

昭和59年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. VIII 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3報—

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会

昭和59年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. VIII 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3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

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

一般に、いわゆるスポーツ心臓は長期間の身体トレーニングによってもたらされる生理的適応の結果と解釈され、身体トレーニングとの関係について興味もたれている。これまでにX線写真による心陰影をはじめ、ECG、ベクトル心電図などを用いた研究が行われてきた。近年特に心エコー図の発達により、スポーツ心臓に関する詳細な研究報告がみられるようになった。

しかし、その多くは横断的研究であり、また縦断的研究においてもそのトレーニング期間は8～20週間と比較的短期間のものが多い。対象も非鍛練者に関するものが多く、競技者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。

そこで本研究では、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、競技的トレーニングが有酸素的作業能ならびに心臓に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

第一報¹⁾では、本研究の被験者の初年度におけ

る測定結果について報告した。第二報²⁾では、その後一年間のトレーニングを経過した後の測定結果について報告した。本報では、第三年次の測定結果について報告する。

II 方 法

(1) 被 験 者

第一報では、1982年6月に大学1年生及び高校から実業団へ入社して1～2年目の18～19歳の男子中・長距離選手24名を対象とした。第二年次の1983年6月に行われた測定では、この内の15名が被験者として残った。2年を経過した第三年次の1984年6月の測定においては、さらに3名が減り、12名の選手が残った。

(2) 測 定 項 目

測定項目は、最大酸素摂取量、心エコー図、心容積およびベクトル心電図である。

最大酸素摂取量は、トレッドミル(傾斜+5度)による負荷漸増法で測定した。

心エコー図は、Mモード法により安静仰臥位で記録し、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。これらの測定値から，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。

心臓容積は，心拍同調装置によって心電図R波と同期させ立位の背腹位ならびに左側面位で胸部X線写真を記録し，Moritzの方法で算出した³⁾。

ベクトル心電図は，Frankの誘導法を用い，仰臥位で記録した。

Ⅲ 結 果

(1) 競技記録および有酸素的作業能

表1には，被験者の体重，トレッドミル・テストの結果，5,000mの競技記録の変化を示した。また，図1に最大酸素摂取量とトレッドミル走のオールアウト・タイムについて三回にわたる測定値を比較した。ただし，被験者1名は第三年次のトレッドミル・テストにおいて，体調が悪く十分追い込むことができなかったため，この値を集計から除外した。

被験者の体重は，初年度が 56.3 ± 4.6 kgで第二年度が 57.8 ± 4.2 kg，第三年次が 57.4 ± 4.0 kgであった。初年度に比べ第二年度と第三年次では，わずかながら有意に体重が増加していた。

最大酸素摂取量では，絶対値で $3.8 \sim 3.9$ l/min，体重当りの量で $66 \sim 68$ ml/kg/minの範囲で変化

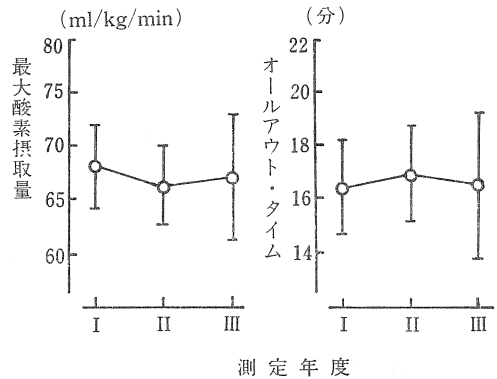


図1 最大酸素摂取量およびトレッドミル，オールアウトタイムの平均値と標準偏差の推移(n=11)

しており，二年間で顕著な差が生じなかった。最大換気量は，初年度から第二年度で有意な増加を示した。最高心拍数は，二年間の測定で変化はみられない。

トレッドミル走のオールアウトタイムの平均値は，16～17分の範囲で，二年間で有意な差がなかった。

5,000mの競技記録について，初年度測定時までのベスト記録を初年度の値とし，初年度から第二年度の測定までの一年間に出したベスト記録を第二年度の値，さらに次の一年間に出したベスト記録を第三年度の値として，表1に比較した。初年度16分，第二年度15分49秒，第三年度15分47秒と平均値は短縮しているが，統計的に有意な差は認

