

運動トレーニングの左室循環動態におよぼす影響：断層心エコー図による検討

Influence of exercise training on left ventricular performance investigated by two-dimensional echocardiography

辻 光  
海老沢哲也  
盛川 洋一  
北村 浩一  
古川 啓三  
朝山 純  
勝目 紘  
伊地知浜夫  
斉藤 良夫\*  
国重 宏\*

Hikari TSUJI  
Tetsuya EBIZAWA  
Youichi MORIKAWA  
Hirokazu KITAMURA  
Keizo FURUKAWA  
Jun ASAYAMA  
Hiroshi KATSUME  
Hamao IJICHI  
Yoshio SAITO\*  
Hiroshi KUNISHIGE\*

Summary

The influence of exercise training on left ventricular performance was investigated by exercise two-dimensional echocardiography in 12 top-ranking Japanese volleyball players and 10 untrained subjects.

Left ventricular wall thickness and dimension were greater in the athletes than in the nonathletes. The left ventricular wall thickness-internal radius ratio, however, was nearly the same in both groups.

At rest, heart rate, the stroke area index, % fractional area and the cardiac index were significantly lower in the athletes than in the nonathletes. During exercise, heart rate was slower in the athletes at every exercise stress stage. The stroke area index, % fractional area and the cardiac index increased linearly in the athletes, although these indices of the nonathletes reached a plateau at the moderate exercise stage. The double product at the last stage was greater in the athletes than in the nonathletes. Both groups did not differ as to segmental fractional area change of left ventricular contraction at rest and during exercise.

Serum norepinephrine concentration was significantly lower in the athletes than in the nonathletes at rest. After exercise, however, the difference between the two groups was not apparent.

It is suspected that exercise training increased the exercise capacity due to an increase in the left

京都府立医科大学 第二内科  
京都市上京区河原町広小路上ル梶井町 (〒602)  
\*松下電器健康保険組合 松下病院第三内科  
守口市日吉町2-16 (〒570)

The Second Department of Internal Medicine, Kyoto Prefectural University of Medicine, Kajii-machi, Kawaramachi-Hirokoji, Kamigyô-ku, Kyoto 602  
\*The Third Department of Internal Medicine, Matsushita Hospital, Hiyoshi-cho 2-16, Moriguchi 570

Received for publication September 18, 1985; accepted October 30, 1985 (Ref. No. 30-7)

ventricular systolic function reserve, the increment of cardiac  $VO_2$  max, and the change of blood flow distribution, and generalized aerobic metabolism in various organs.

### Key words

Exercise training

Multistage exercise stress

Two-dimensional echocardiography

## はじめに

運動トレーニングによる左室形態変化は, static な運動では主に壁厚が増大するのに対し, dynamic な運動では主に内腔が増大し, それと均衡を保った軽度の壁肥厚を伴うとされている<sup>1-3)</sup>. しかし, スポーツの種類により, 形態変化の出現部位およびその程度に差異を生じると推定される. よって, 今回私どもは, ポピュラーなスポーツではあるがこれまで報告の少ないバレーボール選手を対象とし, 断層心エコー図を用い, その安静時左室形態変化に加えて運動時の左室動態をも観察し, 運動トレーニングの影響を検討した. 更に血中 norepinephrine 濃度を測定し, 健常人と比較検討した.

## 対象と方法

対象は実業団 1 部リーグのバレーボール部員 15 名中, 良好な心エコー図が記録できた男性 12 名(選手群; 平均年齢 23 歳)と, 特別な運動経験を有しない健常男性 10 名(対照群; 平均年齢 26 歳)で, 選手群は平均 9 年のバレーボール経験を有し, その体表面積は  $2.01 \pm 0.08 \text{ m}^2$  で, 対照群の体表面積  $1.74 \pm 0.07 \text{ m}^2$  に対し, 有意に大であった ( $p < 0.05$ ).

