

スポーツ選手の心肥大と心機能

Echocardiographic evaluation of left ventricular hypertrophy and function in trained athletes

西村 敏弘
 広瀬 邦彦
 浜島 博哉
 岡崎 仁志
 陳 正雄
 高橋 正明
 小坂田元太
 河合 忠一
 琴浦 肇*
 山田 良久**

Toshihiro NISHIMURA
 Kunihiko HIROSE
 Hiroka HAMAJIMA
 Hitoshi OKAZAKI
 Cheng-Hsiung CHEN
 Masaaki TAKAHASHI
 Genta OSAKADA
 Chuichi KAWAI
 Hajime KOTOURA*
 Yoshihisa YAMADA**

Summary

Echocardiographic examinations were performed in 60 professional bicyclists and control subjects to determine the effects of exercise on the left ventricular hypertrophy and function. Athletes were separated into 3 groups by age: Group 1 (N=14), 20-29 years; Group 2 (N=17), 30-39 years; Group 3 (N=29), 40-49 years. Duration of athletic history in each group was 5 ± 3 years (M \pm SD), 14 ± 4 years, and 27 ± 2 years, respectively.

Echocardiograms showed an increase of the left ventricular end-diastolic dimension in all groups of the athletes (55 ± 3 mm, 56 ± 4 mm, and 54 ± 3 mm, respectively), compared with age-matched control groups (47 ± 5 mm, 47 ± 4 mm, and 49 ± 2 mm, respectively). Thickness of the left ventricular septum and posterior wall was more prominent in Group 3 (IVS: 11 ± 2 mm, LVPW: 10 ± 1 mm) than Group 1 and 2 and control groups. Left ventricular volumes were increased in all groups of the athletes (175 ± 22 ml, 189 ± 30 ml, 173 ± 24 ml, respectively) as compared with control groups. Left ventricular masses in Group 3 were more increased than Group 1 and 2 (222 ± 35 g vs 187 ± 14 g and 187 ± 25 g, $p < 0.001$). Resting left ventricular function evaluated with ejection fraction and mean circumferential fiber shortening velocity was slightly depressed in Group 3 (EF: $63 \pm 4\%$, mean VCF: 1.01 ± 0.09 circ/sec),

京都大学医学部 第三内科
 *同病院 中央検査部
 京都市左京区聖護院川原町 54 (〒606)
 **京都循環器病予防会

The Third Division, Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine, and *The Central Clinical Laboratory, Kyoto University, Kawara-machi, Shogoin, Sakyo-ku, Kyoto 606, **Kyoto Medical Association for Prevention of Cardiovascular Disease.

Presented at the 17th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Sendai, October 20-21, 1978
 Received for publication January 8, 1979

as compared with other groups. Moreover, in group 3 there were enlargement of the left atrium and T wave inversion in the precordial ECG (14% of Group 3). The T wave inversion became upright or less inverted after exercise test. It was concluded that long-term effects of exercise in our trained athletes was at first the dilatation of left ventricular dimension with normal thickness of wall, and the increase of left ventricular wall thickness was noted thereafter. Resting left ventricular function was slightly depressed in Group 3.

Key words

Athletic heart

Left ventricular hypertrophy

Left ventricular function

はじめに

古くからスポーツ心臓に関する研究は数多く行われ、athletic heart といわれるものには徐脈、心肥大、心拍出量の増大、不整脈を含む心電図異常を示すことが知られていた¹⁾。最近、心エコー図は非観血的に左室肥大および心機能を評価するのに優れた方法であることが認められ、スポーツ選手に関する報告もみられる。しかし、これらは20~30歳代にかけてのスポーツ選手の検討であり、さらに長期間、運動を継続している年齢層の成績は少ない。今回、我々は、非常に長期間スポーツを継続して行った場合、心臓におよぼす影響を胸部レ線像、心電図、心エコー図より検討した。

対象と方法

対象は高血圧のない競輪選手60名で、年齢別に Group 1 (20~29歳までの14例)、Group 2 (30~39歳までの17例)、Group 3 (40~49歳までの29例)の3群に分類した。年齢別の競技平均年数はそれぞれ5年、14年、27年である。対照群として心疾患のない男性35例を検討した。心エコー図の装置はAloka製SSD-90で連続記録を行った。心エコー図の記録は安静臥位で行い、大動脈径、左房径、左室内径、心室中隔および左室後壁の厚さを測定した。左室容量の計算はGibsonの式²⁾を用い、左室心筋重量は心室中隔と左室後壁の厚さに左室内径を加えた容量から左室容量を差し引いて得られた重量で、Bennetら³⁾の方法を修飾したものである。心機能の指標とし