表1 体重，5,000m競技記録，最大酸素摂取量，最高換気量の推移

被験者	体 重 (kg)			5,000m 記 録 (分, 秒)			$\dot{V}O_2$ max (ml/min)			$\dot{V}O_2$ max (ml/kg/min)			$\dot{V}E$ (l/min)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
M. K.	52.4	53.9	52.7	15.57	15.34	15.14	3,678	3,717	3,571	70.19	63.81	67.75	147.6	160.8	145.0
A. N.	53.8	58.3	56.3	16.11	16.19	16.00	3,542	3,677	3,598	65.83	63.12	63.92	126.1	136.2	136.0
T. A.	56.0	54.7	55.7	15.53	15.49	15.30	3,617	3,671	3,734	64.59	67.17	67.04	140.1	155.8	156.5
K. A.	57.5	56.5	57.0		16.42		3,518	3,344	3,312	61.18	59.18	58.11	129.6	126.4	115.8
S. K.	58.7	60.8	59.6	16.59	16.32	16.45	4,190	3,895	3,976	70.08	64.06	66.71	154.4	147.7	138.0
T. I.	50.0	53.6	54.3	15.42	16.00	16.42	3,244	3,410	3,563	64.89	63.68	65.62	122.2	134.4	141.8
Y. T.	61.7	65.8	62.5		16.50	16.20	3,717	4,244	4,227	60.54	64.51	67.64	145.3	175.1	155.7
J. S.	48.5	52.6	51.9		16.24	16.18	3,329	3,593	3,548	68.64	68.30	68.36	127.3	141.7	132.4
H. K.	54.8	56.8	56.2	18.00	17.02	17.36	3,700	3,495		67.51	61.53		120.3	149.3	
M. M.	56.0	55.0	55.1	14.49	14.52	14.32	4,099	4,112	4,383	73.20	74.77	79.55	150.3	151.5	150.7
T. T.	62.3	61.7	63.2	14.52	14.32	14.30	4,505	4,394	4,606	72.30	71.22	72.88	152.2	170.3	162.5
T. K.	62.4	63.3	63.5	15.04	15.25		4,604	4,525	4,452	73.90	71.48	70.11	153.5	149.2	151.6

I；初年度測定値 II；第二年度測定値 III；第三年度測定値

められなかった。

(2) 心エコー図および心容積

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表2に示した。また、心室中隔厚、左室後壁厚、左室拡張終期径、駆出量、駆出分画、左室心筋重量、心容積の変化を図2に示した。

心室中隔厚では、初年度から第二年度で有意な増加がみられた。左室後壁厚は、初年度から第二年度、第三年度と年々増加した。左室拡張終期径では、平均値が年々増加しているが、各年度で有意な差は認められなかった。駆出量、駆出分画では、二年間で著明な差はみられなかった。左室心筋重量では、初年度と第二年度、第二年度と第三年度の値に有意な差がみられ、年々増加する傾向が観察される。

心陰影から算出した心容積では、初年度の値に

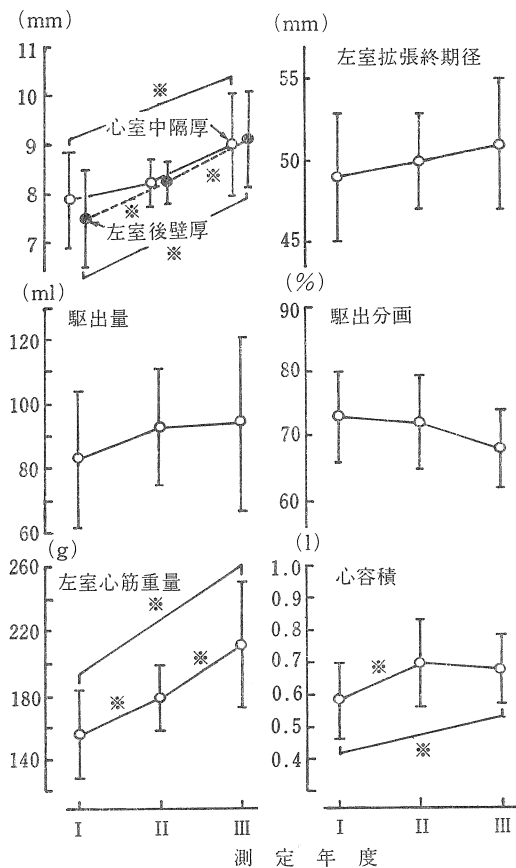


図2 心エコー図の計測値および心容積の平均値と標準偏差の推移 (n=12) * p<0.05

比べ第二年度と第三年度のものには有意に高値を示した。

(3) ベクトル心電図

表3には、ベクトル心電図の計測値を示した。また図3は、ベクトル心電図の前額面と水平面における最大QRSベクトルの平均値と標準偏差を示したものである。さらに、本被験者の値と日本人男子健常者の平均値とを比較するために、岡本の報告値⁴⁾を示した。

