

小心臓を有する大学生の多 段階運動負荷時呼吸循環動 態

Hemodynamic state at rest and during maximal bicycle exercise in uni- versity students with small cardiac silhouettes on chest radiography

天野 恵子
坂本 二哉
杉本 恒明

Keiko AMANO
Tsuguya SAKAMOTO
Tsuneaki SUGIMOTO

Summary

To clarify the hemodynamic state of an apparently small heart; i.e., a small cardiac silhouette on chest radiography, chest radiographic and echocardiographic studies, physical fitness tests (a battery of tests consisting of vertical jump, side step, floor push-up, and modified Harvard step test) and graded uninterrupted bicycle exercise test were performed.

1. The cardiothoracic ratio (CTR) in 3,461 newly-enrolled university students (18.7 ± 1.2 years old: mean \pm SD) distributed normally and the mean value \pm SD was $40.2 \pm 3.6\%$. No difference was observed between male and female students.

2. A small heart was defined as one having a cardiothoracic ratio (CTR) $\leq 35\%$ which comprised the lower 10% of the normal distribution. There was no significant difference in results of physical fitness tests between students with small heart ($n=134$) and normal controls ($n=136$, $45\% \leq \text{CTR} \leq 50\%$).

3. A maximal bicycle exercise test was performed in 14 male students with small heart (S: $\text{CTR}=31.9 \pm 2.1\%$) and nine normal controls (C: $\text{CTR}=46.5 \pm 1.0\%$).

a) Body weight (S: 57 ± 7 , C: 69 ± 8 kg, $p < 0.001$) were less in students with small heart; Body height was similar in both categories (S: 171 ± 5 , C: 175 ± 7 cm, NS).

b) All controls finished 200 W workload, whereas all students with small heart ceased exercise earlier than the control subjects (three at 125 W, three at 150 W, eight at 175 W).

c) Resting heart rate was higher in cases with small heart (S: 92 ± 14 , C: 77 ± 10 beats/min, $p < 0.02$). Left ventricular end-diastolic dimension was smaller in small heart (S: 39 ± 4 , C: 48 ± 4 mm, $p < 0.001$).

d) During exercise, blood pressure and oxygen intake at the same workload were similar in both groups, but peak oxygen uptake was higher in the controls (S: 43 ± 5 , C: 50 ± 7 ml/kg/ml, $p < 0.05$). Heart rate and blood lactate concentration were higher throughout exercise in students with small heart

東京大学医学部 第二内科
東京都文京区本郷 7-3-1 (〒113)

The Second Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine, University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113

Received for publication March 1, 1988; accepted April 22, 1988 (Ref. No. 35-PS52)

(lactate at 175 W; S: 12.7 ± 1.6 , C: 7.8 ± 2.0 mmol/L, $p < 0.001$) (heart rate at 175 W; S: 194 ± 6 , C: 173 ± 21 beats/min, $p < 0.05$).

We concluded that hemodynamic conditions at rest and during low grade exercise are preserved in students with small heart. However, their aerobic work capacity decreases, because they reach their maximal heart rate earlier due to their smaller left ventricular cavities and higher concentrations of blood lactate. The latter may be related to the paucity of daily endurance training in this group.

Key words

Small heart

Physical fitness test

Maximal bicycle exercise test

はじめに

1944年, Master¹⁾は, 神経循環無力症患者の胸部 X 線写真上, 心陰影の小さい例が対照例に比較して非常に多いことを認めた. そして神経循環無力症の心臓症状, すなわち軽い労作後の脱力感, 心悸亢進, 動悸, 心拍不整, 前胸部痛, 呼吸速迫, 呼吸困難などは, 先天的な小心臓に起因する症状であり, したがって神経循環無力症は, 機能的疾患というよりは器質的疾患であると主張した. 以来, 小心臓は神経循環無力症, 起立性調節機能障害との関連において論じられ²⁻⁴⁾, 小心臓症候群 (small heart syndrome) と呼称されることもある⁵⁾.

しかしながら, 小心臓の実態あるいは血行動態に関しては不明な点が多く, ことに運動負荷時呼吸循環動態に関しては, 現在のところ報告をみない. 我々は, 本学入学時健診において, 洞性頻脈ならびに胸部 X 線写真における心胸郭比の極端に小さい小心臓例を高率に認め, この両者間に何らかの関係があるのではないかと考え, 健常大学生における心胸郭比ならびに小心臓例の呼吸循環動態について検討を行った.

対象と方法

1. 東京大学 1987 年 (昭和 62 年) 度入学の男子 3097 名, 女子 364 名, 計 3461 名 (平均年齢 18.7 ± 1.2 歳) において, 立位, 深吸気時に撮影された胸部間接 X 線写真 (10×10 cm) による心胸郭比を Fig. 1 に示す如く測定し, その頻度分布を求めた.

ついで無差別に抽出した男子学生 479 名を対象に, 心胸郭比と入試健診時に測定した心拍数, 血圧, 身長, 体重, 胸囲, 肥満度 (Broca 指数 = 体重/[身長 - 100] $\times 0.9$) との相関を求めた. また東京芸術大学 (334 名), 東京工業大学 (500 名), 立教大学 (1575 名), 本学学生の 1973 年 (昭和 48 年) 度定期健診受診者 (521 名) の心胸郭比と, 62 年度入学生のそれとを比較検討した.