運動負荷は Siemens 製自転車エルゴメーターを使用し臥位にて施行した. 選手群では 100 W より, 対照群では 50 W より, 3 分毎に 25 W ずつ増量し, 下肢倦怠感が出現するまで, 計 9 ないし 12 分間負荷した. 超音波断層装置は東芝製 SSH-11A を使用し, Fig. 1 のごとく, 左室短軸断面の乳頭筋レベルで, 各負荷終了 30 秒前に, 半呼吸停止下にてビデオテープに収録し, 同時に Honeywell 製 strip chart recorder にて M モー

ドエコー図も記録した. 断層心エコー図の解析は, ビデオテープ再生像をブラウン管上でセロハン紙を用いて複写し, digitizer から personal computer に入力して行った.

また負荷開始直前と終了直後の時点で採血し, 血中 norepinephrine (NE) 濃度を高速液体クロマトグラフ法にて測定した.

## 結 果

### 1. 安静時左室壁厚および左室内径

M モード心エコー図より計測した左室壁厚は, 選手群では中隔壁厚 (IVST):  $0.94 \pm 0.14 \text{ cm}$ , 後壁厚 (PWT):  $0.98 \pm 0.15 \text{ cm}$  で, 対照群の IVST:  $0.79 \pm 0.10 \text{ cm}$ , PWT:  $0.84 \pm 0.11 \text{ cm}$  に比し有意に大であった ( $p < 0.05$ ). また左室内径も選手群では拡張末期径 (EDD):  $5.3 \pm 0.4 \text{ cm}$ , 収縮末期径 (ESD):  $3.7 \pm 0.4 \text{ cm}$  で, 対照群の EDD:  $4.6 \pm 0.2 \text{ cm}$ , ESD:  $3.0 \pm 0.2 \text{ cm}$  に比し有意に大であった ( $p < 0.05$ ). これらより求めた壁厚・内径比は, 選手群では IVST/EDD:  $0.19 \pm 0.02$ , PWT/EDD:  $0.19 \pm 0.03$  となり, 対照群ではおのおの  $0.17 \pm 0.02$ ,  $0.19 \pm 0.01$  で, 群間差を認めなかった.

### 2. 収縮期血圧および心拍数 (Fig. 2)

安静時の収縮期血圧は両群間に差がなく, 運動時も同様に上昇した. 一方, 心拍数は安静時から全負荷段階を通じて選手群が有意に小で, 今回の最大負荷時には対照群は 150/min まで, 選手群は 142/min まで増加した.