て ejection fraction, mean VCF を求めた。

結 果

競輪選手の体表面積は Group 1 で 1.83 ± 0.09 m², Group 2 で 1.81 ± 0.08 , Group 3 で 1.78 ± 0.10 (M \pm SD) であった。安静時の心拍数はそれぞれ毎分 59, 55, 54 で、胸部レ線像の心胸郭比はそれぞれ $49 \pm 4\%$, $50 \pm 4\%$, $51 \pm 4\%$ であった。心電図の心肥大の基準として、Sokolow-LyonのRVH: $V_1 > 7$ mm, LVH: $SV_1 + RV_{5,6} > 35$ mm を適用すると、RVHは Group 1 で 14%, Group 2 で 29%, Group 3 で 24% であった。LVH所見はそれぞれ 100%, 70%, 66% 見られた。左側の胸部誘導でST低下、T陰性を示した例は Group 1, 2 ではなく、Group 3 で 4例 (14%) 見られた。

Fig. 1 は上段に 36歳、下段に 44歳の選手の左室エコーグラムを示す。左室内径はそれぞれ 57 mm, 54 mm と拡大している。心室中隔、左室後壁の厚さは上段ではともに 9 mm と正常範囲内であるが、下段ではそれぞれ 13 mm, 11 mm と肥厚が見られる。Ejection fraction, mean VCFは、上段ではそれぞれ 67%, 1.11 circ/sec, 下段ではそれぞれ 64%, 1.05 circ/sec である。Table 1 は競技者、対照群の心エコー図の測定値の一覧表である。

Fig. 2 は左室内径を各 group 別にプロットしたものである。図中の C は対照群、A は競技者の略である。競技者の左室内径は Group 1 で 54.5 ± 2.8 mm (M \pm SD), Group 2 で $56.1 \pm$

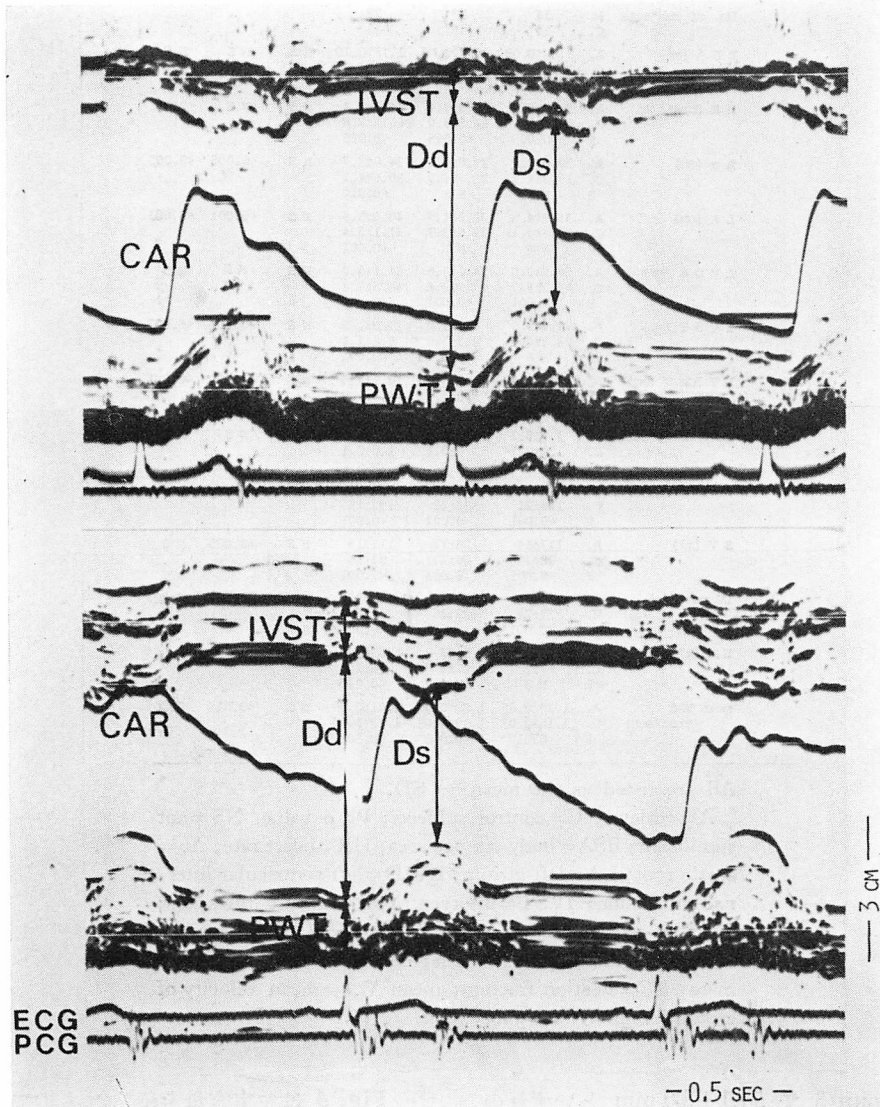


Fig. 1. Echocardiograms.

