

# 運動の競技力と左室の形態と 機能の関連について

大西 祥平\*      山崎 元\*      大林千代美\*  
鈴木 義浩\*      関原 敏郎\*      半田俊之介\*\*

## 目 的

長期に亘る運動が、心臓血管系にどのような影響を及ぼすかについては、スポーツ心臓という言葉で古くから知られている<sup>1, 2, 3)</sup>。有酸素系運動を主体とした選手の心臓形態の特徴として、心臓の内容積の増大と共に心臓の筋肉の肥厚が挙げられる。このような心臓の、特に左室の形態の変化は過去の運動歴や遺伝的な因子などが関与している。今回我々は、有酸素系運動を主とした選手の心臓の形態と機能が、競技レベルにより差異がみられるかどうか、心エコー図法を用い検討した。

## 対 象

有酸素系運動選手35例を対象とした。競技レベルにおいてポートのオリンピック選手である9例を well trained 群 (WT群)、大学の体育会系運動選手で特に全日本クラスでな

い26例を Trained 群 (T群) とした。T群の競技種目の内訳は陸上競技、水泳、バドミントン等である。

## 方 法

超音波断層心エコー図法を用い、仰臥位安静時と自転車エルゴメータを用いて運動負荷を行なった。安静時および運動時の各2時点での心臓の形態と機能を比較した。

### 1) 超音波心エコー図法

超音波断層心エコー図は東芝製モデルSS H-11Aを用いて記録した。傍胸部部左縁、第3又は4肋間にて左室短軸像の僧帽弁直下腱索部においてMモード心エコー図を得、ラインスキャンレコーダLSR-20Bにて記録した。紙送り速度は毎秒5cmである。得られた心エコー図において右室側中隔、左室側中隔、心内膜側後壁、心外膜側後壁各々をデジタルタイザーによりトレースし、マイクロコンピュータに入力し画像解析を行った。デジタル画像のサンプリング間隔は10msecである。心室中隔厚 (IVSTh)、後壁厚 (PWTh)、左室拡張期径 (LVIDD) を心電図のRの頂

\* 慶應義塾大学保健管理センター  
同スポーツ医学研究センター

\*\* 慶應義塾大学医学部内科

点, 収縮末期径 (LV I D S) を左室内径の最も小さい時点とした。左室内径短縮率 (F S) は拡張末期径から収縮末期径を差し引き, その値を拡張末期径で除した値とした。

$$F S = (L V I D D - L V I D S) / L V I D D$$

左室拡張末期容積および収縮末期容積 (L V E D V, L V E S V) は Pombo 法を用い計算し, 左室一回駆出量 (S V) は拡張末期容積から収縮末期容積を差し引いた値を用いた。心拍出量 (C O) は一回駆出量に心拍数を乗じたものとした。左室心筋重量は Devereux と Reichek の式を用いた。

$$L V M(\text{grams}) = 1.04 \times ((I V S T h + P W T h + L V I D D)^3 - L V I D D^3) - 13.6$$

左室駆出時間 (E T) は

$$E T = 52.7 - 1.09 \times H R$$

にて計算した。左室内周平均短縮速度 (mean Vcf) を

$$\text{mean Vcf} = (L V I D D - L V I D S) / L V I D D / E T$$

の式より求めた。デジタイズした画像から得

られた左室内径を一次微分し, その微分値 (dD/dt) を瞬時の左室内径で除した値 (dD/dt/D) を計算した。その最大値を左室内周最大短縮速度 (max Vcf), 最小値を急速流入期の左室最大拡張速度 (peak negative dD/dt/D) とした。

## 2) 運動負荷法

運動負荷は Monark 社製臥位自転車エルゴメータを用いて行った。運動は25ワットの負荷量から開始し, 3分毎25ワットずつ負荷量を増加させ, 心拍数が100前後上昇した時点にてMモード心エコー図を記録し, 運動時心エコーとした。

統計学的処理には T 群と WT 群, 各2群においてノンパラメトリックテストの順位付符号検定および各群の運動負荷前後の各2点間において順位和検定差を用い検討し, P < 0.05をもって有意差ありと判定した。

## 結 果

対象者の年齢は19才から25才の範囲で, 身

Table 1

	Well Trained	Trained
No.	9	26
Body surface area, m <sup>2</sup>	1.97 ± 0.07*	1.79 ± 0.1
Resting heart rate, beat/min	59.2 ± 4.7	59.8 ± 12.8
Resting blood pressure, mmHg		
systolic	132.7 ± 12.4	130.1 ± 12.5
diastolic	66.8 ± 7.4	66.2 ± 8.7
Exercise heart rate, beat/min	93.0 ± 10.9	96.9 ± 12.2
Exercise blood pressure, mmHg		
systolic	132.7 ± 12.4	144.6 ± 13.2
diastolic	69.3 ± 8.0	77.2 ± 9.6

