

昭和58年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. VII 陸上中・長距離選手の心機能ならびに
有酸素的作業能に関する縦断的研究

—第2報—

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会

昭和58年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. VII 陸上中・長距離選手の心機能ならびに 有酸素的作業能に関する縦断的研究

—第2報—

報告者 (財)日本体育協会スポーツ科学研究所

伊藤 静夫 黒田 善雄 塚 越 克己
雨宮 輝也 金子 敬二 金子 美智子

研究協力者 有吉 正博 (東京学芸大学)
山西 哲郎 (群馬大学)
佐々木 功 (新日本電気KK)

I 目 的

X線写真の心陰影からみてスポーツ選手の心臓が拡大していることは、古くから知られている。競技者の大きな心臓、いわゆるスポーツ心臓は長年にわたる身体トレーニングの継続によってもたらされた生理的適応現象である、と解釈されるのが一般的である。

そこで、身体トレーニングと心臓拡大との関係について興味もたれ、種々の報告がみられる。これまでにX線写真をはじめ、ECG、ペクトル心電図などを用いた研究が行われてきたが、近年特にエコー図の発達により、心臓に関する詳細な情報が得られるようになったので、スポーツ心臓の成因を検討した報告もみられるようになった。

Marganroth⁷⁾は、大学運動部員の心エコー図測定結果から、スポーツ心臓の競技種目特性を示摘している。それによれば、運動部員は一般学生より左室心筋重量が重くなっているが、持久的トレーニングが主体となる競技種目では心筋重量の増加が左室腔の拡張に依存し、筋力トレーニン

グの主体となる種目では左室壁厚の増加に依存している。すなわち、持久的トレーニングでは主に拡張による心拡大であるのに対し、筋力トレーニングでは拡張を伴わない心筋肥大によって心拡大をおこす、という解釈である。この考えは、今日比較的広く受け入れられている⁶⁾。

一方、我々が日本人一流競技者を対象に心エコー図を計測した結果では³⁾、持久的トレーニングを主体とする競技者の心臓は相対的に大きい、筋力トレーニングあるいは無酸素的運動によるトレーニングが主体となる競技者の心臓は、体表面積比から比較すると決して拡大していない。また、持久的競技者の心拡大には左室内腔の拡張と左室壁の肥大の両者が関与していることを観察した。長距離・マラソン選手の心拡大に左室壁の肥大を伴う観察結果は、Underwood¹¹⁾、Paulsen⁸⁾の報告にもみられる。

以上の報告は、いずれも横断的研究手法によるものである。心臓に対する身体トレーニングの影響を縦断的にしらべた研究では、非鍛練者を対象にしたものが多く、トレーニング期間も8~20週