Upper: 36 year-old professional athlete who has been playing bicycling for 17 years. Enlargement of left ventricular end-diastolic dimension and normal thickness of both interventricular septum and posterior wall.

Lower: 48 year-old athlete, playing for 29 years. Note the increase of left ventricular septum and posterior wall thickness.

Table 1. Echocardiographic data of athletes and controls

		Group 1	Group 2	Group 3	P		
					Gr.1vs2	Gr.2vs3	Gr.3vs1
No. of subjects	A.	14	17	29			
	C.	10	10	15			
BSA (m ²)	A.	1.83±0.09	1.81±0.08	1.78±0.10	NS	NS	NS
	C.	1.69±0.15	1.72±0.12	1.62±0.05			
	P	<0.025	<0.05	<0.001			
HR (beats/m)	A.	59.4±6.7	54.9±9.4	54.3±7.4	NS	NS	<0.05
	C.	66.1±10.9	64.5±9.0	60.2±7.8			
	P	<0.005	<0.025	<0.025			
Ao (mm)	A.	30.6±2.9	29.8±4.1	34.0±3.7	NS	<0.005	<0.005
	C.	28.3±4.9	28.2±4.7	30.6±4.1			
	P	NS	NS	<0.010			
LA (mm)	A.	31.2±4.8	32.8±4.7	40.0±5.6	NS	<0.001	<0.001
	C.	27.7±4.1	32.6±3.7	31.1±5.4			
	P	NS	NS	<0.001			
LVIDd (mm)	A.	54.5±2.8	56.1±3.5	54.1±3.0	NS	NS	NS
	C.	47.3±4.7	47.2±3.6	48.6±2.4			
	P	<0.001	<0.001	<0.001			
IVST (mm)	A.	9.4±0.6	8.9±1.0	11.0±1.5	NS	<0.001	<0.001
	C.	8.8±0.8	8.2±1.0	8.6±1.1			
	P	NS	NS	<0.001			
LVPWT (mm)	A.	8.7±0.6	8.6±0.8	10.1±1.4	NS	<0.001	<0.001
	C.	8.4±0.7	8.3±1.1	8.4±1.0			
	P	NS	NS	<0.001			
IVST/LVPWT ratio	A.	1.1±0.1	1.0±0.1	1.1±0.1	NS	NS	NS
	C.	1.0±0.1	1.0±0.1	1.0±0.1			
	P	NS	NS	NS			
LV volume (ml)	A.	175±22	189±30	173±24	NS	NS	NS
	C.	120±21	123±22	132±15			
	P	<0.001	<0.001	<0.001			
SV (ml)	A.	117±14	126±17	111±15	NS	<0.005	NS
	C.	88±20	86±17	93±16			
	P	<0.001	<0.001	<0.001			
LV mass (g)	A.	187±14	187±25	222±35	NS	<0.001	<0.001
	C.	137±25	128±26	147±23			
	P	<0.001	<0.001	<0.001			
EF (%)	A.	67±3	66±2	63±4	NS	<0.005	<0.005
	C.	67±2	67±3	66±2			
	P	NS	NS	<0.025			
mean Vcf (circ/sec)	A.	1.10±0.06	1.09±0.07	1.01±0.09	NS	<0.010	<0.005
	C.	1.18±0.07	1.19±0.07	1.12±0.07			
	P	<0.010	<0.005	<0.001			

All are listed as the mean ± SD.

A=athletes; C=control subjects; P=p value, NS=not significant; BSA=body surface area; HR=heart rate; Ao=aortic root; LA=left atrium; LVID=left ventricular internal dimension; IVST=interventricular septum thickness; PWT=posterior wall thickness; LV volume=left ventricular volume; SV=stroke volume; LV mass=left ventricular mass; EF=ejection fraction; mean Vcf=mean velocity of circumferential fiber shortening.

3.5 mm, Group 3 で 54.1±3.0 mm といずれの対照群とも有意の差で拡大していた (p<0.001).

Fig. 3 は心室中隔および左室後壁の厚さを比較したものである。競技者の Group 1 と 2 では心室中隔, 左室後壁とも対照群と差は認められないが, Group 3 では心室中隔, 左室後壁の厚さはともに増していた (心室中隔: 11.0±1.5 mm, 左室後壁: 10.1±1.4 mm, p<0.001).