2. 心胸郭比が 35% 以下の男子学生 347 名中の 134 名 (小心臓群) と, 心胸郭比 45~50% の男子学生 303 名中の 136 名 (対照群) に対し, 入学当初の正課体育時に実施した垂直とび, 反復横とび, 腕立伏臥腕屈伸, 踏台昇降運動の 4 種目の構成によるバッテリーテストである「東京大学体力テスト」の結果と, 第一学年終了時の同テストの結果について比較検討を行った. 東京大学体力テスト 4 種目の実施方法は, 文部省のスポーツテストとはそれぞれ若干異っている. 垂直とびは, 入学時, 初めに「指高値」として測定しておき, 毎回のテストにおいては, 跳びついた高さからこの値を引いた数値を垂直とびの値とした. 反復横とびは, 3 本線の間隔は文部省のスポーツテストと同じく 1.2 m であるが, 両側の線をまたいで, かかをつける, 線は踏まないという方法で行い, 線をまたいだ回数を測定した. 腕立伏臥は 3 秒に 1 回のテンポで屈伸を行い, その回数を測定した. 踏台昇降は, 文部省スポーツテストの場合台の高さは 40 cm であるが, 東京大学では 50 cm の台高で 2 秒に 1 回の昇降を 3 分間実施し, 1 分後から 30 秒間隔で 3 回脈拍数を測定した. 東京大学

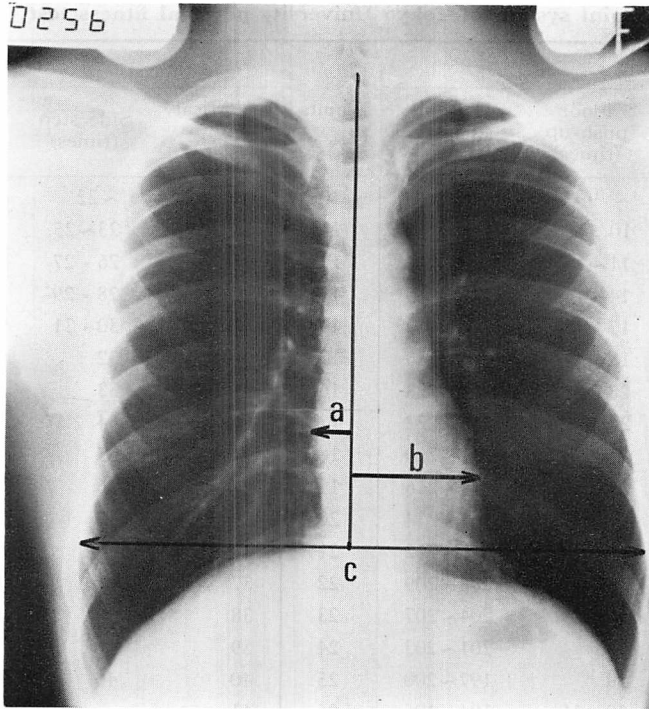


Fig. 1. Method of calculating cardiothoracic ratio (CTR) on chest radiograph.
 $CTR=(a+b)/c$.

では、種目相互の測定値の比較や、これらを加算し全体として総合的な評価を行うことを目的として、体力テストの結果を換算表によって得点化し表示している⁶⁾(Table 1)。体力テストの得点は、各種目ごとに得点ができるだけ正規分布に近づくように操作したのち、4種目の合計得点の平均が100点となるように種目ごとの平均を25点、標準偏差を5点として換算している。

3. 心胸郭比が35%以下の男子学生14例(小心臓群:平均心胸郭比 $31.9 \pm 2.1\%$)、ならびに心胸郭比45~50%の男子学生9例(対照群:平均心胸郭比 $46.5 \pm 1.0\%$)に対し、食事摂取2時間後30分間の安静臥位をとらせ、その後血中ノルエピネフリン濃度測定のための採血ならびに心エコー図検査を行い、断層およびMモード心エコー図を記録した。心エコー図検査にはAloka SSD 800を用い、断層像はビデオテープに記録し、Mモード

断層像は紙送り速度100mm/秒にてストリップチャートに記録した。Mモード心エコー図の計測は、American Society of Echocardiographyのrecommendationに従って行った⁷⁾。僧帽弁逸脱の有無については、吉川らの診断基準を用いた⁸⁾。その後アイソパワー式自転車エルゴメーター(エアロバイク710:コンビ製)を用いた1ステージ3分間のステップ状の漸増運動負荷試験を行った。自転車エルゴメーター駆動は0Wattから開始し、25Wattずつ負荷を上げ、疲労で運動継続が不可となる時点まで行った。各ステージの最後の1分間に呼吸マスクを介して呼気ガスをダグラスバッグに採集し、呼気ガスの酸素濃度および炭酸ガス濃度を、Expired Gas Monitor 1H26(日本電気三栄製)にて測定し、換気量の測定を乾式ガスメーターにて行った。また運動開始前と各ステージの最後に血中乳酸濃度を分析するために耳朶血を

Table 1. New point system of Tokyo University physical fitness test

Male				Points	Female			
Vertical jump (cm)	Side step (times)	Floor push-up (times)	Harvard step test (beats)		Vertical jump (cm)	Side step (times)	Floor push-up (times)	Harvard step test (beats)
~41	~32	~ 9	259~	10	~23	~22	0	229~
42・43	33	10	254~258	11	24	23~25		226~228
44	34	11~13	249~253	12	25	26・27		223~225
45・46	35	14~16	243~248	13	26	28・29	1	220~222
47		17	236~242	14	27	30・31		218~219
48	36	18・19	229~235	15	28	32	2	214~217
49		20~22	223~228	16	29・30	33		210~213
50	37	23	220~222	17	31・32	34	3・4	207~209
51	38	24	217~219	18	33	35	5・6	204~206
52	39	25	215~216	19	34	36	7・8	200~203
53			213~214	20	35	37	9	195~199
54	40	26	210~212	21	36			191~194
55	41		208~209	22	37	38	10	188~190
56・57		27	204~207	23	38	39	11・12	184~187
58	42	28	201~203	24	39		13・14	179~183
59	43	29	197~200	25	40	40	15・16	174~178
60		30・31	194~196	26	41		17・18	170~173
61・62	44	32	191~193	27	42・43	41	19・20	166~169
63	45	33・34	187~190	28	44	42	21・22	162~165
64		35・36	183~186	29	45		23	157~161
65	46	37~39	179~182	30	46	43	24・25	151~156
66・67	47	40・41	174~178	31	47・48	44	26・27	146~150
68		42・43	170~173	32	49		28・29	138~145
69・70	48	44・45	166~169	33	50	45	30・31	134~137
71	49	46~48	162~165	34	51		32	130~133
72・73		49~51	158~161	35	52	46	33~35	124~129
74	50	52~55	154~157	36	53		36~38	118~123
75・76	51	56~59	149~153	37	54	47	39~41	114~117
77・78	52	60・61	144~148	38	55		42・43	112~113
79~81	53	62~64	138~143	39	56	48	44・45	110~111
82~	54~	65~	~137	40	57~	49~	46~	109~