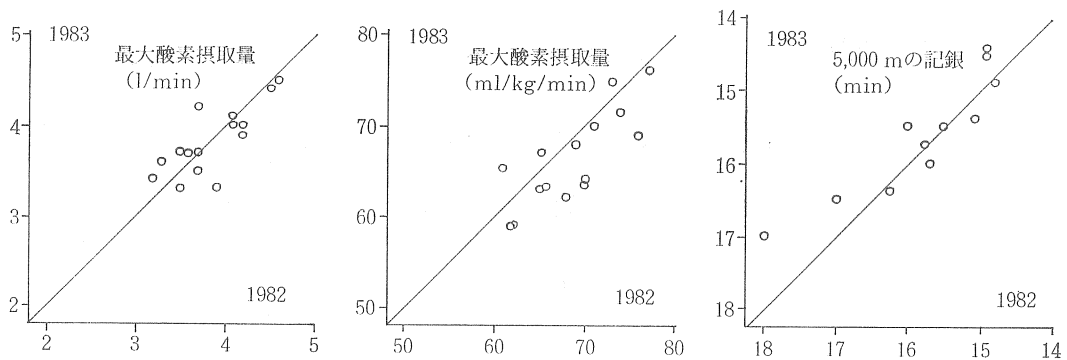


図1 1982並びに1983年時における最大酸素摂取量, 5000mの記録の個人ごとの比較

間と比較的短かい¹⁰⁾。競技者を対象に, 心拡大を長期間にわたり縦断的に追跡した例はほとんどみられない。

そこで本研究は, 陸上競技中・長距離選手を対象に, 高校から大学あるいは実業団へ入社して以後, 4年間にわたる競技的トレーニングが有酸素的作業能ならびに心機能に与える影響を明らかにすることを目的とした。第一報では¹⁾, 本研究の被験者の大学入学時あるいは高校から実業団入社1~2年時における測定結果について報告した。本報では, その後の1年間のトレーニングの影響を検討した。

II 方 法

(1) 被験者

前報では, 1982年6月に大学1年生及び高校から実業団入社1~2年目の18~19歳を中心とした陸上中・長距離選手24名を対象とした。本報では, 1年を経過した1983年6月に前報の被験者名のうち, 15名が残った。

(2) 最大酸素摂取量

トレッドミル走(傾斜+5°)による負荷漸増法で行った。採気はダグラスバッグ法で, 呼気分析には, ウエストロン社製質量分析型呼気ガス分析装置(WMBS 1300)を, ショランダー微量ガス分析器で較正し, 使用した。最大酸素摂取量測定時の環境条件は, 気温20℃, 相対湿度60%とした。

(2) 心臓容積

心陰影は, 立位による背腹位ならびに左側面位

で, 心拍同調装置によって心電図R波と同期させ胸部X線撮影を行い求めた。心臓容積は, Moritzの方法から算出した。

(3) 心エコー図

Mモード法による安静仰臥位での心エコー図から大動脈径, 左房径, 左室拡張終期径, 左室収縮終期径, 心室中隔厚, 左室後壁厚を測定した。これらの測定値をもとに, 左室を回転楕円体とみなし左室容積, 駆出量, 左室駆出分画, 左室心筋重量を計算式から求めた。

(4) 心機図

心エコー図測定時に, 心電図, 心音図, 頸動脈波の心機図も測定し, Q-II音時間, 駆出期, 駆出前期の左室収縮時相を計測した。また駆出期と駆出前期の比を算出した。

III 結 果

(1) 競技記録および有酸素的作業能

表1に, 1982年時と1983年時の被験者の身長, 体重, トレッドミル・テスト結果および競技成績の平均値と標準偏差を示した。

競技成績では, 1,500m, 5,000m, 10,000mの三種目について1982年6月以前の自己最高記録(1982年時)と1982年6月から1983年6月までに出した自己最高記録(1983年時)を比較した。いずれの種目においても有意な差がなく, 1年間のトレーニングで競技記録に著明な向上が認められなかった。