Values are mean ± SD, \* = p < 0.05 vs trained

運動の競技力と左室の形態と機能の関連について

Table 2

	Well Trained	Trained
Resting LV internal diameter		
diastolic	54.2±3.6*	51.6±3.5
systolic, mm	33.2±3.0	33.7±3.3
Exercise LV internal diameter		
diastolic	55.7±4.3	52.0±3.3
systolic, mm	33.4±1.1	33.4±2.9
Resting posterior wall		
thickness, mm	11.7±0.8*	10.7±1.0
Exercise posterior wall		
thickness	11.2±1.1	11.0±1.4
Resting LV volume index		
diastolic, ml	85.7±16.6	81.5±14.9
Exercise LV volume index		
diastolic, ml	93.0±19.6	83.5±13.4
Resting LV mass index, g/m <sup>2</sup>	163±21.8*	148.8±42.5
Exercise LV mass index, g/m <sup>2</sup>	161.8±27.0	149.9±30.4

LV; left ventricle                      Values are mean±SD, \* = p<0.05 vs trained

Table 3

	Well Trained	Trained
Resting Fractional shortening, %	38.6±3.6*	34.5±4.5
Exercise Fractional shortening, %	40.3±3.6##	35.5±3.8
Resting Cardiac index, L/min/m <sup>2</sup>	3.9±0.7	3.4±0.9
Exercise Cardiac index, L/min/m <sup>2</sup>	6.8±1.9##	5.9±1.0##
Resting meanVcf, circ/sec	1.34±0.13*	1.20±0.16
Exercise meanVcf, circ/sec	1.60±0.16**	1.44±0.15##
Resting maxVcf, circ/sec	2.54±0.53	2.29±0.43
Exercise maxVcf, circ/sec	2.89±0.51#	2.61±0.38##
Resting stress, mmHg/cm <sup>2</sup>	34.7±7.6	41.8±9.7
Exercise stress, dyne/cm <sup>2</sup>	33.9±6.2	40.6±3.6
Resting maximal LV diameter		
lengthening velocity, /sec	6.7±1.6	6.6±2.3
Exercise maximal LV diameter		
lengthening velocity, /sec	5.8±1.8	7.2±1.8

LV ; left ventricle                      Values are mean±SD  
 \* = p<0.05 vs Trained, # = p<0.05 vs Resting, ## = p<0.01 vs Resting

長・体重・体表面積においてWT群の方がT群より大であった。安静時の心拍数および血圧において差はみられなかった (Table 1)。

安静時の左室の形態と機能について

左室拡張末期径・後壁厚・心筋重量はWT群の方がT群に比し大であった ( $p < 0.05$ ) (Table 2)。

T群の左室内径短縮率はT群に比し高く ( $p < 0.05$ ), 心拍出量係数も有意差は認められなかったが高い傾向にあった ( $p < 0.1$ )。左室の収縮能の指標である mean Vcf, max Vcf および拡張能の指標である peak neg dD/dt/D においては差をみなかった (Table 3)。

運動時の左室の形態と機能の変化について

心拍数はWT群, T群ともそれぞれ  $93.0 \pm 10.9$  beats/min,  $96.9 \pm 12.2$  beats/min と同様に増加した。軽度の運動時の左室の形態には両群とも変化はみられなかった (図1)。

T群の左室内径短縮率は変化しなかった

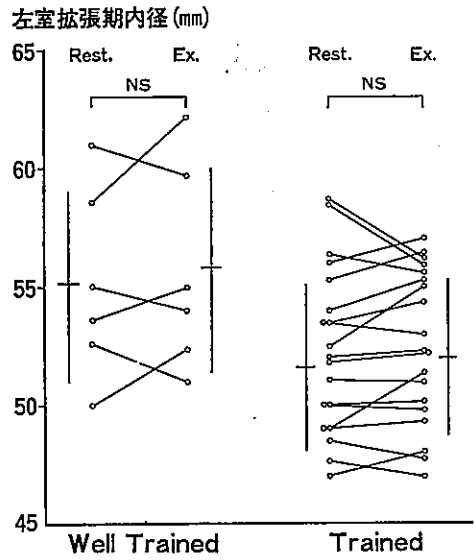


図1 Well Trained 群と Trained 群における運動負荷による左室拡張期内径の変化

NS; non significant

が, WT群の左室内径短縮率は  $38.6 \pm 3.6\%$  から  $40.3 \pm 3.6\%$  へ有意に増加し ( $p < 0.05$ , 図2), T群に比しより大であった ( $p < 0.05$ )。両群とも運動負荷により心拍出量, mean Vcf, max Vcf は有意に増加した。WT 群

