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

伊 藤 真 也* 伊 東 紘 一** 黒 木 茂 広***
阿 部 徳 之 助**** 渡 辺 慶 寿****

EFFECT OF SHORT-TERM PHYSICAL TRAINING ON LEFT VENTRICULAR DIMENSIONS AND FUNCTION

SHINYA ITOH, KOUICHI ITOH, SHIGEHIRO KUROKI,
TOKUNOSUKE ABE AND YOSHIHISA WATANABE

To assess the effects of short term physical training on left ventricular dimensions and function, 12 young sedentary subjects were studied with echocardiography before and after 10 weeks of endurance physical conditioning consisted of a 3000 meter running protocol 3 days a week.

Exercise training led to an increase in maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2\max}$: 48.3 ± 4.4 versus 60.0 ± 6.2 ml/kg/min: $p < 0.001$). This functional improvement, however, was not accompanied by any significant change in resting echocardiographic measurements including left ventricular dimensions, ejection fraction and mean velocity of circumferential fiber shortening.

On semi-supine exercise echocardiography no significant change was revealed after 10 weeks of physical training.

This study suggests that short term physical training in young subjects result in significant increase in $\dot{V}O_{2\max}$ but this functional improvement is not always associated with significant alterations in left ventricular dimensions and function as observed by echocardiogram.

(J. Physical Fitness Japan 1984, 33 : 78-84)

I. 結 言

運動選手にみられる心拡大は古くから注目され、その性質をめぐって多くの研究がなされてきた⁵⁾⁹⁾。この Athletic heart syndrome と呼ばれる適応状態¹⁴⁾は身体トレーニングに基づく二次的变化と考えられているが遺伝的素因の関与や必要とされる運動負荷の強度など未だ不明確な点が多い。また虚血性心疾患の予防とリハビリテーションにおける身体トレーニングの意義が認識されるようになってこの問題への関心はさらに高まってきた。近年、超音波診断装置を用いて心臓

の形態的、機能的側面を非侵襲的に評価することが可能となりこの方面に多くの知見が導かれた¹¹⁾。

心エコー図法を用いた研究を概観すると、運動選手と一般人を比較する cross-sectional study では心形態についてはほぼ一致した観察結果が得られているが心機能についての報告は様々である。被検者の心形態、心機能をトレーニング前後で比較する longitudinal study でも一定の結果は得られていない。そこで我々は新しい心機能解析法としての運動負荷心エコー図法を用い、比較的短期間の身体トレーニングが心形態・機能に及ぼす

* 旭川医科大学小児科
** 自治医科大学臨床病理部
*** 鹿児島大学医学部附属病院
**** 自治医科大学保健体育研究室

Department of Pediatrics, Asahikawa Medical College
Department of Clinical Pathology, Jichi Medical School
Medical Center, Kagoshima University
Department of Physical Education, Jichi Medical School

影響について分析を試みた。

II. 対象と方法

一般診察上健康で特別の競技歴を有しないJ医科大学男子学生12名(年齢18~19才)を対象に昭和53年5月から7月にかけて10週間にわたり身体トレーニングを実施させた。トレーニングとしては週3回の3000m走を採用し最大酸素摂取量の80%の強度となる様にスピードを指示し実施した。トレーニング開始6週目には最大酸素摂取量にあわせてトレーニング強度を再調整しその後10週目までこの強度を維持した。その他の日常生活には特に制限を加えなかった。

最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\max$)はMonark社製自転車エルゴメーターを用い漸増負荷法で、フクダ社製BMS-600エレクトロメタボラーによる呼吸ガス連続分析値と換気量から算出した。

運動負荷、および安静心エコー図は下記の要領で得た。体位はエルゴメーターと椅子を組み合わせた装置を用い45度の半坐位とした。使用機器はAloka製SSD-100およびHoneywell社製のstripchart recorderで紙送り速度を100mm/secとした。2.25MHzの探触子を第3~4肋間胸骨左縁にあて僧帽弁前尖がわずかに認められる位置で心室中隔と左室後壁のエコーが明瞭に描出されるように設定した。同時に心電図、頸動脈波、心音図を記録し、左室拡張末期内径(EDD)、左室