前額面では、最大QRSベクトルの大きさで本被験者のものが日本人平均より大きくなっていった。また、本被験者の初年度の値より第三年度のものの方が有意に大きくなっていった。前額面の最大QRSベクトルの角度では、本被験者が日本人平均より小さく、また本被験者の初年度に比し第二年度で有意に小さかった。

水平面では、最大QRSベクトルの大きさは前額面と同じく日本人平均より本被験者の方が大きく、角度が大きくなっていった。また、本被験者の三回にわたる測定値を比較すると、水平面の最大QRSベクトルの大きさは初年度に比し第三年度で有意に高値を示した。ベクトルの角度については、三回の測定値間に有意な差はないが、初年度に比し第二年度、第三年度のものの方が大きい傾向にある。

(4) 最大酸素摂取量の変化と心形態の変化との関係

二年間にわたる最大酸素摂取量の変化と心形態の変化との関係に着目した。すなわち、有酸素的作業能の変化と心形態の変化が比例しているか否かを検討した。

図4は、最大酸素摂取量及び心筋重量について初年度の値と第三年度の値の差をとり、両者の関係をみたものである。統計的に有意な相関関係は認められなかった (R=0.371)。

同様に、心エコー図の諸測値および心容積の二年間にわたる変化量と最大酸素摂取量の変化量との関係をみたが、いずれも有意な相関関係は認められなかった。

IV 考 察

前報では、18~19歳の大学生(一部実業団選

表2 心エコー図の計測値および心容積の推移

被験者	大動脈径 (mm)			左房径 (mm)			左室拡張終期径 (mm)			左室収縮終期径 (mm)			心室中隔厚 (mm)			左室後壁厚 (mm)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
M. K.	31	26	26	26	31	27	56	52	50	41	34	33	6.6	7.4	9.7	6.2	7.4	9.7
A. N.	29	30	30	29	26	29	48	53	51	33	36	36	7.4	8.2	7.9	7.4	8.2	9.4
T. A.	31	28	32	31	32	35	45	50	50	28	35	36	9.0	8.8	10.0	8.6	8.8	10.4
K. A.	25	26	27	27	26	26	44	50	53	27	36	35	8.6	8.5	7.9	9.0	8.5	7.3
S. K.	24	28	30	25	27	25	49	51	52	32	33	35	6.6	8.1	7.3	7.0	8.9	7.9
T. I.	28	28	28	25	24	27	48	49	47	31	34	35	8.9	9.0	8.2	6.7	8.2	7.9
Y. T.	26	28	28	28	28	34	50	50	54	36	35	40	7.4	7.4	10.4	7.4	8.1	9.2
J. S.	28	31	32	31	30	26	50	46	49	32	31	32	8.9	8.5	7.9	8.9	8.1	8.2
H. K.	25	28	29	25	28	29	44	47	49	33	36	35	5.9	7.4	10.4	5.1	8.1	10.4
M. M.	31	29	30	33	31	31	55	57	59	39	40	39	8.1	8.1	8.5	8.1	8.5	9.2
T. T.	32	31	32	30	27	36	46	48	45	27	27	31	8.8	8.8	10.0	8.1	8.1	9.2
T. K.	26	28	29	31	29	30	52	50	58	32	32	35	8.1	8.1	10.0	7.4	7.4	10.0

被験者	左室拡張終期容積 (ml)			左室収縮終期容積 (ml)			駆出量 (ml)			左室心筋重量 (g)			駆出分画 (%)			心容積 (ml)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
M. K.	178	140	127	70	40	35	113	105	92	159	165	220	595	686	696	64	75	73
A. N.	111	149	132	37	46	48	78	108	84	144	195	195	555	903	794	70	73	64
T. A.	90	125	128	23	41	47	70	88	81	161	193	235	663	875	887	78	70	63
K. A.	83	128	152	19	46	43	67	86	108	154	187	177	636	690	679	81	67	71
S. K.	120	133	142	33	37	43	91	101	98	135	192	171	724	1002	809	76	76	69
T. I.	113	114	106	30	38	43	87	80	62	156	177	155	528	595	654	77	70	59
Y. T.	122	125	156	45	41	64	81	88	92	152	164	253	824	744	939	66	70	59
J. S.	125	97	116	34	30	31	96	71	85	196	155	166	656	744	710	76	73	73
H. K.	86	104	117	36	48	42	52	59	75	86	147	234	613	736	777	61	57	64
M. M.	165	189	200	61	63	57	109	133	143	203	227	258	814	801	740	66	70	72
T. T.	95	109	89	20	19	30	78	95	59	157	170	182	606	690	672	83	87	66
T. K.	137	125	192	34	34	41	108	96	151	172	164	293	964	1098	1028	79	76	78