### 3. 拡張末期面積係数および収縮末期面積係数 (Fig. 3)

拡張末期面積係数は両群間に有意な差は認めないものの, 対照群では 50 W 負荷時に安静時に比し有意に増大したのに対し, 選手群で有意な増大

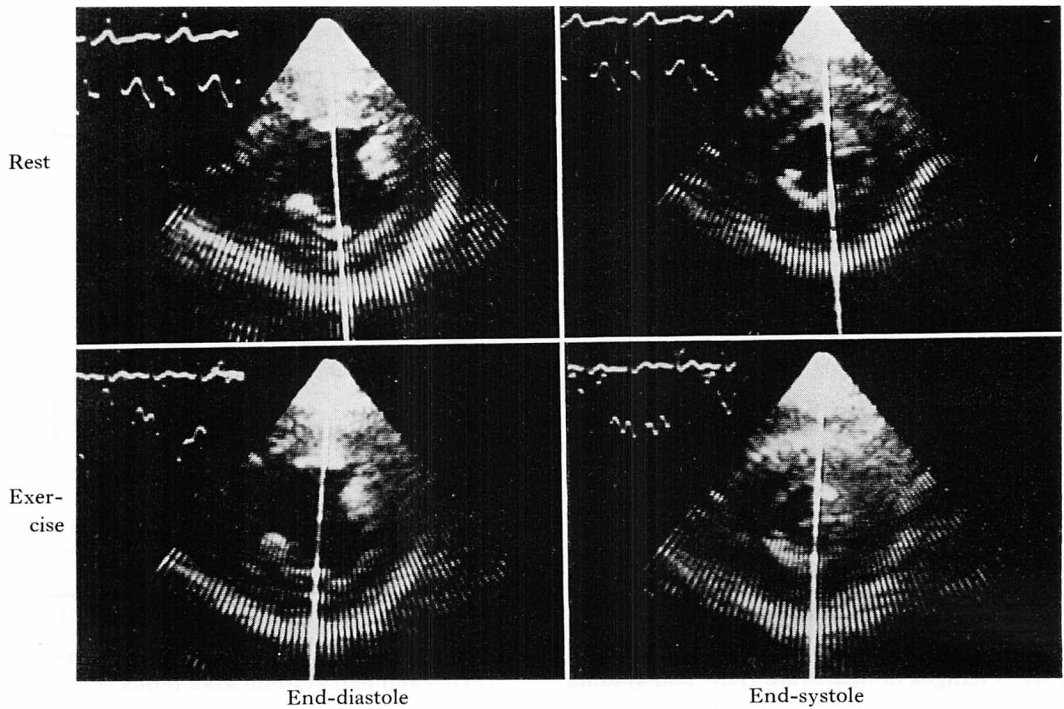


Fig. 1. Left ventricular short-axis views at the papillary muscle level at rest (top) and during exercise (bottom).

ED=end-diastole (left), ES=end-systole (right).

を認めたのはより大きな 125 W 負荷時からであった。

収縮末期面積係数は選手群が対照群に比し、安静時・負荷時ともに有意に大であった。対照群は負荷初期から徐々に縮小し、100 W 以上の負荷時にはそれ以上縮小しないのに対し、選手群では 125 W までの縮小は軽微で、以後 175 W までの縮小は著明であった。

#### 4. 一回拍出面積係数、面積変化率および心係数

一回拍出面積係数 (Fig. 4) は対照群が 125 W 負荷時まで有意に大であったが、125 W 負荷時には 100 W 時に比べて減少した。一方、選手群は負荷の増量に対応し 175 W 時まで増大を維持した。

面積変化率 (Fig. 4) も対照群が安静時・運動時ともに有意に大であったが、負荷量の増大に伴

い、各負荷段階ごとの増加量が減少するのに対し、選手群では負荷初期には増加が少なく、125 W 以後、175 W まで直線的増大を持続した。

M モード記録から Teichholz 法にて算出した心係数 (Fig. 5) は、安静時には対照群が選手群に比し有意に大であった。運動時、対照群が 125 W 負荷時まで大ではあったものの、125 W 時にはその増加量が明かに減少した。これに反し選手群では 175 W 負荷時までほぼ直線的に増大を維持した。

#### 5. 部位別面積変化率 (Fig. 6)

両群の局所壁運動を対比する目的で、拡張末期面積の重心を reference point とした fixed axis system により、左室短軸断層像を 45 度ずつに 8 等分し、それぞれの面積変化率を算出すると、安静時には両群とも後側壁側の変化率が大きい収縮

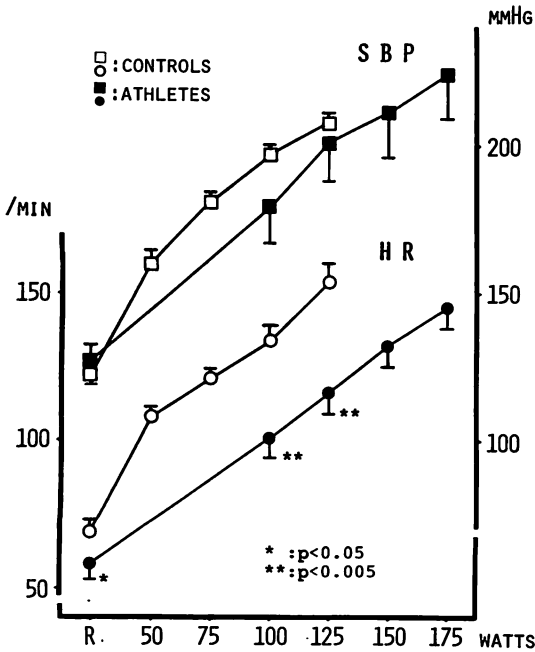


Fig. 2. Changes in heart rate (HR) and systolic blood pressure (SBP) during exercise.

Heart rate is significantly lower in the athletes than in the controls at every stress stage. Systolic blood pressure shows nearly the same change in the two groups.