収縮末期内径(ESD)、左室後壁厚(PWT)、左室駆出時間(LVET)を計測した。これらから以下の指標を算出した。すなわち駆出径(EDD-ESD)、内径変化率($(EDD-ESD)/EDD$)、mean velocity of circumferential fiber shortening($mVcf: (EDD-ESD)/EDD \times LVET$)である(図1)。血圧は同時に上腕にて聴診法で測定した。これらの測定は安静時と運動負荷時に合計3回にわたり下記の手順でおこなった。検査前30~60分間仰臥位で安静を保った後、半坐位にて安静測定値を得た。その後エルゴメーターを60rpmの回転数でこいで負荷を漸次増加させながら心拍数を観察し、それが100拍/分になったところで負荷を固定した。約1~2分間、心拍数の変動が ± 3 拍/30秒以内になっていることを確認し心エコー図とその他の記録を得た(運動負荷レベル1: Ex. level 1)。続いてさらに負荷を漸増し心拍数が120拍/分になった時点で同様に記録をおこなった(運動負荷レベル2: Ex. level 2)。

III. 結 果

身長、体重と体表面積はトレーニング前後で差がみられなかった(表1)。 $\dot{V}O_2\max$ はトレーニング後に有意の増加を示した($P<0.001$: 表2, 図2)。Ex. level 1とEx. level 2を得るのに要した負荷(Physical Working Capacity: PWC)は10週後には増加傾向をみせたが、統計的に有意

Fig. 1. Echocardiographic measurements of the left ventricle (paper speed 100 mm/sec). EDD=end diastolic dimension; ESD=end systolic dimension; LVET=left ventricular ejection time; PWT=left ventricular posterior wall thickness; CAP=carotid arterial pulse tracing.

Table 1. Physical characteristics before and after training (Mean $\pm$ SD)

Before Training		After Training	P
Height (cm)	173.9 $\pm$ 4.6	174.0 $\pm$ 4.5	} NS
Weight (kg)	64.5 $\pm$ 5.7	63.4 $\pm$ 4.9	
BSA (m ²)	1.77 $\pm$ 0.09	1.76 $\pm$ 0.09	

NS : not significant

Table 2. $\dot{V}O_2$ max, physical working capacity and hemodynamic data (Mean $\pm$ SD)

Before Training		After Training	P
At rest			
$\dot{V}O_2$ max (ml/kg/min)	48.3 $\pm$ 4.4	60.0 $\pm$ 6.2	P< 0.001
HR (beats/min)	62.7 $\pm$ 6.0	63.9 $\pm$ 8.7	NS
BP (mmHg)			
syst. /diast.	119.6 $\pm$ 7.4/70.0 $\pm$ 8.1	114.6 $\pm$ 7.8/68.4 $\pm$ 8.0	NS
Exercise level 1			
BP			
syst. /diast.	134.6 $\pm$ 10.9/68.0 $\pm$ 9.2	135.9 $\pm$ 11.1/65.8 $\pm$ 9.1	NS
PWC (kpm/min)	308 $\pm$ 85	409 $\pm$ 149	NS
Exercise level 2			
BP			
syst. /diast.	149.2 $\pm$ 10.9/66.8 $\pm$ 7.8	157.4 $\pm$ 17.9/70.6 $\pm$ 7.7	NS
PWC	476 $\pm$ 83	592 $\pm$ 164	NS

Fig. 2. Maximal oxygen uptake and physical working capacity, before and after exercise training.

ではなかった (表2, 図2)。安静時の心拍数と血圧も10週間後には有意な変化を示さなかった。

心エコー図より求めた各指標を表3と図3に示す。ただしトレーニング前の Ex. level 1 と Ex. level 2 では体動などの影響で良好な記録を得られず測定不能とした例がそれぞれ2例と5例あった。トレーニング後の記録でもそれぞれ2例と7例が計測不能であった。mVcf は安静時から運動負荷時へと増加したがトレーニング前後で差はみられなかった。また体動や呼吸の影響で Ex. level 2 では頸動脈波と心エコー図を同時に描出できず mVcf を得ることができなかった。なお心エコー図の計測値は原則として連続する3心拍以上の各測定値の平均であらわした。以上、各指標ともトレーニング前後で有意の変化を認めなかった。

IV. 考 察

身体トレーニングが循環系に与える影響について

Table 3. Echocardiographic Data (Mean $\pm$ SEM)