被験者の体重は, 1982年から1983年で平均1.1kg(2%)増加したが, 統計的に有意な増加ではな

表1 有酸素的作業能, 競技記録, ベクトル心電図, 心エコー図,
X線心容積, 左室収縮時相の測定値の比較

	N	1982年			1983年	
		X	S D	X	S D	
身長 (cm)	15	168.6	4.2	168.4	4.0	
体重 (kg)	15	56.3	4.3	57.4	3.9	
最高心拍数 (/min)	15	195	6	193	6	
最大換気量 (l/min)	15	140.1	12.0	149.2	12.7 ※	
最大酸素摂取量 (ml/min)	15	3858	393	3828	364	
最大酸素摂取量 (ml/kg/min)	15	68.5	5.1	66.5	5.1 ※	
競技記録 1500m (min)	11	4.27	0.22	4.27	0.21	
5000m (min)	11	15.79	0.95	15.63	0.79	
10000m (min)	11	32.38	1.83	32.50	1.60	
QRSベクトルの角度	F	15	41.5	10.2	36.8	11.6 ※※
	H	15	-7.4	36.5	-1.4	32.4
	S	15	80.4	43.0	79.8	44.0
QRSベクトルの大きさmV	F	15	1.90	0.36	2.10	0.46 ※
	H	15	1.57	0.35	1.74	0.41
	S	15	1.54	0.26	1.49	0.19
Tベクトルの角度	F	15	35.7	8.1	26.5	7.2 ※※※
	H	15	17.8	19.0	14.1	15.1
	S	15	119.1	9.9	125.1	15.8
Tベクトルの大きさmV	F	15	0.89	0.22	0.99	0.31
	H	15	0.95	0.44	1.05	0.43
	S	15	0.67	0.30	0.63	0.38
大動脈径 (mm)	15	27.7	2.4	28.6	1.8	
左房径 (mm)	15	28.2	2.5	27.9	2.2	
左室拡張終期径 (mm)	15	49.1	3.5	50.4	2.5	
左室収縮終期径 (mm)	15	32.8	3.9	34.7	3.1	
心室中隔厚 (mm)	15	7.9	1.0	8.1	0.6	
左室後壁厚 (mm)	15	7.6	1.0	8.2	0.5 ※	
左室拡張終期容積 (ml)	15	120	26	129	20	
左室収縮終期容積 (ml)	15	37	14	43	11	
駆出量 (ml)	15	88	16	91	17	
心筋重量 (g)	15	160	28	178	20 ※	
駆出分画 (%)	15	73	6.7	70	7.3	
心容積 (ml)	15	690	115	793	127 ※※	
RR: 心周期 (msec)	15	1190	187	1203	141	
Q-II: Q-II 音時間 (msec)	15	415.3	13.6	430.1	25.0	
ET: 駆出期 (msec)	15	311.7	6.8	320.7	16.4	
PEP: 駆出前期 (msec)	15	103.6	15.7	109.3	13.9	
PEP/ET	15	0.33	0.05	0.34	0.04	

※ P<0.05 ※※ P<0.01 ※※※ P<0.001

かった。

トレッドミル・テスト結果では、最高心拍数、最大酸素摂取量の絶対値には有意な差がなかったが、最大換気量は有意に増加し、体重当りの最大酸素摂取量は逆に有意な減少を示した。

(2) ベクトル心電図

1982年時と1983年時の最大QRSベクトルの大きさと方向、最大Tベクトルの大きさと方向について、平均値と標準偏差を表1に示した。

最大QRSベクトルにおいて、1982年時に比較して1983年時では前額面(F)の角度で有意な低下がみられ、前額面の大きさで有意な増加がみられた。また最大Tベクトルでは、前額面の角度が有意に低下した。

図2は、最大QRSベクトルについて、本研究の被験者の1982年時と1983年時および日本人男子健常者のそれぞれの平均値と標準偏差を比較したものである。

前額面では、本被験者の最大QRSベクトルは日本人平均より大きく、角度が小さくなっている。さらに、本被験の1982年時より1983年時の方が、同じく最大QRSベクトルが大きく、角度が減少している。水平面では、前額面と同じくベクトルが日本人平均より本被験者の方が、また本被験者の1982年時より1983年時の方が大きくなって

いる。角度は、同様に1983年時になるにしたがって増加している。左側面では、ベクトルの大きさは本被験者の方が日本人の平均より小さく、角度は増加する傾向にある。左側面の最大QRSベクトルで、本被験者の1982年時と1983年時には著明な差がない。

(3) 心エコー図

表1に、1982年時と1983年時の心エコー図とX線写真による心容積の計測値の平均値と標準偏差を示した。

1982年時と1983年時で有意な差のあったものは左室後壁厚、心筋重量および心容積であった。

図2は、心エコー図のうち心室中隔厚、左室後壁厚、左室拡張終期径、左室拡張終期容積、駆出量、駆出分画について、1982年時と1983年時の値を個人ごとに比較したものである。この内、統計的に有意な増加を示したのが左室後壁厚のみであったが、1982年時に低値を示したもほど1年間での増加の大きい傾向がみられる。この他、心室中隔厚、左室拡張終期径、左室拡張終期容積についても、統計的に有意な差はないが、1982年時で低値にあるものほど1983年時で増加している傾向がうかがわれる。これに対し、駆出量、駆出分画は上記のような一定傾向の変化はみられない。