様式を呈した。負荷開始9分後もこの収縮様式は変わらず、両群間に差を認めなかった。

6. 計測の信頼性の検討

2名の計測者間および同一計測者内での、同一の記録を対象としての計測の信頼性を検討をした。拡張末期面積および収縮末期面積の平均誤差は、Table 1のごとく、ほぼ5%以内に有り、良好な再現性を示した。

7. 血中 norepinephrine (NE) 濃度

血中 NE 濃度は、安静時には選手群が対照群に比べて有意に低値であったが、負荷終了直後には両群ともに著増し、群間差を認めなかった (Fig. 7)。

考 按

運動トレーニングにより左室形態および循環動

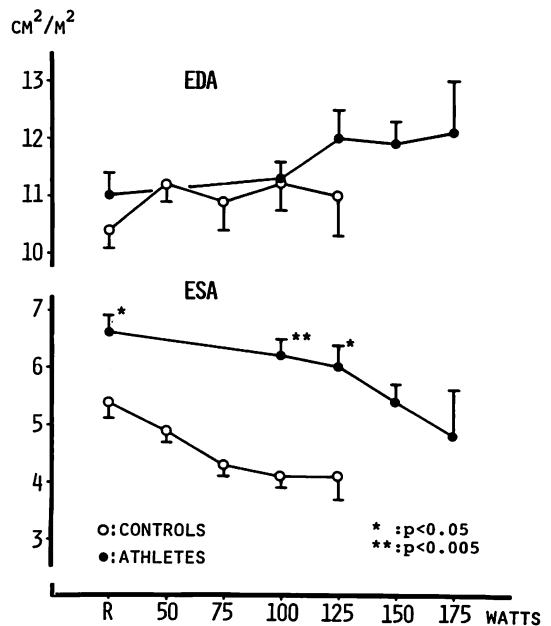


Fig. 3. Changes in the end-diastole area index (EDA) and end-systolic area index (ESA).

The EDA becomes significantly greater at the 50 watts stage in the controls, but the athletes do not show significant enlargement at the 100 watts stage. The ESA is greater in the athletes than in the controls at every stress stage. Although the ESA does not become smaller after the 75 watts stage in the controls, this continues to decrease till the last stage in the athletes.

Table 1. Reproducibility of measurements (%)

	Rest	Exercise
Interobserver		
End-diastolic area	3.1±2.2	3.9±4.1
End-systolic area	3.1±3.1	7.0±5.6
Intraobserver		
End-diastolic area	3.2±3.5	4.1±2.3
End-systolic area	4.6±3.3	5.3±4.9

Mean±standard deviation  
 Values are mean difference (%): (A-B)/(A+B)/2  
 ×100  
 A: Observer 1 or 1st measurement  
 B: Observer 2 or 2nd measurement

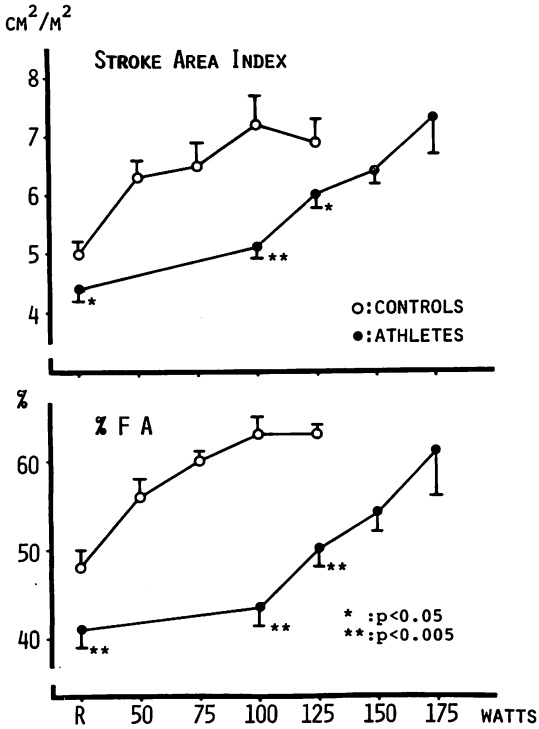


Fig. 4. The stroke area index and % fractional area change (%FA) during exercise.

At rest, the stroke area index and %FA are significantly smaller in the athletes than in the controls. During exercise, both indices do not increase after the 100 watts stage in the controls, but these continue to increase till the last stage in the athletes.