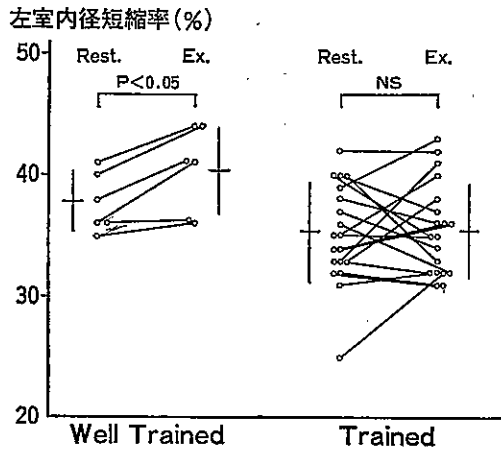


図2 Well Trained 群と Trained 群における運動負荷による左室内径短縮率の変化

NS; non significant

の運動時の心拍出量係数はT群に比し大である傾向にあり ( $p < 0.1$ ), mean Vcf はT群に比し有意に大であった ( $p < 0.05$ ) (table 3)。

## 考 案

断層心エコー図法は左室の形態および機能の評価において非常に重要な非侵襲的検査である。得られた心エコー図をデジタル変換し、左室の収縮期および拡張期の瞬時の変化をコンピュータを用いて解析し、左室機能の詳細な検討がなされている<sup>4, 5, 6)</sup>。今回我々は、運動選手の心エコー図を安静時および運動時の各2時点において記録し、これらをデジタル画像に変換し左室の形態と機能の変化を検討した。

### 有酸素運動が心臓に及ぼす影響について

有酸素運動は十分量の酸素を体内に取り込み、必要としている筋肉組織に供給し、これを用いて好機的解糖を行ないエネルギーを得るものである。運動時、心臓は心拍数を増加させ、静脈から心臓への還流量を増やし、拡張期の容積を増大させ、さらに心収縮性を高めることにより、酸素を必要としている組織へより多くの血液を供給する。

クロスカンントリー、長距離の陸上競技、水泳等是有酸素運動の占める割合が特に高い。これらの持久性運動選手の心臓の形態に関する報告は多くみられ、その心臓は拡大し、肥厚している<sup>7, 8, 9, 10)</sup>。長期にわたって心臓に対して容量負荷を与えた結果と推測されるが、大動脈弁閉鎖不全症、僧帽弁閉鎖不全症や拡張型心筋症の病的な心臓疾患の左心室の形

態と似通っている<sup>11)</sup>。しかし病的な心臓疾患とは異なり、持久性運動選手の左心室の収縮能および拡張能に関しては正常対象群と差がないことが報告されており<sup>6, 12, 13)</sup>、今回の検討においても収縮能および拡張能の値に異常値はみられず同様の結果であった。

持久性運動をある期間集中的に行ない、その前後において心臓の形態と機能をみると左心室は拡大し心拍出量も増加するとの報告がある<sup>14)</sup>。今回の検討はこのような縦断的検討とは異なるため、競技レベルの高い運動選手の左心室がそうでない運動選手に比べ、より大であるということから、容量負荷の時間と程度が左室拡大因子に直接結びつくわけではないが、左室の拡大の一つの因子であることは否めない。集中的なトレーニング後の左心室の駆出率はトレーニング前と変わらないとされているが<sup>14)</sup>、今回の左室の血液を駆出するための収縮能については競技レベルの高い選手の方が左室の収縮性がより高いという成績が得られた。

運動負荷による心臓血管系の対応について心エコー図法やR I心プールなどを用いて検討されているが<sup>11, 15, 16, 17)</sup>、競技レベルまたは集中的なトレーニングによる差を検討した報告は少ない<sup>18)</sup>。

安静時の左室径が競技レベルの低い選手に比して大きく、より多くの一回心拍出量を得ていることは、スターリングの法則<sup>19)</sup>にもとづくものである。軽度の運動、心拍数が100 beats/min程度に増加させた状態では、左心室の径に変化なく収縮率も変わらないとの報告<sup>18)</sup>があるが、我々の検討では、競技レベルの高い選手の左室径は変化しなかったが、