	Before Training			After Training		
	At rest	Ex. level 1	Ex. level 2	At rest	Ex. 1	Ex. 2
EDD (mm)	47.4 $\pm$ 0.7	49.7 $\pm$ 0.9	51.3 $\pm$ 1.3	48.2 $\pm$ 0.8	49.4 $\pm$ 0.9	51.1 $\pm$ 1.2
ESD (mm)	32.8 $\pm$ 1.1	29.4 $\pm$ 1.1	27.7 $\pm$ 1.5	34.3 $\pm$ 0.9	30.8 $\pm$ 1.5	32.3 $\pm$ 2.0
PWT (mm)	10.1 $\pm$ 0.4			10.7 $\pm$ 0.4		
SD (mm)	14.5 $\pm$ 0.7	20.3 $\pm$ 0.8	23.3 $\pm$ 0.9	13.9 $\pm$ 0.6	18.6 $\pm$ 1.2	18.6 $\pm$ 1.6
SD/EDD	0.31 $\pm$ 0.02	0.41 $\pm$ 0.02	0.46 $\pm$ 0.02	0.29 $\pm$ 0.01	0.38 $\pm$ 0.03	0.37 $\pm$ 0.03
mVcf (circ/sec)	1.00 $\pm$ 0.06	1.49 $\pm$ 0.09	*	1.01 $\pm$ 0.06	1.44 $\pm$ 0.11	*

* ; undetected.

Fig. 3. Left ventricular dimensions and functional indexes derived from echocardiograms at rest and exercise level-1. Data at exercise level-2 is not displayed.

ては従来から様々な議論がなされてきた⁵⁾⁹⁾。運動選手を対象とした研究からは「スポーツ心臓 (Athletic heart)」といわれる生理的適応状態が胸部エックス線写真や心電図上の特徴とともに明らかにされている²⁾¹⁴⁾¹⁹⁾。なかでも胸部エックス線写真上の心拡大についての研究は歴史が古く、競技種目によって心拡大の程度が異なることが1920年代にすでに明らかにされている¹⁵⁾。

運動選手と一般人を比較する cross sectional study では運動選手に左心拡張と心筋容量の増大を認める点で諸家の報告は一致している⁵⁾⁹⁾¹³⁾²⁰⁾²¹⁾²²⁾²³⁾²⁴⁾。しかし安静時心収縮能については亢進

状態¹⁷⁾²²⁾、不変²³⁾³⁰⁾そして低下状態¹³⁾²¹⁾²⁷⁾と様々でスポーツ心臓の特徴として確立していない。身体トレーニング前後で比較をおこなう longitudinal study でも心拡大を認めたとするもの⁶⁾⁸⁾²⁶⁾、認めなかったもの⁷⁾¹⁰⁾²⁸⁾があり、安静時心収縮状態もトレーニング後に亢進したとする報告⁶⁾²⁵⁾²⁶⁾、不変とするもの⁸⁾¹⁰⁾²⁸⁾など一定していない。

Frick らは18~19才の成人20人を対象に2ヶ月のトレーニングを行い6%の $\dot{V}O_2\text{max}$ 増加があったが胸部エックス線写真上で心拡大を認めなかったことを報告した¹⁰⁾。Wolfe らも6ヶ月の身体トレーニングにより $\dot{V}O_2\text{max}$ は18%増加した

が心エコー図上の指標には変化がなかったと報告している²⁸⁾。これらの理由としては、トレーニング強度が小さかったこと¹⁰⁾と被検者の“trainability”，つまり心循環系の適応力に問題がある可能性²⁸⁾がそれぞれ示唆されている。

本研究では10週間の身体トレーニングで約25%の $\dot{V}O_2\max$ 増加を認めたが心形態・機能には有意な変化がみられなかった。 $\dot{V}O_2\max$ 増加率を目安にしてトレーニング強度を考えると本研究の場合は約25%で他の報告⁶⁾¹⁰⁾²⁶⁾²⁸⁾に比しても少ないが、その持続期間は10週間であり比較的短いといえる。従ってスポーツ心臓の成立に関与する負荷因子としてはトレーニング強度だけでなくその持続期間も重要と考えられる。一方、心循環系の適応力には年齢依存性があるといわれ若年者ほど身体トレーニングに対しすぐれた適応を示すとされている¹⁰⁾²⁸⁾。古瀬ら¹²⁾も女子ハンドボール部員の胸部エックス線写真像から18才の高校卒業時にすでに心拡大を認めている。また Kobayashi らによると運動選手と一般少年との $\dot{V}O_2\max$ の差は身体成長の極期をすぎるところに急に拡大するという¹⁸⁾。これらの点からスポーツ心臓の形成には思春期前後のある期間の身体運動が重要な意味をもつと考えられる。今回の研究では年齢からみると被検者の適応能は大きいと思われたが心臓自体の変化は確認されなかった。これは若年者においても10週間前後の短期効果としての心臓の適応変化はみられないか、あったとしても極めて軽微であることを示している。今後はスポーツ心臓形成に関与する年齢、負荷因子としてそれぞれ身体成長期と長期トレーニング効果とに注目する必要がある。