態が変化することは周知の事実である。その形態変化は運動の種類により異なり、前述の如く、staticな運動とdynamicな運動では、壁肥厚および内腔拡大の上でその対応が異っている<sup>1-3)</sup>。我々の今回の検討対象であるバレーボールはdynamicな運動の範疇に属すると思われるが、これまでのスポーツ選手についての報告<sup>4-7)</sup>とは、後述の如く、若干異なる結果を得た。

形態的には左室壁が增厚し、かつ内径も拡大し、壁厚・内径比は対照群と差がなく、均衡の保たれた肥大を認めた。この肥大の程度はマラソン選手などの報告に比し軽度であった。

安静時の心拍数は従来の報告と同様に徐脈を示

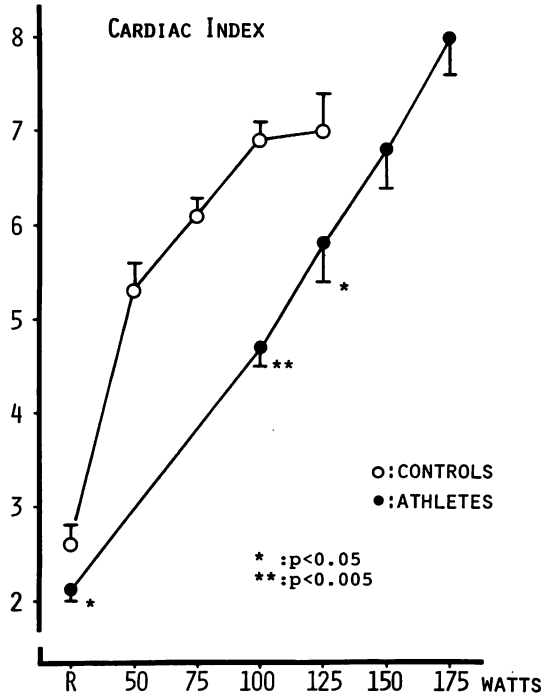


Fig. 5. Change in the cardiac index.

The cardiac index is significantly smaller in the athletes than in the controls at rest. It does not increase after the 100 watts stage in the controls, but in the athletes, it increases linearly till the last stage.

したが、運動トレーニングによるこの変化の原因として、主に交感神経系の抑制<sup>8)</sup>が考えられている。我々の得た安静時の血中 NE 濃度は選手群で対照群より有意に低値であり、これを裏付ける一つの根拠である。このほか過去においては、副交感神経系の亢進<sup>9)</sup>や循環血液量の増大<sup>10)</sup>により徐脈を呈するとの報告もあった。

循環動態変化では、安静時および軽量負荷時において、選手群での心係数が対照群に比し低値であることは注目される。これも運動トレーニングに対する心臓の部分的適応現象と理解される。この現象の背景には、例えばトレーニングされた骨格筋における酸素利用効率の向上や、諸臓器への血流分布の変化<sup>11,12)</sup>、その結果として好氣的代謝効率の増大する機序<sup>13)</sup>が大きく関与するものと考

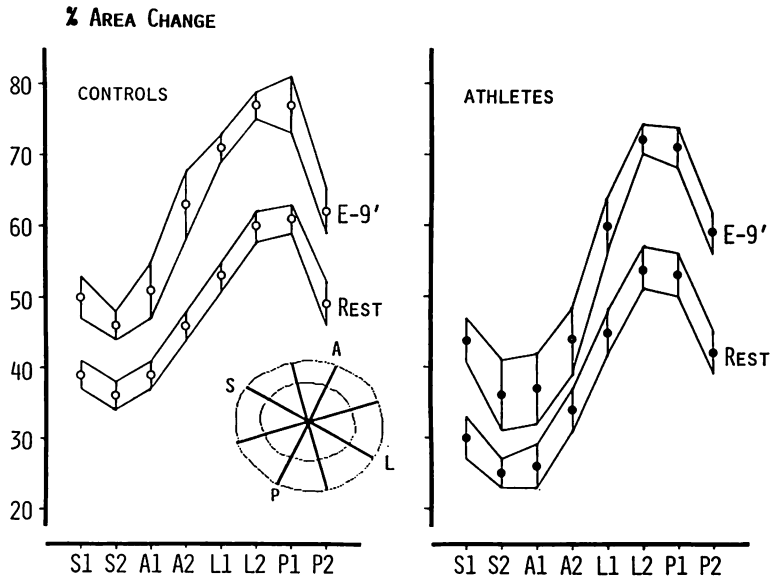


Fig. 6. Segmental fractional area change during exercise.