採取した。サンプルは、氷冷した 500 μ l の 0.6 N HClO₄ 溶液で除蛋白し、酸素法による血中乳酸分析キット (Lactate-UV-Test: ベーリングー・マンハイム製) を用いて分析した。測定に用いた分光光度計は Hitachi spectro photometer model 100-60 である。運動中の心拍数はカルディオス

ーパー (日本電気三栄製) でモニターし、血圧の測定はカフ法によって行った。運動直後に血中ノルエピネフリン濃度の測定のために静脈採血を行った。血中ノルエピネフリン濃度は、高速液体クロマトグラフィーで分離後、電気化学検出器で測定した。除脂肪体重 (lean body mass) の測定は東

京大学 human counter 法により行った。Human counter は体内に存在する微量の放射性物質からの放射線を身体の外部にある高感度の放射線検出器を用いて直接測定する装置で、被検者に対してまったく侵襲を与えることなく、迅速に体内のカリウム量の定量を行うことが出来る。すなわち、カリウムに 0.0117% の割合で存在する天然放射性核種であるカリウム-40 からの放射線を測定し、体内カリウム含有量を算定した。カリウムは脂肪以外の組織 (lean body mass) にのみ含まれる元素である。このことを応用し、次式を用いて体内カリウム量から除脂肪体重を求めた。

$$\text{LBM (lean body mass) (kg)} = \frac{\text{体内カリウム含有量 (g)}}{\text{LBM 中のカリウム濃度 (g/kg)}}$$

LBM 中のカリウム濃度は、性、年齢を問わず、2.66 (g/kg) という数値が現在用いられている⁹⁾。

統計的処理には、小心臓群と対照群間には unpaired t test を用い、小心臓群の安静時と運動負荷時については paired t test を用いた。

結 果

1. 大学生における心胸郭比

本学 1987 年 (昭和 62 年) 度新入生、総計 3461 名の心胸郭比は平均値±標準偏差が 40.2±3.6% の正規の分布を示し (Fig. 2), 最頻度値は 39%, 最小値は 27%, 最大値は 54% であった。性別による差は認めなかった (男子: 40.2±3.6%, 女子: 40.7±3.3%, NS)。心胸郭比と心拍数、収縮期血圧、拡張期血圧、身長、体重、胸囲、体表面積、肥満度との間には、肥満度との間に極めて粗な相関を認めたのみであった (Table 2)。Broca 指数 90% 以下、100±10%, 110% 以上と群別した際的心胸郭比は、おのおの 37.6±4.6%, 39.8±4.9%, 43.6±5.8% であった。また、東京芸術大学、東京工業大学、立教大学の昭和 62 年度新入生の心胸郭比は、おのおの 41.2±3.6%, 41.3±3.5%, 42.2±3.5% であり、本学学生昭和 48 年度定期健診受診者の心胸郭比は、41.4±3.4% であった。

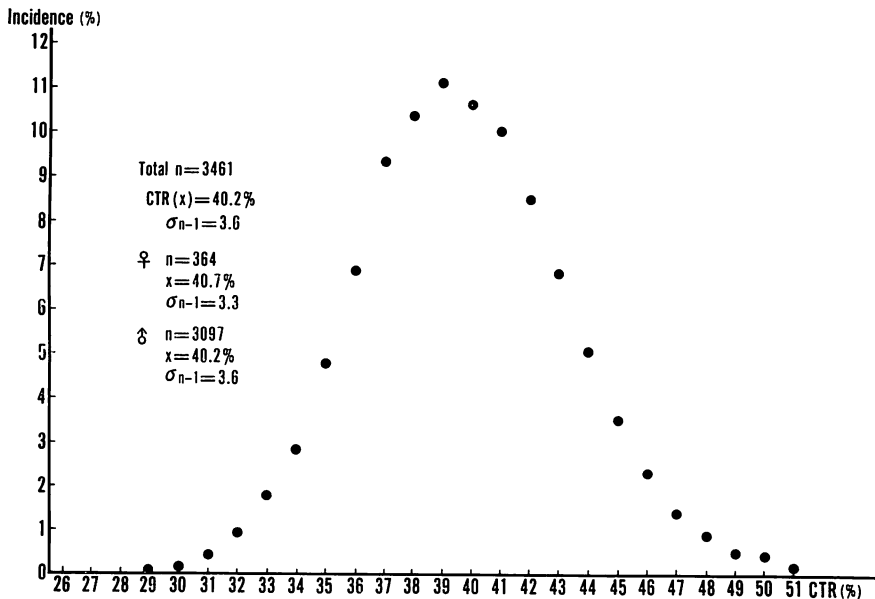


Fig. 2. Distribution of the cardiothoracic ratio in newly-enrolled university students.

Table 2. Correlation between the cardiothoracic ratio and physical data (n=479)

	Mean±SD	r	P
HR (beats/min)	76.9 ±13.9	0.047	0.0001
SBP (mmHg)	127.4 ±11.8	0.024	0.0006
DBP (mmHg)	68.3 ±11.0	0.0001	0.7639
BH (cm)	171.6 ± 5.7	0.018	0.0032
BW (Kg)	63.4 ± 9.6	0.096	0.0001
Bust (cm)	88.2 ± 6.3	0.050	0.0001
BSA (Mi)	1.73± 0.13	0.051	0.0001
Obesity index(%)	0.99± 0.14	0.159	0.0001

HR=heart rate; SBP=systolic blood pressure; DBP=diastolic blood pressure; BH=body height; BW=body weight; BSA=body surface area; obesity index=body weight/ideal body weight estimated by body height (%).