図4は、心エコー図計測値から算出した心筋重

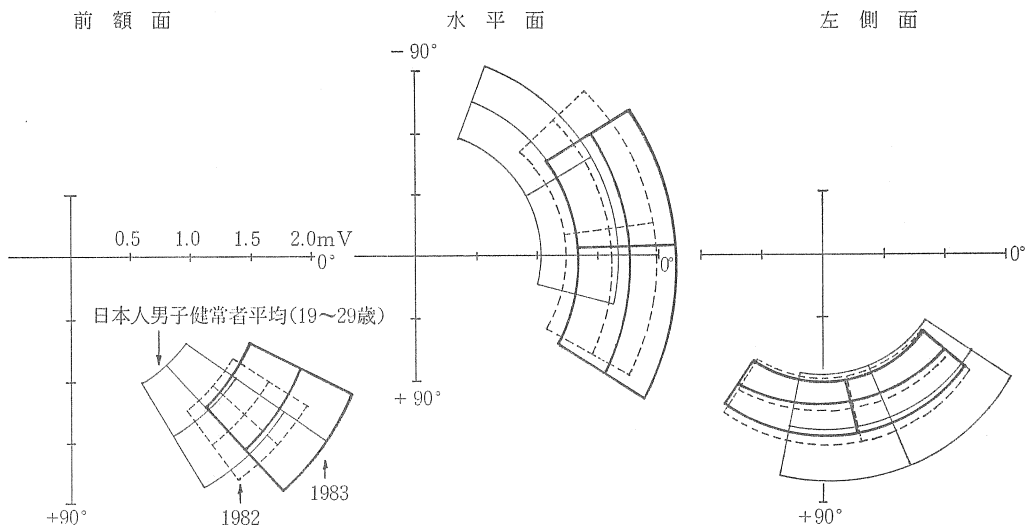


図2 本被験者の1982年、1983年時及び日本人男子健常者の最大QRSベクトルの平均値と標準偏差の比較

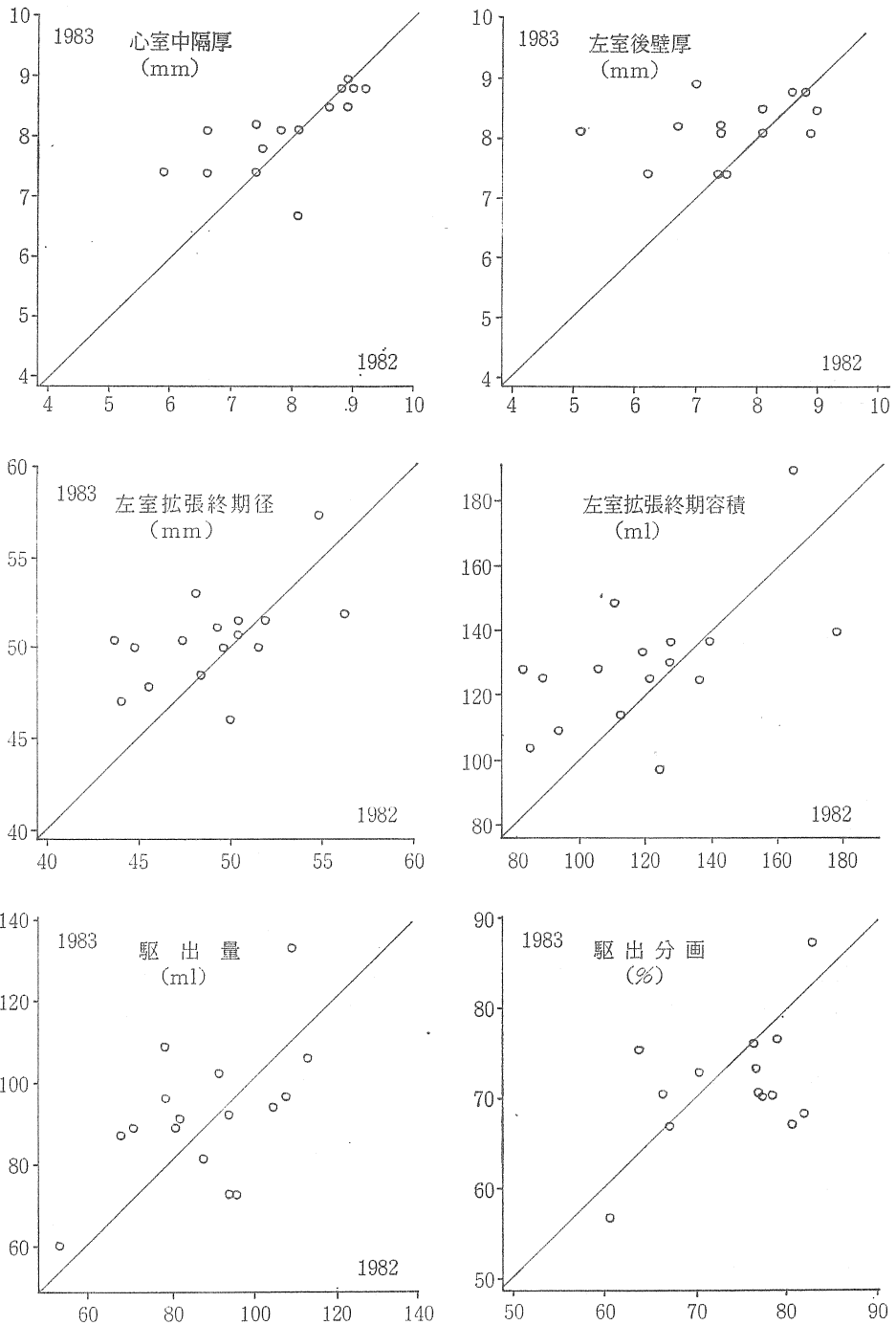


図3 心エコー図計測値の個人ごとの比較