I ; 初年度 II ; 第二年度 III ; 第三年度

手)の有酸素的作業能および心機能について、入学後(入社後)の一年間の競技的トレーニングの影響を検討した。その結果、次のような結果を得た。

すなわち、競技記録および有酸素的作業能には向上がみられなかった。ベクトル心電図では最大QRSベクトルの大きさが増加していた。また、水平面の角度が前方へ偏移した。心エコー図所見では、左室後壁厚、左室心筋重量が有意に増加し、またX線心陰影では心容積が有意に増加していた。以上のことから、前報では本被験者が一年間のトレーニングによって心臓が拡大しているものと推察した。

そこで本報では、第二次から第三次測定までの一年間のトレーニングによってどのような変化がみられたか、検討してみたい。

有酸素的作業能および競技成績には、前報と同様、顕著な変化がみられなかった。ベクトル心電図では、第二次と第三次の測定値に差がなかった。すなわち、最初の一年間で最大QRSベクトルの大きさが増大し、方向が前上方へ偏位したが、次の一年後ではその状態が保持されていた。心エコー図所見では、左室後壁厚、左室心筋重量に有意差がみられた。第二次から第三次にかけても、心臓の拡大していることが推察される。

以上、本報でみられた成績は前報の特徴を継続

表3 ベクトル心電図計測値の推移

被験者	最大QRSベクトルの角度(度)						最大QRSベクトルの大きさ(mV)											
	前額面		水平面		左側面		前額面		水平面		左側面							
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II						
M.K.	43.7	46.2	47.9	-17.0	10.8	-3.0	52.1	101.4	86.5	1.90	1.81	2.22	1.44	1.31	1.52	1.39	1.34	1.66
A.N.	29.8	26.2	31.8	-33.1	-25.2	-22.9	46.7	48.9	72.1	2.21	2.81	2.79	1.93	2.40	2.37	1.45	1.57	1.60
T.A.	44.0	30.0	43.0	24.8	16.2	20.0	116.7	119.4	113.3	1.57	2.04	1.91	1.26	1.88	1.52	1.22	1.20	1.41
K.A.	16.0	7.8	15.3	-98.9	-99.3	-105.0	-25.7	-22.0	-18.3	0.96	1.05	1.28	1.13	1.21	1.28	1.27	1.31	1.29
S.K.	47.8	33.2	32.3	-48.8	-7.1	-14.1	44.1	64.2	70.8	1.90	2.45	2.48	1.77	2.02	2.17	1.87	1.47	1.42
T.I.	50.4	41.7	51.5	32.8	20.2	35.1	116.8	106.5	108.6	1.95	2.75	2.24	1.47	2.17	1.70	1.68	1.95	1.83
Y.T.	35.2	34.1	31.2	30.5	24.3	26.3	130.8	127.2	129.2	2.34	2.04	2.59	2.19	1.82	2.40	1.74	1.39	1.77
J.S.	50.2	46.2	47.1	-51.2	-32.0	-23.5	43.5	39.0	67.9	1.82	1.87	2.32	1.80	1.50	1.75	1.96	1.67	1.84
H.K.	37.4	36.1	38.3	-1.3	11.0	-5.1	67.5	25.9	54.0	2.04	1.96	1.69	1.63	1.62	1.34	1.28	1.37	1.13
M.M.	37.0	32.8	33.3	-1.5	-15.0	7.1	106.0	39.7	104.8	2.57	2.65	3.07	2.08	2.21	2.58	1.61	1.55	1.79
T.T.	57.4	25.0	19.9	10.4	20.9	17.4	124.4	134.9	143.9	2.75	2.39	2.48	1.60	2.26	2.28	1.18	1.37	1.53
T.K.	47.4	44.0	49.3	-1.4	-4.2	3.2	88.7	85.8	93.9	2.16	2.59	2.45	1.48	1.94	1.60	1.62	1.79	1.88