2. 小心臓症例における体格ならびに体力 (Table 3)

小心臓群は対照群に比し有意に体重が小であり, 身長は高い傾向にあった. 垂直とび, 反復横とび, 腕立伏臥腕屈伸, 踏台昇降の4種目より構成される東大体力テストでは, 入学当初, 第一学年終了時ともに, 踏台昇降を除く3種目において小心臓群が対照群に比し勝っていた. 同一群間では, 小心臓群・対照群ともに腕立伏臥腕屈伸, 踏台昇降において, 入学当初に比し, 第一学年終了時に改善が認められた.

3. 小心臓症例における多段階運動負荷時の呼吸循環動態 (Table 4)

被検対象とした小心臓群(S)は対照群(C)に比し身長では有意な差を認めなかったが (S=170.6±5.1, C=172.8±6.6 cm, NS), 体重 (S=56.5±6.9, C=67.5±8.2 kg, p<0.01) ならびに左室拡張末期径 (S=38.5±4.0, C=48.0±4.2 mm, p<0.001) と, その体表面積にて補正した値 (S=23.4±2.6, C=26.7±2.4, p<0.01) において小であった. 小心臓群4例, 対照群1例に僧帽弁逸脱を認めたが, 安静時・運動負荷時とも不整脈の出現は認めなかった.

対照群は全例 200 W までの負荷を完了し得たが, 小心臓群では, 125 W で3人, 150 W で3人 175 W で8人が疲労のため運動を中止し, 200 W を完了し得た者はいなかった.

安静時においては, 血圧, 乳酸値, 分時換気量, 酸素消費量, ノルエピネフリン値, いずれにおいても両群間に差を認めなかった. ただし心拍数は, 小心臓群にて高値であった (S=92±14, C=77±10 beats/min, p<0.02).

運動負荷全経過を通じ, 血圧は同一負荷に対しては, 両群間で差をみなかった (Fig. 3). 心拍数は, 50 W 負荷時より常に小心臓群が対照群に比し有意に高値をとり, 175 W では S=194±6, C=173±21 beats/min (p<0.05) であった (Fig. 4). 分時換気量は, 小心臓群にて運動負荷全経過を通

Table 3. Comparison of Tokyo University physical fitness test between small heart students and normal controls

	Age (yrs)	BH (cm)	BW (Kg)	Term	Vertical jump	Side step	Floor push-up	Harvard step test
50%≥CTR≥45% (n=136)	18.8±1.6	170±6	68±11	A	24±5	25±5	25±6	27±5
				B	24±6	25±5	28±6	29±5
CTR≤35% (n=134)	18.7±1.0	172±5*	60±7**	A	26±5*	26±5	26±6*	27±5
				B	26±5*	26±6*	30±5**	28±5

*: p<0.05, **: p<0.01.

A: in April, 1987, B* in February, 1988.

BH=body height; BW=body weight.

Table 4. Results of maximal bicycle exercise test in students with small heart and normal controls

Load (Watt)		BP (mmHg)	HR (beats/min)	$\dot{V}E$ (l/min)	$\dot{V}O_2$ (l/min)	Lactate (mmol/L)	
0	S	14	127±19	92±14	18± 6	0.4±0.1	1.7±0.6
	C	9	133±17	77±10	20± 8	0.6±0.1	1.5±0.2
25	S	14	133±20	99±13	21± 6	0.7±0.1	1.9±0.4
	C	9	138±15	91±10	21± 5	0.8±0.1	1.7±0.4
50	S	14	139±17	114±16	25± 4	0.9±0.1	2.4±0.5
	C	9	142±14	101±11	26± 4	1.1±0.1	2.2±0.7
75	S	14	153±18	132±17	34± 5	1.2±0.1	3.5±1.1
	C	9	152±19	114±13	34± 4	1.4±0.2	2.5±0.9
100	S	14	164±18	153±21	45± 7	1.6±0.1	5.4±1.9
	C	9	163±21	132±16	41± 7	1.7±0.2	3.4±1.4
125	S	14	177±17	172±22	61±13	1.9±0.1	8.4±3.6
	C	9	171±18	153±15	51± 9	2.0±0.2	4.5±1.7
150	S	11	184±22	182±10	77±12	2.3±0.2	10.2±3.2
	C	9	183±19	160±20	62±14	2.4±0.2	5.9±2.2
175	S	8	193±12	194± 6	102±12	2.6±0.2	12.7±1.6
	C	9	189±14	173±21	76±14	2.6±0.2	7.8±2.0
200	S	0	—	—	—	—	—
	C	9	190±11	185±20	94±20	3.0±0.3	12 ±3.5

BP=systolic blood pressure; HR=heart rate; $\dot{V}E$ =ventilation; $\dot{V}O_2$ =oxygen consumption.

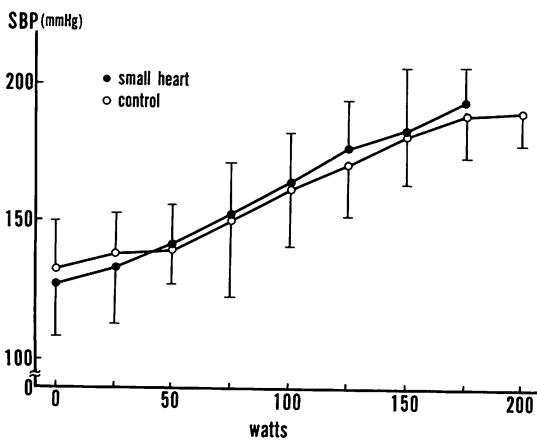


Fig. 3. Changes in blood pressure during maximal bicycle exercise.