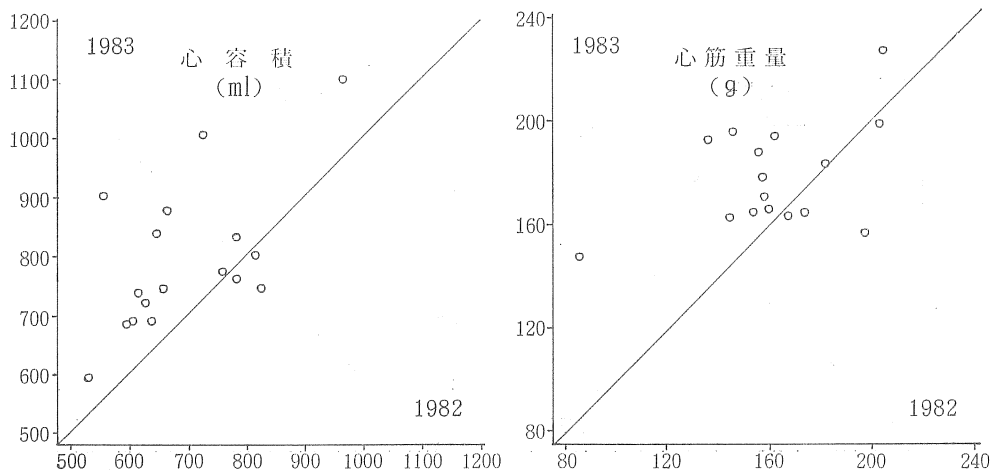


図4 心容積並びに心筋重量の個人ごとの比較

量とX線写真から算出した心容積の個人ごとの変化を表わしている。心筋重量並びに心容積は1983年時の値が1982年時の値より有意に増加していたが、心室壁厚および心室腔にみられた傾向、すなわち初期値の低い値ほど1年後に増加している傾向が、ここでもうかがわれる。