Clausen ら⁴⁾⁵⁾はトレーニング効果の中に占める末梢の要素について詳細にのべている。それによるとトレーニング効果としては心臓だけでなく筋肉を含む末梢領域の関与を考慮する必要があるという。短期間の身体トレーニングで心形態上の微少変化を認めたとした DeMaria ら⁶⁾もその生物学的意義は不明であると述べており、本研究からも短期間の身体トレーニングでは末梢の適応変化が重要である可能性が示唆された。

安静時にはとらえにくい運動時心機能、心収縮予備能を評価する方法として動的負荷心エコー図

法が注目されている¹⁾²⁷⁾。今回我々の用いた方法は従来と異なり被検者を45度の半坐位にするものである。また心拍数が異なる場合は心形態・機能の比較が難しくなる為負荷を変化させて同一心拍数での比較をおこなった¹⁶⁾²⁹⁾。その結果、運動時心機能・形態や体血圧にはトレーニング前後で有意の差を認めなかった。しかしトレーニング後には同一心拍数に達するのにより大きな負荷を必要とする傾向がみられた。

運動負荷心エコー図法の問題点は体動や呼吸の影響により測定不能例が出現することである。Amon ら¹⁾は坐位で運動負荷をした場合に測定不能例が80%に達すると述べている。今回の実験では45度半坐位であり坐位に比較して体動抑制が容易と思われたが、それでも約20%の測定不能例を認め、強度運動負荷になるとその傾向は一層顕著であった。今後はさらに生理的運動状態に近くより再現性の優れた方法の開発が望まれる。

心エコー図はまた理論的にも方法論的にも測定値に固有の誤差を含んでいる。Clark ら³⁾は弁膜疾患の病的肥大心を対象に心エコー図の再現性の目安を調べ、 $\pm 3\text{ mm}$ 以上の左室拡張末期内径の変化および $\pm 5.5\%$ 以上の内径変化率の差を生物学的に有意としている。この事は心エコー図上の小さな変化の解釈には充分慎重でなくてはならないことを示している。特にトレーニング効果を論じる場合には微少変化が問題となる場合が多いと考えられるのでより一層再現性を高める工夫と厳密な実験計画が必要である¹¹⁾。

V. 結 語

若年成人男性に10週間の身体トレーニングを実施させ、その前後で心エコー図等を記録し次のような結果を得た。

1. 最大酸素摂取量は有意な増加を示した。
2. 安静時心形態・心機能には有意な変化を認めなかった。
3. 運動負荷心エコー図法ではトレーニング前後で有意な変化を認めなかった。