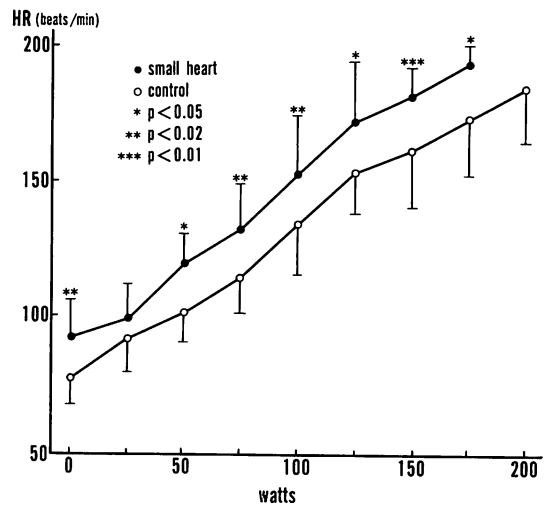


Fig. 4. Changes in heart rate during maximal bicycle exercise.

じて対照群に比し若干高値をとり, 負荷量 125 W よりその差は有意となり, 175 W では $S=102 \pm 12$, $C=76 \pm 14$ l/min ($p < 0.01$) であった (Fig. 5). 除脂肪体重で補正した体酸素消費量は, 安静時には対照群の方が小心臓群に比し大であったが ($S=7.8 \pm 2.2$, $C=9.8 \pm 1.4$ ml/kg/min, $p < 0.05$), 運動負荷経過中, 同一負荷に対しては, 両群間に差を認めなかった (Fig. 6). しかし小心臓群の最大

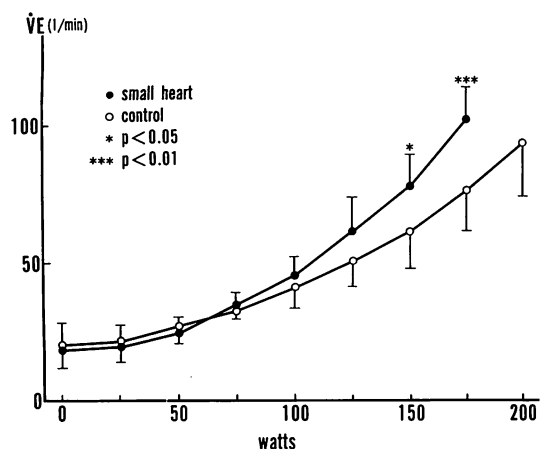


Fig. 5. Changes in ventilation during maximal bicycle exercise.

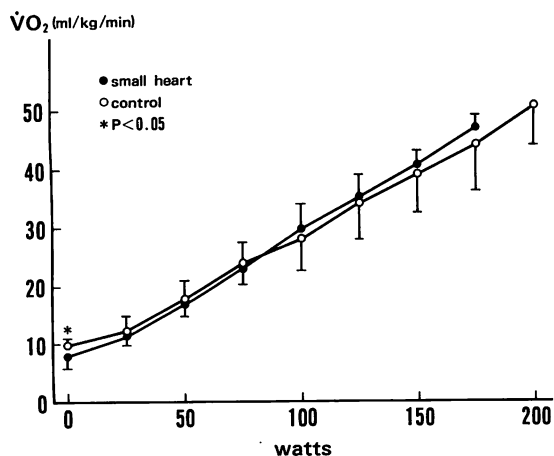


Fig. 6. Changes in oxygen intake during maximal bicycle exercise.

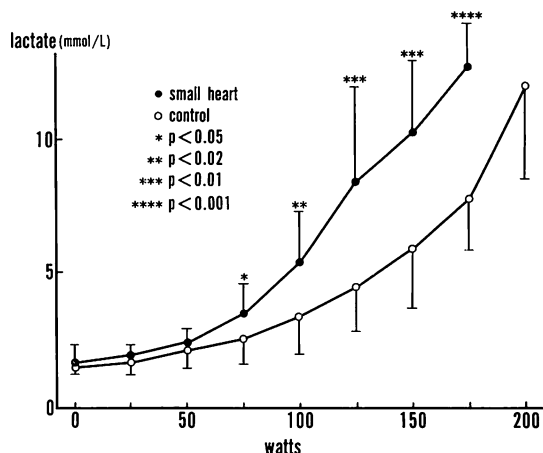


Fig. 7. Changes in blood lactate concentration during maximal bicycle exercise.

負荷量が対照群に比し低いため, 除脂肪体重で補正した最大酸素摂取量は小心臓群で有意に小であった ($S=43.4 \pm 4.8$, $C=50.5 \pm 6.7$ ml/kg/min, $p < 0.05$). 血中乳酸濃度は, 75 W 負荷時より小心臓群が有意に高値をとり, 175 W 負荷時では $S=12.7 \pm 1.6$, $C=7.8 \pm 2.0$ mmol/L ($p < 0.001$) であった (Fig. 7). 小心臓群での 175 W 負荷時の乳酸濃度は, 対照群での 200 W 負荷時の乳酸濃度に匹敵していた. 負荷直後のノルエピネフリン値は両群間で差を認めなかった ($S=1385 \pm 661$, $C=1563 \pm 1014$ pg/ml, NS).