(4) 左室収縮時相

左室収縮時相のQ—II音時間、駆出期、前出前期、駆出前期/駆出期および心周期を表1に示した。1982年と1983年で、統計的に有意な変化をしたものはなかった。

IV 考 察

本研究の被験者の第一年次における有酸素的作業能および心臓の形態に関する特徴を、第一報で考察した。わが国一流長距離選手³⁾と比較すると、本研究の被験者では競技記録はもちろんのこと有酸素的作業能および心形態において低値を示していた。換言すれば、それだけトレーニングによって向上する可能性が残されているとも解釈できよう。

そこで、第一年次と第二年次の測定値の比較から、大学入学（一部実業団入社）以後の1年間にわたる競技的な長距離トレーニングが、本被験者の有酸素的作業能および心形態にどのような影響を及ぼしたかを検討した。その結果、競技記録並びに最大酸素摂取量には顕著な向上がなかったの

に対し、ベクトル心電図所見および心エコー図所見からみて心臓の拡大している傾向が観察された。

なお、最大酸素摂取量に関して、絶対値で変化がなかったが、体重当りの量では有意な減少が認められた。これは、有酸素的作業能そのものが低下しているとみるよりも、体重の増加に起因するものと解釈した方が妥当であろう。

スポーツ選手のベクトル心電図にみられる特徴に関して、未だ資料不足の感はあるが、わが国一流競技選手のベクトル心電図所見では、最大酸素摂取量と最大QRSベクトルおよび最大Tベクトルの大きさとの間に正の相関関係を認めている⁴⁾。すなわち、持久性トレーニングによって最大QRS並びにTベクトルの大きさが増加することを示唆している。また実際のトレーニング実験の結果から、前額面の最大QRSベクトルの大きさが増加したとする報告もみられる⁹⁾。長距離選手にみられるこれらの特徴は、一般に左室肥大を想起させるものである。

本研究においても、1年間のトレーニングで前額面の最大QRSベクトルが大きくなり、上方へ偏移した。いずれも、左室肥大を特徴づけるものである。ベクトル心電図所見から判断して、本被験者は1年間のトレーニングで左室肥大が起こったことが推定される。なお、水平面における最大QRSベクトルの方向が1年後で前方に偏移した

が、一般には左室肥大で後方に偏移するといわれ、この点に関する解釈は今後の追跡調査結果を待ちたい。

長距離選手の心エコー図所見について、わが国一流長距離・マラソン選手の測定例では心筋重量が大きく、左室壁、左室腔ともに大きな値を示している⁴⁾。Underwood, R. H. と J. L. Schwade は、アメリカの一流長距離・マラソン選手を対象に、同様の傾向を報告している。本研究の被験者は、第一年次の測定において、このような長距離選手の特徴的な心形態を有していた。

一方、持久性トレーニングによる心エコー図測定値への影響を報告した例はいくつかあるが、ほとんどが非鍛練者を対象としたものである。トレーニング期間も8～20週間と比較的短い¹⁰⁾。これらの報告では最大酸素摂取量が5～35%増加しているのに、左室壁、左室腔に顕著な増加がみられない。また、有意な増加を報告した例でも、5%程度のわずかな増加である。

本研究では、これらの報告と全く対照的な結果といえる。心容積、心筋重量、左室後壁厚に、1年後で有意な増加がみられた。またもう一つの特徴として、第一年次で低い値を示したもののほど、増加量が大きかった。同様の傾向は、左室腔、左室容積にもうかがわれた。

本研究の被験者は、すでに3～6年間の競技的トレーニングを積んできたものである。最大酸素摂取量も、一流選手に比較すれば低いが、トレーニングによって一般人よりかなり高い水準にまで向上されている。この点で上述の報告にみられる非鍛練者を対象にした短期間のトレーニングとは異なるものであり、有酸素的作業能に対するトレーニング効果が出にくい状態にあるといえよう。これとは逆に、心エコー図所見をはじめ、ベクトル心電図、X線写真による心陰影の所見から、心拡大の徴候が観察された。すなわち、持久性トレーニングによる有酸素的作業能の発達と心拡大とは必ずしも平行して進行するものではないことが示唆される。