Fig. 4 は左室容量を示したものである。競技者は Group 1 で 175±22 ml, Group 2 で 189±30 ml, Group 3 で 173±24 ml と対照群に比べ左室容量は拡大していた (p<0.001)。また, 1回拍出量 (stroke volume) は各 group の競技者とも対照群より増大していた (**Table 1**, p<0.001)。競技者の Group 2 と 3 では有意差が認められた (p<0.005)。

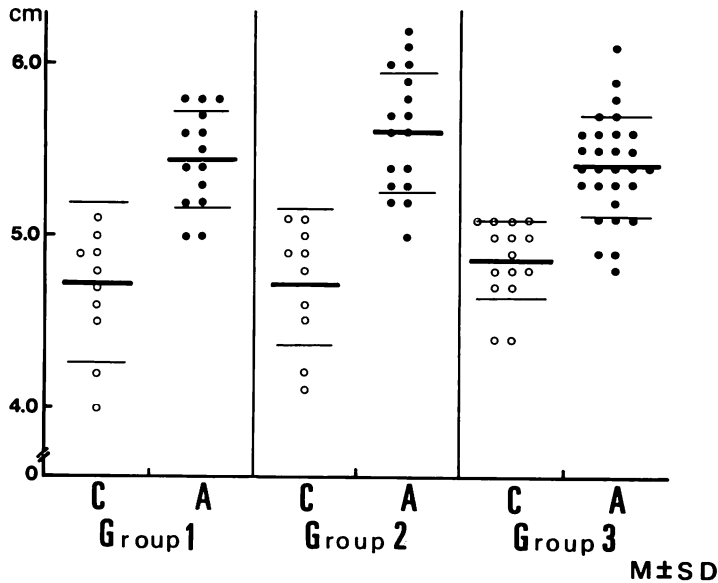


Fig. 2. Echocardiographically measured left ventricular internal dimension (LVID) at end-diastole.

All of three groups of the athletes showing enlargement of the left ventricular dimension compared with control groups.

C=control groups; A=athletic groups; Group 1=20~29 years; Group 2=30~39 years; Group 3=40~49 years.

Fig. 5 は左室心筋重量を示したものである。競技者の Group 1 と 2 では対照群より左室心筋重量の増加が認められるが、group 間では差は認められない。競技者の Group 3 では Group 1, 2 および Group 3 の対照群よりも有意に増加していた ($p < 0.001$)。他に大動脈径と左房径は Group 3 では拡大が見られ、とくに後者では Group 1, 2 では 40 mm 以下であるのに対し、Group 3 では 40.0 ± 5.6 mm と拡大していた (**Table 1**)。

Fig. 6 は上段に ejection fraction, 下段に mean VCF を示している。上段の ejection fraction は Group 1 と 2 では対照群と変わらないが、Group 3 の競技者は、対照群、Group 1, 2 よりも軽度に低下していた。下段の mean VCF は競技者は対照群よりも低い値を示すが、とくに Group 3 は Group 1, 2 よりも軽度低下していた。

Fig. 7 は心電図上に ST 低下と T 陰性が見られた 47 歳の競技者で、上段が安静時、下段が運動負荷後の心電図を示している。安静時には左室肥大があり、II, III, aVF と胸部誘導で広範囲に T 波が逆転し、 $V_{4,5,6}$ で ST 低下が見られた。運動負荷後の心電図は、運動直後に陰性 T 波は深さが減少し、5 分後には安静時に戻った。

Fig. 8 は同症例の左室エコーグラムで、心室中隔と左室後壁の肥厚が見られた。左側の胸部誘導で ST, T 変化が見られた 4 例中、軽い T 変化のみ見られた 1 例を除き、心筋肥厚は他の変化のない例よりも著明であった。

考 察

比較的若い年齢層のスポーツ選手の研究は広く行われているが、運動を非常に長期間継続した場合、心肥大の様式や心機能におよぼす影響を検討

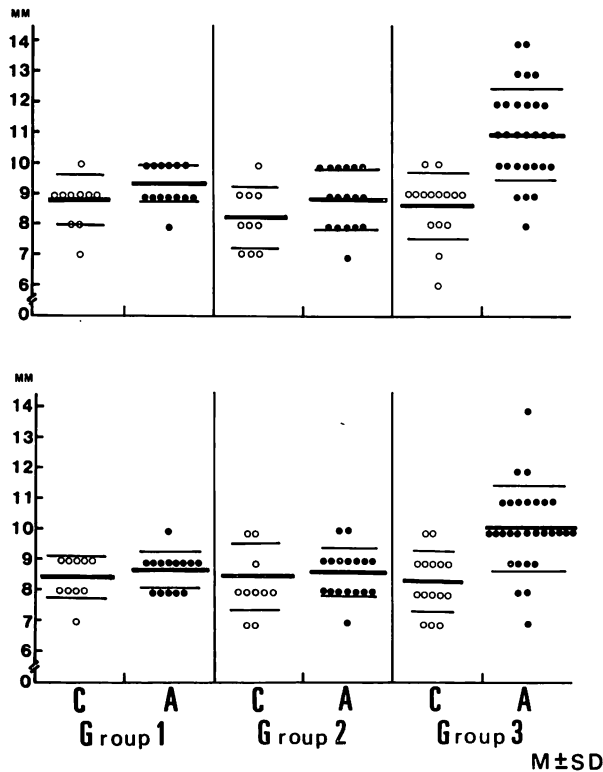


Fig. 3. Echocardiographically measured thickness of the interventricular septum (upper) and posterior wall (lower).