被験者	最大Tベクトルの角度(度)						最大Tベクトルの大きさ(mV)											
	前額面		水平面		左側面		前額面		水平面		左側面							
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II						
M.K.	31.8	30.9	35.9	15.9	6.0	5.0	115.9	106.0	102.0	0.92	0.76	0.84	0.80	0.67	0.70	0.54	0.39	0.49
A.N.	29.6	13.3	19.8	32.3	13.9	22.2	145.4	142.2	142.8	0.82	1.09	1.03	0.78	1.12	1.04	0.71	0.40	0.56
T.A.	43.9	24.8	41.9	28.6	9.1	12.6	119.9	112.8	106.5	0.92	1.15	0.92	0.76	1.07	0.71	0.74	0.51	0.65
K.A.	33.1	22.8	19.4	25.0	27.1	25.8	126.3	139.3	147.6	0.88	1.14	0.89	0.82	1.19	0.93	0.59	0.73	0.52
S.K.	51.7	34.2	35.3	13.8	14.2	12.6	100.4	111.4	108.5	0.89	1.38	1.13	0.57	1.16	0.98	0.72	0.84	0.69
T.I.	37.0	27.4	32.9	18.9	23.5	17.3	112.0	128.4	114.8	1.10	1.17	1.31	0.92	1.12	1.15	0.72	0.69	0.79
Y.T.	31.0	29.2	32.9	16.8	15.4	9.1	115.6	118.8	108.3	1.02	1.11	1.13	0.91	0.99	0.96	0.58	0.62	0.67
J.S.	39.1	28.2	33.1	27.1	19.0	28.0	123.6	122.8	129.4	0.92	1.04	0.78	0.80	0.96	0.74	0.71	0.60	0.56
H.K.	30.5	13.2	27.3	14.4	17.2	7.6	113.8	163.6	103.5	0.74	0.45	0.30	0.65	0.45	0.27	0.40	0.23	0.13
M.M.	32.6	25.8	23.0	21.2	26.5	26.8	121.4	136.7	138.6	1.48	1.33	0.96	1.36	1.34	0.99	0.96	0.84	0.58
T.T.	41.0	33.2	29.4	32.9	22.7	24.4	123.6	123.7	129.2	0.88	1.28	1.14	0.76	1.14	1.07	0.73	0.81	0.71
T.K.	15.6	19.5	18.8	8.4	6.5	4.5	113.1	109.0	107.9	0.88	1.08	0.90	0.85	1.06	0.84	0.29	0.38	0.32