持久的競技者のスポーツ心臓がどのように形成されるか、極めて興味深い問題である。本研究結果から推察すると、有酸素的作業能のトレーニン

グ効果は比較的早期に発現する。一方、心臓の形態的効果はそれより遅れて表われ、また心拡大が形式されるのには数年間のトレーニングを必要とする。

以上の仮説は、今後の追跡調査によって明らかにされるものと思われる。特に、本被験者の競技成績、有酸素的作業能にもまだ向上の余地が残されており、これが今後どのように変化してゆくか、また、心エコー図、ベクトル心電図にみられた心拡大の徴候が今後より助長されるか否か、さらに、心機能を反映すると思われる左室収縮時相あるいは心エコー図の駆出量、駆出分画に変化が生ずるか、明らかにして行く予定である。

V ま と め

大学入学1年生および高校から実業団入社1～2年目の18～19歳を中心とする陸上中・長距離選手15名を対象に、1年間の競技的トレーニングが彼らの有酸素的作業能および心形態に及ぼす影響を検討した。

競技記録並びに有酸素的作業能には、トレーニングによる向上がみられなかった。ベクトル心電図、心エコー図所見からは心拡大傾向が観察された。左室収縮時相には顕著な変化がみられなかった。

以上の結果から、持久的トレーニングによる有酸素的作業能への効果は比較的早期に発現するが、心拡大が表われるまでには長期間にわたるトレーニングが必要であることが示唆された。

VI 文 献

- 1) 雨宮輝也、黒田善雄、塚越克己、伊藤静夫、金子敬二、松井美智子。陸上中、長距離選手の心機能ならびに有酸素的作業能に関する縦断的研究—第1報—、昭和57年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No. IX, 1982.
- 2) 岡本登。心電図とベクトル心電図の正常と異常、最新心電図、ベクトル心電図学、山口和正監修、145—198、メディカル出版、1978.
- 3) 黒田善雄、加賀谷熾彦、塚越克己、雨宮輝也、太田裕造、成沢三雄：心電図R棘同調装置によるX線心臓影に関する研究、昭和44年度日本体育協会

スポーツ科学研究報告, No. VII, 1969.

- 4) 黒田善雄他：わが国における代表的な競技選手についての健康診断, 体力測定報告, 昭和55年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, No. VII, 1980.
- 5) Longhurst, J. C., A. R. Kelly, W. J. Gonyea, and J. H. Mitchell, : Echocardiographic left ventricular masses in distance runners and weight lifters. *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 48(1) : 154—162, 1980.
- 6) 南谷和利：スポーツによる内科的障害=スポーツ心, 昭和55年度日本体育協会スポーツ医・科学調査事業スポーツ関係臨床医相互研修会報告, 18—36, 1980.
- 7) Morganroth, J., B. J. Maron, W. L. Henry, and S. E. Epstein. Comparative left ventricular dimensions in trained athletes. *Ann. Intern. Med.* 82 : 521—524, 1975.
- 8) Paulsen, W. J., D. R. Boughner, P. Ko, D. A. Cunningham, and J. A. Persand. Left ventricular function in marathon runners : echocardiographic assessment. *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 51 (4) : 881—886, 1981.
- 9) Peronnet, F., H. Perrault, J. Cleroux, D. Cousineau, R. Nadeau, H. Pham-Hay, G. Tremblay, and R. Lebeau. Electro-and echocardiographic study the left ventricle in man after training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 45 : 125—130, 1980.
- 10) Peronnet, F., R. J. Ferguson, H. Perrault, G. Ricci, and D. Lajoie. Echocardiography and the Athlete's Heart. *Phys Sportsmed*, 10(March) : 3s—43, 1982.
- 11) Underwood, R. H., and J. L. Schwade. Noninvasive analysis of cardiac function of elite distance runners—echocardiography, vectorcardiography and cardiac intervals. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 301 : 297—309, 1977.