Normal thickness of both interventricular septum and posterior wall in Group 1 and 2 of the athletes as well as increase in Group 3 of the athletes are evident.

した研究は見られない。最近、心エコー法が発達し、左室容量、左室心筋重量および心機能を非観血的に評価しうるようになってきた⁴⁻⁷⁾。

今回我々は20~40歳代にまでわたり長期間運動を続けている競輪選手の心肥大および心機能に関し、心エコー法を用いて検討した。Roeskeら⁸⁾は21~31歳までの10名のバスケットボール選手の心エコー図による研究で、スポーツ選手に徐脈、右室および左室容量の増大、左室心筋重量の増大が見られたが、心機能の指標は非スポーツ選手と差は見られず、スポーツ選手の心肥大は「生理的肥大」でnormal variantと結論した。また、心室中隔と左室後壁の厚さは、とくに後者では対照群よりも肥厚していた。

Morganrothら⁹⁾はスポーツ選手の心肥大の様式を心エコー図より検討し、おもにisometric exerciseで求心性肥大を起こすgroup(レスリング等)と、おもにisotonic exerciseで拡張性肥大を起こすgroup(長距離選手等)に分類した。前者では左室容量は増大せず、壁厚が増し、pressure overloadの疾患(hypertension, aortic stenosis)に類似しており、後者では壁厚は正常範囲内であり、左室容量が増大して、volume overloadの疾患(aortic and mitral regurgitation)に類似しているとした。

今回の我々の競輪選手の心エコー図による検討では、20~30歳にかけての若い時期にはおもに拡張性肥大をきたし、左室壁厚は正常範囲内であ

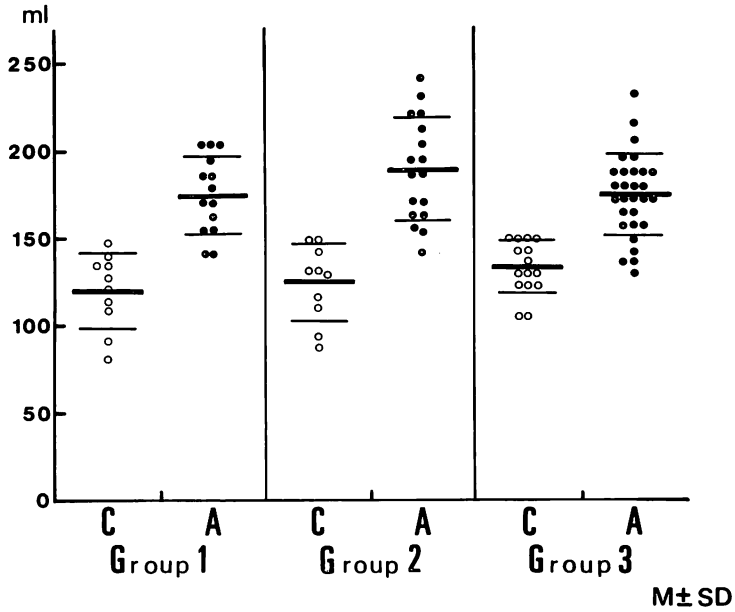


Fig. 4. Echocardiographically measured left ventricular (LV) volumes.
All of three groups showing enlargement of LV volume, compared with control groups.

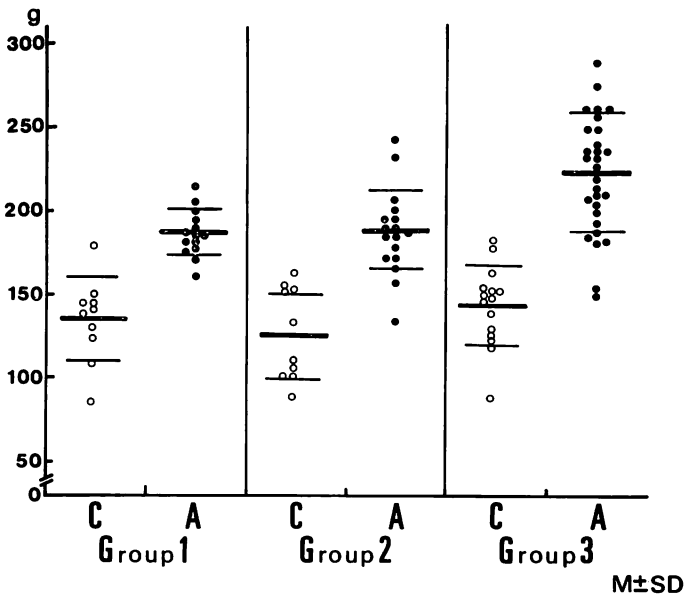


Fig. 5. Echocardiographically measured left ventricular (LV) masses.
Group 1 and 2 showing increased LV mass compared with control groups. There is more increase of LV mass in Group 3 than Group 1 and 2.