収縮率は増加し, より多くの心拍出量を出しているとの結果が得られた。このことから軽度の運動においても競技レベルの高い選手の左室は収縮性を高め, より多くの血液を駆出し運動に対応していると考えられる。

### まとめ

Well Trained 群の左室は Trained 群に比し, 左室の径は大きく後壁厚も厚くいわゆる Eccentric かつ hypertrophic な形態を呈していた。Well Trained 群は軽度の運動において, より多くの血液を駆出できることから運動負荷に適した機能を有していると考えた。

### 文 献

- 1) Shapiro LM : Left ventricular hypertrophy in athletes in relation to the type of sport. *Sports Medicine* 1987; 4:239-244.
- 2) Huston TP, Puffer JC, Rodney WM : The athletic heart syndrome. *New Engl J Med.* 1985; 313 : 24-32.
- 3) Åstrand P, Rodahl K : textbook of work physiology. New York : McGrawHill, 1977: 176.
- 4) Hall RJC : Digitized M-modes-clinical yield. Digital techniques in echocardiography. Martinus Nijhoff Publishers, Dorecht 1987: 123-132.
- 5) Sutton MGJ, Reicher N, Kastor JA, Giuliani ER : Computerized M-mode echocardiographic analysis of left ventricular dysfunction in cardiac amyloid. *Circulation* 1982; 66 : 790-799.
- 6) Matsuda M, Sugishita Y, Koseki S, Ito I, Akatsuka T, Takamatsu K : Effects of exercise on left ventricular in athletes and nonathletes. *J Appl Physiol* 1983; 55 : 323-328.
- 7) Paulsen W, Boughner DR, Ko P, Chunningham DA, Persaud JA : Left ventricular function in marathon runners : echocardiographic assessment. *J Appl Physiol* 1981; 51 : 881-886.
- 8) Longhurst JC, Kelly AR, Gonyea WJ, Mitchell JH : Echocardiographic left ventricular masses in distance runners and weight lifters. *J Appl physiol* 1980; 48 : 154-162.
- 9) Roeske WR, O'Rourke RA, Klein A, Leopold G, Karliner JS : Noninvasive evaluation of ventricular hypertrophy in professional athletes. *Circulation* 1976; 53 : 286-292.
- 10) Gilbert CA, Nutter DO, Felner JM, Perkins JV, Heymsfield SB, Schlant RC : Echocardiographic study of cardiac dimensions and function in the endurance-trained athlete. *Am J Cardiol* 1977; 40 : 528-533.
- 11) Maron BJ : Structural features of the athlete heart as defined by echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1986; 7 : 190-203.
- 12) Rerych SK, Scholz PM, Sabiston Jr DC, Jones RH : Effects of exercise training on left ventricular function in normal subjects : a longitudinal study by radionuclide angiography. *Am J Cardiol* 1980; 45 : 244-252.
- 13) Finkelhor RS, Hanak LJ, Bahler RC : Left ventricular filling in endurance-trained subjects. *J Am Coll Cardiol* 1986; 8 : 289-93.
- 14) Adams TD, Yanowitz FG, Fisher AG, Ridges JD, Lowell K, Pryor TA : Noninvasive evaluation of exercise training in college-age men. *Circulation* 1981; 64 : 958-965.
- 15) Stein RA, Michielli D, Fox EL, Krasnow : Continuous ventricular dimensions in man during supine exercise and recovery.

運動の競技力と左室の形態と機能の関連について

- Am J Cardiol 1978; 41 : 655-660.
- 16) Zwehl W, Gueret P, Meerbaum S, Holt D, Corday E : Quantitative two dimensional echocardiographic during bicycle exercise in normal subjects. Am J Cardiol 1981; 47 : 866-873.
- 17) Ehsani AA, Hagberg JM, Hickson RC : Rapid changes in left ventricular dimensions and mass in response to physical conditioning and deconditioning. Am J Cardiol 1978; 42 : 52-56.
- 18) Ginzton LE, Conant R, Brizendine M, Laks MM : Effects of long-term high intensity aerobic training on left ventricular volume during maximal upright exercise. J Am Coll Cardiol 1989; 14 : 364-371.
- 19) Weiss JL, Weisfeldt M, Mason SJ, Garrison JB, Livengood SV, Fortuin NJ : Evidence of Frank-Starling effect in man during severe semisupine exercise. Circulation 1979; 59 : 655-661.