考 按

1. 健常大学生における心胸郭比

健常大学生の心胸郭比の検討については, 元田^{10,11}らならびに杉下¹²の報告がある. 元田らの第1報では¹⁰その平均値は43.3%であり, 第2報では¹¹男子 $41.8 \pm 3.6\%$, 女子 $43.3 \pm 3.6\%$ で, 女子の平均値が有意に大であったと報告している. 杉下らの報告では¹², 大学1年生の非体育系学生の心胸郭比は平均40.1%, 体育系学生の平均は43.5%であり, 中・高校時代のスポーツが心胸郭比に明らかな影響を与えると指摘している. 今回の我々の検討では, 各大学間ないしは年度で

若干の差は認めるものの、健常大学生の心胸郭比は、40~42%を平均値とした正規分布を示し、従来の如く40%以下を小心臓と定義した際には、約半数が小心臓と診断される。このことは、心胸郭比に対する年齢・体格の影響を考慮しないために起こる結果である。胸部 X 線写真上の心陰影の大きさ、殊に心横径とそれを規定する心内腔の大きさに、年齢¹³⁻¹⁵⁾ならびに体格^{11,16,17)}の与える影響が大きいことは既に報告されている。因に柴田ら¹³⁾の60歳台健常老人の心胸郭比は、男子48.0±5.6%、女子53.9±5.7%と、健常学生的心胸郭比と大きな差を呈する。また今回の検討でも、同年代での心胸郭比に関しては、体格、体型の関与が明らかで、細身の学生では心胸郭比が小さく、肥満傾向にある学生では心胸郭比が大きい傾向を示した。心胸郭比と血圧の間には何ら相関は認められず、正常血圧内の血圧値は、高血圧の場合と異なり、心拡大の因子になり得ないと考えられる。

2. 小心臓症例の運動負荷時呼吸循環動態と持久力について

小心臓の定義は、心胸郭比40%以下^{4,5)}、42%以下⁵⁾、37%以下¹⁸⁾と報告者によってまちまちであるが、今回我々は、本学学生的心胸郭比が平均値40.2%、最頻度値39%、最小値27%、最大値54%の正規分布を示したことを考慮し、頻度分布のうち10.01%を占めた心胸郭比35%以下を小心臓例と定義した。小心臓群の安静時血行動態に関しては、高橋¹⁸⁾ならびに当教室による報告¹⁹⁾がある。高橋らは工場勤務の成人男子より心胸郭比37%以下の19名(平均年齢33歳)を抽出し、健常成人男子47名を対照としてMモード心エコー図による検討を行った。その結果、小心臓群では左室の拡張末期径および収縮末期径が対照に比して有意に小さく、左室後壁厚と駆出分画は有意に大であり、一回拍出量、心拍出量は対照群との間に差を認めなかったとしている。それに対し、1985年、当教室の高橋は¹⁹⁾、心胸郭比40%以下を小心臓例と定義しての検討で、心エコー図法による左室拡張末期径、左室収縮末期径、左房

径、心室重量は、対照群に比し、小心臓群で有意に小さい値を示すものの、心内径、血行動態に対する体格の影響を考慮し、その数値を体表面積で補正すると、両群に差を認めないとしている。すなわち、小心臓群における小さな心室内径は、体重・体表面積が対照群に比して有意に小であることに由来するもので、体格に相応したものであるとした。

今回、健常学生的心胸郭比頻度分布において、下端10%を占める心胸郭比27%~35%までの症例を小心臓例と定義した本研究では、体表面積で補正した左室内径(S=23.4±2.6mm)は対照群(C=26.7±2.4mm)に比し有意に小さく、福山¹⁵⁾らの20~29歳までの健常成人の正常値(27.5±2.5mm)に比しても有意に小であった。当教室の高橋の報告と本報告との差の理由は、小心臓の定義によるものと考えられる。

以前より、小心臓症例では安静時の血行動態は正常であっても、運動時には心拍出量の相対的不足を来し、いろいろな愁訴の原因になるのではないかといわれている³⁾。しかし持久力を東大体力テストでみる限り、筋持久性(腕立伏臥)では小心臓群が好成績を示し、全身持久性(踏台昇降)では小心臓群と対照群の間に明らかな差は認めなかった。腕立伏臥において体重の少ない小心臓群が有利との結果であったが、青山ら⁶⁾の報告では、身長170cm、体重58kg~74kgの間では、腕立伏臥の得点に対し体重の影響は認められないとされている。踏台昇降に関しては、青山らの報告でも得点への体重の影響は認められていない。このように負荷レベルの低い踏台昇降では小心臓群・対照群間に差を認めず、より高い運動負荷レベルでの持久性能と呼吸循環動態の観察には自転車エルゴメーターによる多段階負荷が好都合である。

自転車エルゴメーターによる多段階運動負荷では、小心臓群は、安静時より対照群に比し心拍数が大であり、最大心拍数に到達するのも早い。体酸素消費量は、安静時には対照群が若干高値をとっているものの、運動負荷中には同一負荷におい

ては, 両群間に差を認めない. しかし, 小心臓群の最大負荷量は対照群に比し低く, 最大酸素摂取量 $VO_2 \max$ (本研究では peak $O_2/\text{lean body mass}$) は低値にとどまっている. 小心臓群では, 安静時乳酸濃度は対照群との差はないが, 運動開始と共に乳酸濃度の著明な上昇を認めた.

$VO_2 \max$ は O_2 が作業筋へ運搬される程度によって規定され, それには肺循環, 体循環ならびに alveo-capillary, tissue-capillary 間でのガス交換が大きく関与する. ことに心拍出量は $VO_2 \max$ と高い相関を持つことが知られている^{20,21}. 極端に小さな心胸郭比を呈する学生は, 体格的にはやせ型で, やせ型の体型では, 横隔膜が低位となり, 心臓が立位(垂直心)となって心横径が小さくなるとか, 心外膜下脂肪が少ないなどにより, 小さな心胸郭比を呈することも考えられるが, 我々の結果では, 心エコー図法によって求めた左室径そのものに明らかな差を認め, 実際に左室容量の小さいことが推察された. 小さな左室容積に伴う一回拍出量の低下は, 安静時・運動負荷時を通じ頻脈によって代償されているが, 早期に最大心拍数へ到達し, 最大負荷量は低値にとどまり, $VO_2 \max$ は低い. X 線上または心エコー図上測定される心臓の大きさを規定する因子に関しては, 前述の如く体重・年齢に大きく影響されることは明らかであるが, 年齢を一致させ, 体重で補正した後の差については, 遺伝的因子よりも, 日頃の運動歴・生活歴が大きく関与しているとされている²²⁻²⁴.