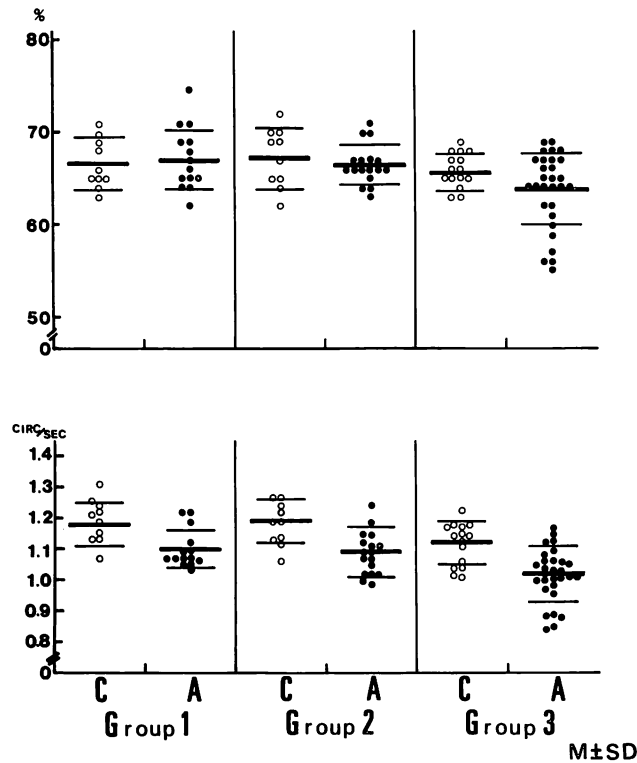


Fig. 6. Echocardiographically measured left ventricular function evaluated with ejection fraction (upper) and mean VCF (lower).

Ejection fraction (EF) and mean VCF are slightly depressed in Group 3, compared with Group 1 and 2 of the athletes and control groups.

った。さらに長期間運動を継続している 40 歳代では、左室壁は肥厚し、心筋重量がさらに増加するという所見が見られた。これは長期間の運動の継続により拡大した左室の壁に、さらに負荷が加わり続け、左室壁の肥厚をきたしたものと思われる。また 40 歳代というこの時期が、長期間の負荷の継続に対し肥厚を生来しやすい要因があるのかもしれない。

以上より、おもに isotonic exercise によるスポーツの心肥大の様式は、まず Morganroth らのいう拡張性肥大が生じ、続いて長期間運動が継続された場合、左室壁の肥厚が加わって左室心筋重量が一層増大していく過程をとると思われる。Gilbert ら¹⁰⁾、Panker ら¹¹⁾もランナーの研究で左

室壁の肥厚を伴う左室容量、左室心筋重量の増大を述べている。また、Wyatt ら¹²⁾は動物実験により、運動負荷を加えたイヌで左室壁の肥大と心電図の QRS の増大を認めている。これらは運動の種類、運動期間、年齢等により肥大の様式、肥大の進行が異なることを示していると思われる。以上のスポーツ選手に見られた心肥大の過程は、おもに isometric type の疾患¹³⁾のみならず、volume overload の心肥大の過程^{14,15)}ともよく一致するように思われる。

スポーツ選手の心機能に関しては、前述の Roeske らの安静時の心機能は正常範囲内だとする報告もあるが、一方 Gilbert らはランナーにおいては、対照群と比べて安静時の心機能の指標は

