.3 (1986): 1187-1192.
 - 18) R. I. Kent, J. K. Hooper, and G. IV Cooper, "Load responsiveness of protein synthesis in adult mammalian myocardium: Role of cardiac deformation linked to sodium influx," *Circ. Res.* 64.1 (1989): 74-85.
 - 19) 厚生統計協会, "国民衛生の動向," (1991):
 - 20) B. J. Maron, "Structural Features of the athlete heart as defined by echocardiography," *J. Am. Coll. Cardiol.* 7.1 (1986): 190-203.
 - 21) R. L. Mirwald et al., "Longitudinal comparison of aerobic power in active and inactive boys aged 7.0 to 17.0 years," *Annals of human biology* 8.5 (1981): 405-414.
 - 22) F. Peronnet et al., "Electro- and echocardiographic study of the left ventricle in man after training," *Eur. J. Appl. Physiol.* 45 (1980): 125-130.
 - 23) J. F. Pombo, B. L. Troy, and Jr. Richard O. Russell, "Left ventricular volume and ejection fraction by echocardiography," *Circulation* 43 (1971): 480-490.
 - 24) M. Shindo, S. Kumagai, and H. Tanaka, "Physical work capacity and effect of endurance training in visually handicapped boys and young male adults," *Eur. J. Appl. Physiol.* 56 (1987): 501-507.
 - 25) 進藤宗洋, 田中宏暁, 小原 繁, "自転車運動による50%Vo2max, 60分間トレーニングが成人女性に及ぼす影響," *体育科学* 3 (1975): 58-67.
 - 26) R. A. Stein et al., "The cardiac response to exercise training: Echocardiographic analysis at rest and during exercise," *Am. J. Cardiol.* 46 (1980): 219-225.
 - 27) P. D. Thompson et al., "Cardiac dimensions and performance after either arm or leg endurance training," *Med. Sci. Sports Exerc.* 13.5 (1981): 303-309.
 - 28) 富樫健二 他, "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," *福岡大学体育学研究* 21. 1, 2 (1991): 101-113.
 - 29) 富樫健二 他, "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 一横断的検討一," *三重大学教育学部研究紀要 (自然科学)* 43 (1992): 53-62.
 - 30) W. Wieling et al., "Echocardiographic dimensions and maximal oxygen uptake in orsman during training," *Br. Heart J.* 45 (1981): 190-195.
 - 31) L. A. Wolfe et al., "Effects of endurance training on left ventricular dimensions in healthy men," *J. Appl. Physiol.* 47.1 (1979): 207-212.
 - 32) L. A. Wolfe, D. A. Cunningham, and D. R. Boughner, "Physical conditioning effects on cardiac dimensions: A review of echocardiographic studies," 11.2 (1986): 66-79.
 - 33) H. L. Wyatt et al., "Cross-sectional echocardiography I. Analysis of mathematic models for quantifying mass of the left ventricle in dogs," *Circulation* 60.5 (1979): 1104-1113.