本論文の一部は第33回日本体力医学会総会（長野、1978）において発表した。

（受付 昭和58年8月13日）

文 献

- 1) Amon, K.W., and Crawford, M.H. (1979) : Upright exercise echocardiography. *J. Clin. Ultrasound.*, **7**, 373-376.
- 2) Chapman, J.H. (1977) : Intermittent left bundle branch block in the athletic heart syndrome. *Chest*, **71**, 776-779.
- 3) Clark, R.D., Korcuska, K., and Cohn, K. (1980) : Serial echocardiographic evaluation of left ventricular function in valvular disease, including reproducibility guidelines for serial studies. *Circulation*, **62**, 564-575.
- 4) Clausen, J.P., Klausen, K., Rasumussen, B., and Trap-Jensen, J. (1973) : Central and peripheral circulatory changes after training of the arms or legs. *Am. J. Physiol.*, **225**, 675-682.
- 5) Clausen, J.P. (1977) : Effect of physical training on cardiovascular adjustment to exercise in man. *Physiol. Rev.*, **57**, 779-815.
- 6) DeMaria, A.N., Neumann, A., Lee, G., Fowler, W., and Mason, D.T. (1978) : Alterations in ventricular mass and performance induced by exercise training in man evaluated by echocardiography. *Circulation*, **57**, 237-244.
- 7) Ditchey, R.V., Watkins, J., McKirnan, M.D., and Froelicher, V. (1981) : Effects of exercise training on left ventricular mass in patients with ischemic heart disease. *Am. Heart J.*, **101**, 701-706.
- 8) Ehsani, A.A., Hagberg, J.M., and Hickson, R.C. (1978) : Rapid changes in left ventricular dimensions and mass in response to physical conditioning and deconditioning. *Am. J. Cardiol.*, **42**, 52-56.
- 9) Frick, M.H. (1976) : Long-term excess physical activity and central haemodynamics in man. *Adv. Cardiol.*, **18**, 136-143.
- 10) Frick, M.H., Sjögren, A.-L., Peräsalo, J., and Pajunen, S. (1970) : Cardiovascular dimensions and moderate physical training in young men. *J. Appl. Physiol.*, **29**, 452-455.
- 11) Froelicher, V.F. (1980) : Echocardiographic studies evaluating the effects of exercise training on the heart. *Adv. Cardiol.*, **27**, 51-57.
- 12) 古瀬 信, 伊藤真也, 大沢 忠 (1979) : スポーツ選手の心陰影, 日本医学放射線学会雑誌(抄録集), **4**.
- 13) Gilbert, C.A., Nutter, D.O., Felner, J.M., Perkins, J.V., Heymsfield, S.B., and Schlant R.C. (1977) : Echocardiographic study of cardiac dimensions and function in the endurance-trained athlete. *Am. J. Cardiol.*, **40**, 528-533.
- 14) Gott, P.H., Roselle, H.A., and Crampton, R.S. (1968) : The athletic heart syndrome. *Arch. Intern. Med.*, **122**, 340-344.
- 15) Herxheimer, H. (1929) : Untersuchungen über die Änderung der Herzgröße unter dem Einfluss bestimmter Sportarten. *Z. Klin. Med.*, **111**, 376-393.
- 16) Hirshleifer, J., Crawford, M., O'Rourke, R.A., and Karliner, J.S. (1975) : Influence of acute alterations in heart rate and systemic arterial pressure on echocardiographic measures of left ventricular performance in normal human subjects. *Circulation*, **52**, 835-841.
- 17) Ikäheimo, M.J., Palatsi, I.J., and Takkunen, J.T. (1979) : Noninvasive evaluation of the athletic heart. *Am. J. Cardiol.*, **44**, 24-30.
- 18) Kobayashi, K., Kitamura, K., Miura, M., Sodeyama, H., Murase, Y., Miyashita, M., and Matsui, H. (1978) : Aerobic power as related to body growth and training in Japanese boys. *J. Appl. Physiol.*, **44**, 666-672.
- 19) Lichtman, J., O'Rourke, R.A., Klein, A., and Karliner, J.S. (1973) : Electrocardiogram of the athlete. *Arch. Intern. Med.*, **132**, 763-770.
- 20) Morganroth, J., Maron, B.J., Henry, W.L., and Epstein, S.E. (1975) : Comparative left ventricular dimension in trained athletes. *Ann. Intern. Med.*, **82**, 521-524.
- 21) Nishimura, T., Yamada, Y., and Kawai, C.

- (1980) : Echocardiographic evaluation of long-term effects of exercise on left ventricular hypertrophy and function in professional bicyclists. *Circulation*, **61**, 832-840.
- 22) Parker, B.M., Londeree, B.R., Cupp, G.V., and Dubiel, J.P. (1978) : The noninvasive cardiac evaluation of long-distance runners. *Chest*, **73**, 376-381.
- 23) Roeske, W.R., O'Rourke, R.A., Klein, A., Leopold, G., and Karliner, J.S. (1976) : Noninvasive evaluation of ventricular hypertrophy in professional athletes. *Circulation*, **53**, 286-292.
- 24) Scheuer, J., and Tipton, C. (1977) : Cardiovascular adaptations to physical training. *Ann. Rev. Physiol.*, **39**, 221-251.
- 25) Sheps, D.S., Gottlieb, S., Ernst, J.C., Kallos, N., Briese, F.W. Garcia, E., Myerburg, R.J., and Castellanos, A. (1979) : Effect of physical conditioning program upon left ventricular ejection fractions determined serially by a noninvasive technique. *Cardiology*, **64**, 256-264.
- 26) Stein, R.A., Michielli, D., Diamond, J., Horwitz, B., and Krasnow, N. (1980) : The cardiac response to exercise training ; echocardiographic analysis at rest and during exercise. *Am. J. Cardiol.*, **46**, 219-225.
- 27) 杉下靖郎, 小関 迪, 新富芳明 (1978) : 運動負荷と心エコー図法, *Jap. Circ. J.*, **42**, 38-39.
- 28) Wolfe, L.A., Cunningham, D.A., Rechnitzer, P.A., Nichol, P.M. (1979) : Effects of endurance training on left ventricular dimensions in healthy men. *J. Appl. Physiol.*, **47**, 207-212.
- 29) Wolfe, L.A., Cunningham, D.A., Davis, G. M., and Rosenfeld, H. (1978) : Relationship between maximal oxygen uptake and left ventricular function in exercise. *J. Appl. Physiol.*, **44**, 44-49.
- 30) Zeldis, S.M., Morganroth, J., and Rubler, S. (1978) : Cardiac hypertrophy in response to dynamic conditioning in female athletes. *J. Appl. Physiol.*, **44**, 849-852.