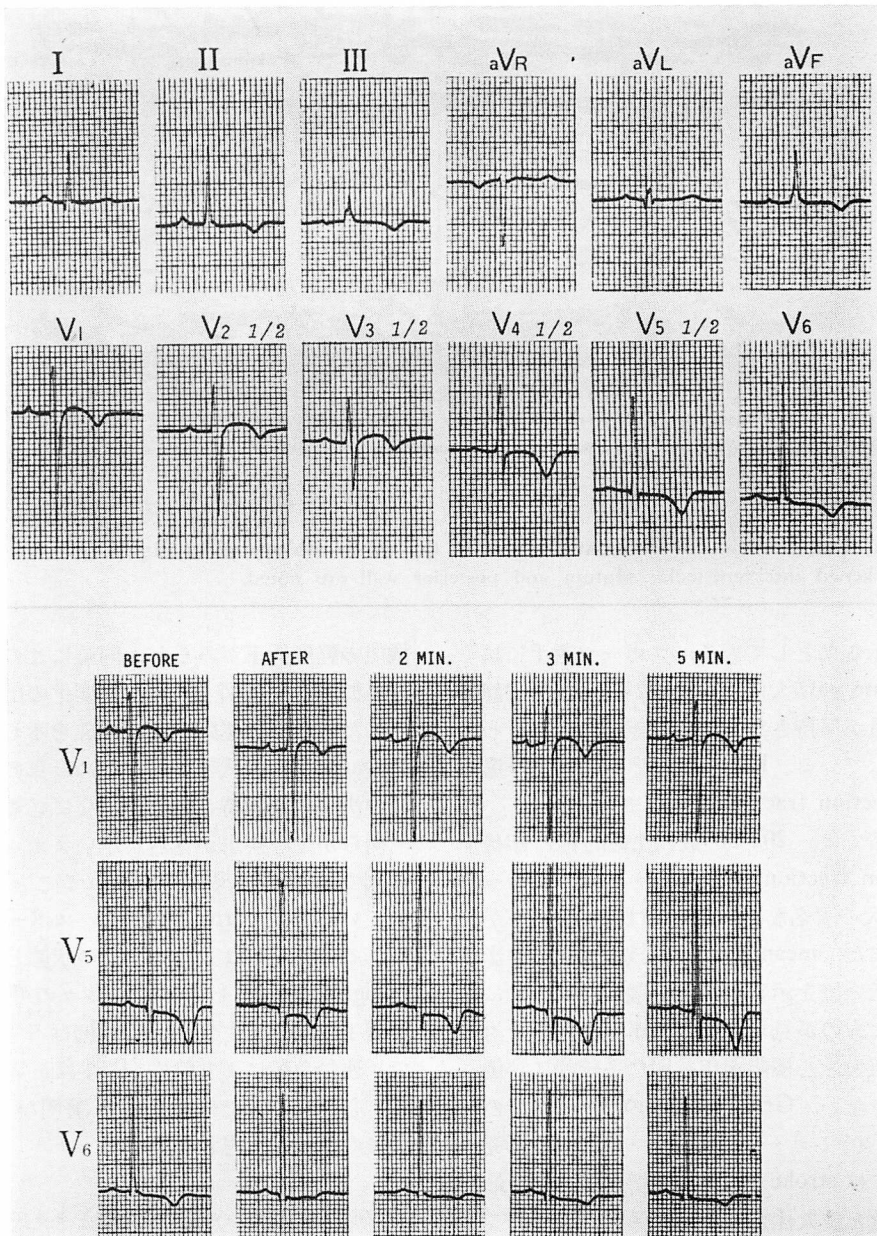


Fig. 7. Electrocardiograms in a 47 year-old athlete at rest (upper) and after exercise test (lower).

At rest, T wave inversion in II, III, aV_F and V₁₋₆, and ST depression in V₄₋₆ are noted.

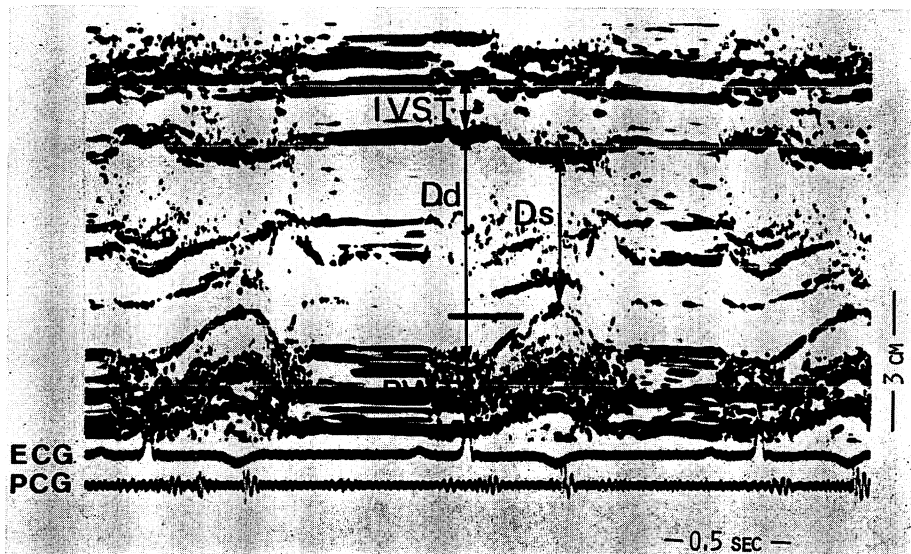


Fig. 8. Left ventricular echocardiogram in the same athlete as in Fig. 7. Thickened interventricular septum and posterior wall are noted.