強度の高い運動では, 乳酸が筋中および血中に蓄積する. 乳酸が蓄積すると, 血液の PH が低下したり, グリコーゲンの分解が抑制されることなどにより, 運動をその強度では継続できなくなる. 従来, 安静から運動を始め, 強度を上げていくと, ある強度から血中乳酸濃度が急激な上昇を示すが, その点を示す値として lactate threshold (LT) という概念が使われていた. そして多くの報告が LT は $VO_2 \max$ よりも持久的競技との関係が強いとしている²⁷⁻²⁹. 因みに, Allena ら³⁰

は経験豊かな熟年ランナーと経験の浅い若年ランナーでは, 前者において年齢に伴う心拍数の低下をもたらす心拍出量低下により, 後者に比し 9% 低い $VO_2 \max$ を認めたにもかかわらず, 前者の LT が高く, 持久的競技においては同等の成績をおさめたと報告している. これはトレーニングによる血中乳酸上昇抑制効果である. しかし LT については, 血中乳酸がある時点から急に上昇するかどうか客観的に判断することが難しい場合や, 判定者によって結果が異なる場合もあるなど, 近年色々な問題点が出されている²⁵. 乳酸は生産される一方で, 運動中であっても酸化されるなどして除去されており, 血中乳酸濃度は産生量と除去量の差によって決まる³¹. Donovan & Brooks³² は, 持久的トレーニングをさせたラットでは, 運動中の乳酸の産生量は, 非トレーニングラットと差がないが, 乳酸の除去量が高く, そこで血中乳酸は, 非トレーニングラットよりも低濃度となると報告している. またトレーニングは, 血中乳酸の上昇抑制のみならず, 一回拍出量の増大³³・動静脈酸素較差の増大による $VO_2 \max$ の増大をもたらし, 持久性能力を高めることも知られている. 小心臓群で運動開始と共に著明な血中乳酸濃度の上昇を認めたことは, 小心臓においては, 運動トレーニングの機会が少なかったのではないかという考え方を示唆する.

今後の課題としては, 小心臓群と対照群における, 生活歴・運動歴の差の検討, 小心臓群におけるトレーニングが左室径, 血中乳酸濃度変化にもたらす効果の解明があげられる.

要 約

胸部 X 線写真上, 心陰影の小さいいわゆる小心臓 (small heart) の運動時血行動態について, 健常大学生を対象に検討を行った.

1. 東京大学 1987 年 (昭和 62 年) 度入学生 3,461 名 (男子 3,097 名, 女子 364 名) の心胸郭比は, 平均値 $40.2 \pm 3.6\%$ の正規分布を示し, 性別による差は認めなかった.

2. 小心臓の定義を心胸郭比分布の下端 10% を占める心胸郭比 35% 以下の症例と定義した場合, 小心臓群 (n=134) と心胸郭比 45~50% の対照群 (n=136) の両群間に, 垂直とび, 反復横とび, 腕立伏臥腕屈伸, 踏台昇降運動の 4 種目で構成される「東大体力テスト」では, 入学当初, 第一学年終了時とも有意な差を認めなかった。

3. 小心臓群 (S) 14 名と対照群 9 名に行った自転車エルゴメーターによる多段階運動負荷では, 対照群が全例 200 W 負荷を完了し得たのに対し, 小心臓群では 125 W で 3 人, 150 W で 3 名, 175 W で 8 名が疲労のため運動を中止した。小心臓群では安静時より心拍数が対照群に比し大であり, 負荷早期に最大心拍数に到達した。また血中乳酸値は小心臓群において負荷早期より上昇していた。体酸素消費量は同一負荷に対してはほぼ同一の値を示したが, 最大負荷量が小心臓群にて低く, 最大酸素消費量は小心臓群にて低値をとった。心エコー図法による左室拡張末期径は, 体表面積で補正しても, なお小心臓群にて小であった。

以上より, ① 小心臓群の定義は年齢により再考される必要がある。② 小心臓群における運動負荷時血行動態については, 低い運動負荷ではほぼ正常と考えられるが, 強度の運動負荷では著明な血中乳酸濃度の上昇を認め, 小心臓群ではトレーニングの機会が少なかったのではないかと考えられる。

本研究の一部は難波照男記念健康づくり研究所よりの助成金によった。また本研究の実行にあたり, 東京大学保健センター健康管理室, 東京大学教育学部体育学健康教育学科, 東京大学教養学部体育学科の諸先生より多大なる御協力をいただいた事に対し深謝致します。