I ; 初年度 II ; 第二年次 III ; 第三年次

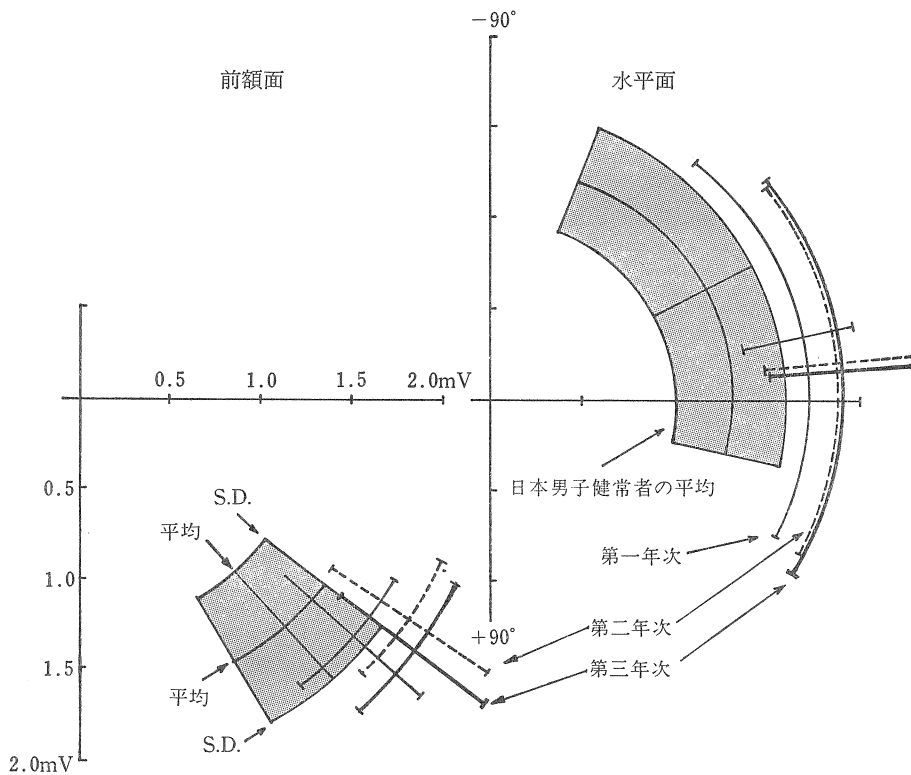


図3 最大QRSベクトルの平均値と標準偏差の推移 (n=12)

もしくは助長するものであった。

前報でも考察したように、本研究の被験者はすでに五～六年間競技的トレーニングを積んできたもので、最大酸素摂取量もある程度水準にまで高められている。したがって、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であったと考えられる。一方、心エコー図所見からは、本被験者の心臓は依然として拡大し続けていると推察される。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た。

スポーツ心臓の形成が発育期のどの時期で顕著に表われるのか、極めて興味深い。トレーニングによる心拡大は青年期(高校～大学)において最も著しいのではないかと、という考えが一般的であろう⁶⁾。そうであれば、中学、高校の段階では最大酸素摂取量が急速に増大する一方、心臓の発達はまだ十分ではないことになる。これを図4にあてはめて推論すると、中学、高校では最大酸素摂

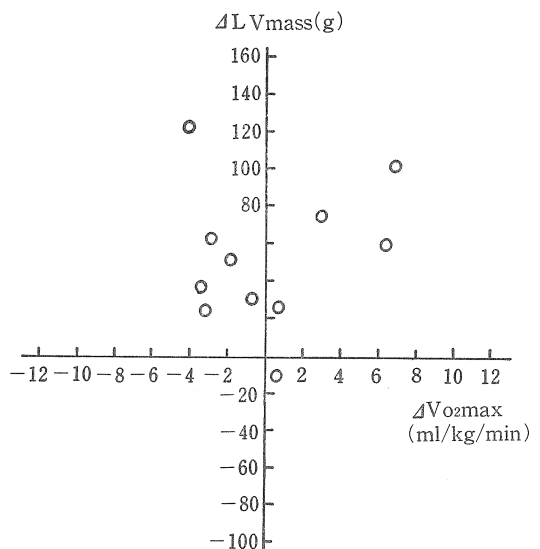


図4 最大酸素摂取量および左室心筋重量の2年間の変化量の比較

取量の増加だけが顕著で、X軸付近にプロットが集中する。高校から大学にかけては、本研究結果にみられるように、有酸素的作業能は頭打ちになるが心拡大が著明になり、図4のプロットはY軸の方に集中することになる。

しかしながら、思春期前のトレーニングによる心拡大の可能性を示唆する報告もみられる。水泳のように低年齢から激しいトレーニングを実施する場合には、8～10歳ですでにトレーニングによる心拡大が観察されるという⁶⁾。この問題については資料不足であり、今後より詳細な研究が必要であろう。

本研究のベクトル心電図について、前報で示摘した通り、最大QRSベクトルの方向は前上方へ向かう傾向にあった。ベクトル心電図における左室肥大の特徴の一つに、最大QRSベクトルの左後上方への偏位があげられる。本研究の成績は、むしろ右室肥大を想起させるものといえよう。Roeskeら⁵⁾、Underwood⁷⁾の報告においても、同様の傾向をみることができる。スポーツ心臓の形態的な特徴として、左室肥大だけでなく右室の肥大も考慮する必要があると思われる。この点についていても、今後の研究課題としたい。

V 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) 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; 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—, 昭和58年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No. IX, 1983.
- 3) 黒田善雄, 加賀谷瀬彦, 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) 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.
- 5) Roeske, W.R. et al; Noninvasive evaluation of ventricular hypertrophy in professional athletes. *Circulation* 52 (2), 286-292, 1976.
- 6) Rost, R. & W. Hollmann; Athlete's heart—a review of its historical assessment and new aspects. *Int. J. Sports Med.* 4, 147-165, 1983.
- 7) Underwood, R.H. et al; Noninvasive analysis of cardiac function of elite distance runners echo-cardiography, vectorcardiography and cardiac intervals, *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 301, 297-309, 1977.