軽度低下を示したとしている。スポーツ選手には stroke volume の増大に伴う徐脈が見られ、安静時の心拍出量が保持されて、心機能の調節が行われているとしている。Hanson ら¹⁶⁾も、スキー選手で低い ejection fraction を示している。

我々の成績では、20~30歳の比較的若い年代では ejection fraction は対照群と変わらなかったが、心肥大の著名な40歳代では軽度の低下が見られた。また、mean VCF は競技者は徐脈の影響¹⁷⁾により低い値を示したが、40歳代ではとくに低値を示したのが見られた。スポーツ選手を対照として心肥大と心機能を年齢別に系統的に評価した研究は少ない。Grimby ら¹⁸⁾の45~55歳のスポーツ選手(ランナーかスキーヤー)9例の研究で、安静時には stroke volume の増大があり、最大酸素摂取量と最大仕事量はよく保持されているが、運動時の最大心拍出量等は若年の競技者に比べて低下していた。これは年齢による徐脈、動静脈酸素較差の低下、hemoglobin の低下によるものとしている。我々の成績では、非常に長期間運動を継続している40歳以上の選手で安静時の心

機能の軽度低下がみられ、同時にこの年代で左房径の拡大、心電図上、ST・T変化の出現が多く見られた(14%)。運動選手は徐脈を示し、安静時には vagotony の状態にあるため、真の意味の心機能の決定は運動時の評価がさらに必要と思われる。

明らかな心疾患が見られないスポーツ選手の心電図で、T波の異常が見られることはよく知られている。Paparo ら¹⁹⁾は若いスポーツ選手に見られるT変化は vagotony の状態と関連があり、benign ECG としている。我々の例における競輪選手でT陰性を示した症例はすべて40歳代で、運動負荷により陰性T波は正常または減少し、心エコー図では心肥大が著明なものも多く、今後の問題点と思われる。

本研究にご協力いただいた中川ときえ氏、また循環器病予防会京都支部、結核予防会京都支部および日本競輪選手会京都支部の御一同に深謝します。

文 献

- 1) Gott PH, Roselle HA, Crampton RS: The athletic heart syndrome. Arch Intern Med 122:

- 340, 1968
- 2) Gibson DG: Estimation of left ventricular size by echocardiography. *Brit Heart J* **35**: 128, 1973
 - 3) Bennett DH, Evans DW: Correlation of left ventricular mass determined by echocardiography with vectorcardiographic and electrocardiographic voltage measurements. *Brit Heart J* **36**: 981, 1974
 - 4) Pombo JF, Troy BL, Russel RP: Left ventricular volumes and ejection fraction by echocardiography. *Circulation* **43**: 480, 1971
 - 5) Fortuin NJ, Hood WP, Sherman ME, Craig E: Determination of left ventricular volumes by ultrasound. *Circulation* **44**: 575, 1971
 - 6) Murray JA, Johnston W, Reid JM: Echocardiographic determination of left ventricular dimensions, volumes and performance. *Amer J Cardiol* **30**: 252, 1972
 - 7) Paraskos JA, Grossman W, Saltz S, Dalen JE, Dexter L: A noninvasive technique for the determination of velocity of circumferential fiber shortening in man. *Circulat Res* **24**: 610, 1971
 - 8) Roeske WR, O'Rourke RA, Klein A, Leopold G, Karliner JS: Noninvasive evaluation of ventricular hypertrophy in professional athletes. *Circulation* **53**: 286, 1976
 - 9) Morganroth J, Maron BJ, Henry WL, Epstein SE: Comparative left ventricular dimensions in trained athletes. *Ann Intern Med* **82**: 521, 1975
 - 10) Gilbert CA, Nutter DO, Felner JM, Perkins JV, athlete. *Amer J Cardiol* **40**: 528, 1977
 - 11) Parker BM, Londeree BR, Cupp GV, Dubiel JP: The noninvasive cardiac evaluation of long-distance runners. *Chest* **73**: 376, 1978
 - 12) Wyatt HL, Mitchell JH: Influences of physical training on the heart of dogs. *Circulat Res* **35**: 883, 1974
 - 13) Meerson FZ: A mechanism of hypertrophy and wear of the myocardium. *Amer J Cardiol* **15**: 755, 1965
 - 14) Grant C, Greene DG, Bunnell IL: Left ventricular enlargement and hypertrophy. *Amer J Med* **39**: 895, 1965
 - 15) Fuster V, Danielson MA, Robb RA, Broadbent JC, Brown AL, Elveback LR: Quantitation of left ventricular myocardial fiber hypertrophy and interstitial tissue in human heart with chronically increased volume and pressure overload. *Circulation* **55**: 504, 1977
 - 16) Hanson JS: Maximal exercise performance in members of the US nordic team. *J Appl Physiol* **35**: 592, 1973
 - 17) Karliner JS, Gault JH, Bouchard RJ, Holzer J: Factors influencing the ejection fraction and the mean rate of circumferential fibre shortening during atrial fibrillation in man. *Cardiovas Res* **8**: 18, 1974
 - 18) Grimby G, Nilsson NJ, Saltin B: Cardiac output during submaximal and maximal exercise in active middle-aged athletes. *J Appl Physiol* **21**: 1150, 1966
- Schlant RC: Echocardiographic study of cardiac dimensions and function in the endurance-trained