文 献

- 1) Master AM: Neurocirculatory asthenia due to small heart. *Med Clin N America* **28**: 577-588, 1944
- 2) 大鈴弘文: ダ・コスタ症候群について。 *臨床医報* **1**: 217-219, 1947
- 3) 木村栄一: 起立性調節障害 (OD) と神経循環虚弱症 (NCA) と心臓神経症との異同について。 *治療薬報* **696** 号: 8-10, 1969
- 4) 阿部忠良, 大國真彦: 起立性調節障害 (OD) と small heart の関係について。 *自律神経* **13**: 131-137, 1976
- 5) 阿部忠良: 小心臓症候群。 *日本臨床* **40**: 970-917, 1982
- 6) 青山昌二, 平田久雄, 浅見俊雄, 遠藤郁夫: 東大体力テストの得点化に関する研究。 *東京大学教養学部体育学紀要* **10** 号: 40-77, 1976
- 7) Sahn DJ, DeMaria A, Kisslo J, Weyman A (The Committee on M-Mode Standardization of the American Society of Echocardiography): Recommendation regarding quantitation in M-mode echocardiography: Results of survey of echocardiographic measurements. *Circulation* **58**: 1072-1083, 1978
- 8) Yoshikawa J, Kato H, Yanagihara K, Okumachi F, Takagi Y, Yoshida K, Asaka T, Inanami H: Criteria for the diagnosis of prolapsed mitral valve using phonocardiography and echocardiography. *J Cardiogr* **12**: 773-777, 1982 (in Japanese)
- 9) 杉浦紳之, 草間朋子, 吉沢康雄: ヒューマンカウンタによる体内カリウム量の算定および体内カリウム量と体格指標との関係についての考察。 *日本栄養・食糧学会誌* **39**: 265-272, 1986
- 10) 元田 憲, 中越伸子, 赤池幸子, 木場深志, 野村進, 杉原範彦: 健康大学生における心胸郭比の検討。第 22 回全国大学保健管理研究集会報告書。242-246, 昭和 59 年度 (1984)
- 11) 元田 憲, 中越伸子, 赤池幸子, 木場深志, 野村進, 新田 裕: 健康大学生の心電図および心胸郭比の検討。第 23 回全国大学保健管理研究集会報告書 199-202, 昭和 60 年度 (1985)
- 12) 杉下靖郎, 小関 迪, 松田光生, 山口 徹, 田村勤, 伊藤 巖, 浅井克晏: スポーツ心臓の臨床—心エコー図所見を中心に—。 *日本医事新報* No 2891, 3-10, 1979
- 13) 柴田 博, 松崎俊久, 土田恵子, 斎藤紅仁: 老年者の心胸郭係数に関する考察。 *日本老年医学会雑誌* **13**: 406-410, 1976
- 14) Milne JS, Lander IJ: Heart size in older people. *Br Heart J* **36**: 352-356, 1974
- 15) Fukuyama T, Yoshimura R, Mori M, Orita Y, Matsuguchi H, Koiwaya Y, Kuroiwa A, Nakamura M, Hirata T, Shibahara T: Influence of age, sex, height, weight and body surface area on values of echocardiographic measurements in normal Japanese adults. *J Cardiogr* **7**: 257-265, 1977 (in Japanese)

- 16) 佐藤秀幸, 石田良雄, 安東明夫, 大河内寿一, 尾崎仁, 松本正幸, 松山泰三, 藤原 誠, 西岡浩嗣, 島津 敬, 井上通敏, 鎌田武信, 安井 潔, 福島正勝: 健康人の左室サイズの分散とその規定因子. 日超医講演論文集 **46**: 713-714, 1985
- 17) Henry WL, Gardin JM, Ware JH: Echocardiographic measurements in normal subjects from infancy to old age. *Circulation* **62**: 1054-1061, 1980
- 18) 高橋通子, 本多瑞枝, 西本良博, 田口喜代継, 山崎茂, 宿谷正毅, 増田義昭, 稲垣義明: 小心臓の超音波所見について. 日超医講演論文集 **40**: 385-386, 1982
- 19) Takahashi T, Sakamoto T, Hada Y, Amano K, Yamaguchi T, Takikawa R, Hasegawa I, Takahashi H, Sugimoto T: Echocardiographic features of small heart. *J Cardiogr* **15**: 867-875, 1985 (in Japanese)
- 20) Miyamura M: A study on endurance with respect to cardiac output. *Res J Phys Ed* **11**: 69-76, 1966 (in Japanese)
- 21) Higginbotham MB, Morris KG, Williams RS, Coleman E, Cobb FR: Physiologic basis for the age-related decline in aerobic work capacity. *Am J Cardiol* **57**: 1374-1379, 1986
- 22) Klissouras V, Pirnay F, Petit JM: Adaptation to maximal effort: Genetics and age. *J Appl Physiol* **35**: 288-293, 1973
- 23) Adams TD, Yanowitz FG, Fisher AG, Ridges JP, Nelson AG, Hagan AD, William RR, Hunt SC: Heritability of cardiac size: An echocardiographic and electrocardiographic study of monozygotic and dizygotic twins. *Circulation* **71**: 39-44, 1985
- 24) Theriault G, Diano R, Leblanc C, Perusse L, Landry F, Bouchard C: The role of heredity in cardiac size: An echographic study on twins, brothers and sisters, and sibs by adoption. *Med Sci Sports Exerc* **18**: 253, 1986 (abstr)
- 25) Yeh MP, Gardner RM, Adams TD, Yanowitz FG, Crapo RO: "Anaerobic threshold": Problems of determination and validation. *J Appl Physiol* **55**: 1178-1186, 1983
- 26) Denis C, Fouquet R, Poty P, Geysant A, Lacour JR: Effects of 40 weeks of endurance training on the anaerobic threshold. *Int J Sports Med* **3**: 208-214, 1982
- 27) Connett RJ, Gayeski TET, Honig CR: Energy sources in fully aerobic restwork transitions: A role for glycolysis. *Am J Physiol* **284**: H922-H929, 1982
- 28) Kumagai S, Tanaka K, Matsuzaka A, Hirakoba K, Asano K: Relationships of the anaerobic threshold with the 5 km, 10 km, and 10 miles races. *Eur J Appl Physiol* **49**: 13-23, 1982
- 29) Sjödin B, Jacobs I: Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sport Med* **2**: 23-26, 1981
- 30) Allen WK, Seals DR, Hurley BF, Ehsani AA, Hagberg JM: Lactate threshold and older endurance athletics. *J Appl Physiol* **58**: 1281-1284, 1985
- 31) Stanley WC, Gertz EW, Wisneki JA, Morris DL, Neese RA, Brooks GA: Systemic lactate kinetics during graded exercise in man. *Am J Physiol* **249**: E595-E602, 1985
- 32) Donovan CM, Brooks GA: Endurance training affects lactate clearance, not lactate production. *Am J Physiol* **244**: E83-E92, 1983