To analyze left ventricular segmental wall motion, the left ventricular short-axis view at the papillary muscle level is divided into 8 segments applying a fixed-axis system. These panels show left ventricular contraction pattern at rest and at 9 minute exercise stage. There is no difference in segmental fractional area change in the two groups.

S=septal wall, A=anterior wall, L=lateral wall, P=posterior wall.

えられる。

選手群では安静時において収縮力の増強が予想されるにもかかわらず、軽量負荷時においても面積変化率が小であったことは、上述の交感神経系の作動の問題のみならず、諸臓器循環における適応が関与するものと考えられる。これらの結果として、運動トレーニングにより最大心筋酸素消費量も増大するとされ、我々の検討でも最終負荷時を両群で比較すると、心拍数はほぼ等しく、収縮期血圧は選手群が高くなり、ほぼ心筋酸素消費量に相当するとされる *double product* は選手群でやや大であった。しかも対照群では、最終負荷時には明らかに多くの指標が増加を示し難くなっているのに反し、選手群では依然として直線的な増大を持続し、最終負荷時の負荷量が対照群に比べて大であり、かつ *double product* も大ではあるが、下肢倦怠感が出現した最終負荷時において

も、未だ亜最大負荷に達していなかった可能性が強い。

トレーニングされた選手における血中 NE 濃度の検討では、食事摂取時の上昇が少ないとの報告<sup>14)</sup>や、トレッドミルによる同等量の負荷時の血中濃度が対照群に比して低値であるとの報告<sup>15)</sup>があり、軽量から中等量の負荷によって、動員される NE 量は明かに少ないと考えられる。このことは、対照群に比べて、トレーニング群では交感神経系を介する駆動が少なくても、同一の運動量の遂行が可能であることを意味し、これは適応現象の一つとして理解される。実際、これを支持する事実として、おのおのの群の亜最大負荷時には両群ともほぼ近似の高値を示し、群間差は消失するとの報告<sup>15)</sup>がある。しかし、亜最大負荷時の両群の運動量には明かな差があり、その説明としてトレーニング群での  $\beta$  受容体数の増加が

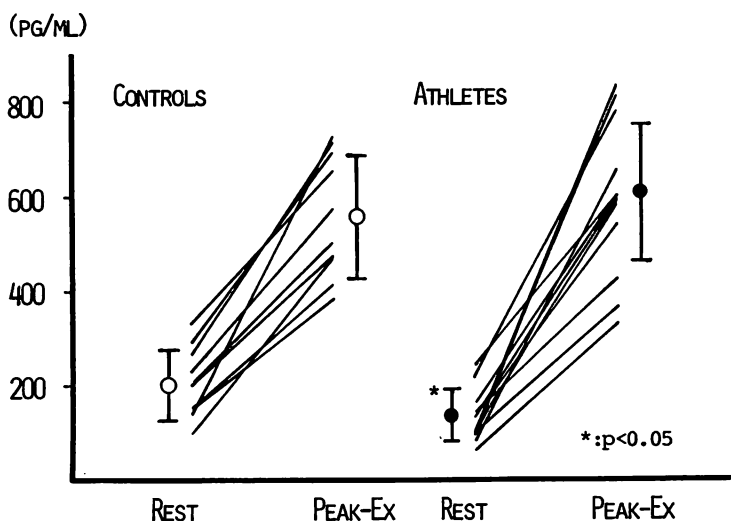


Fig. 7. Serum norepinephrine concentration.

Serum norepinephrine concentration is significantly lower in the athletes than in the controls at rest, but the difference between the two groups is not recognized at peak exercise.

指摘され<sup>15)</sup>、交感神経活動の駆動力としての血中 NE がほぼ同じ値であっても、受容体数の増加により、より大きな運動量をなしえたと理解することも可能である。今回の検討においても、負荷終了直後の血中 NE 濃度は両群間に有意差を認めず、これらの報告と矛盾しない結果であった。ただし、選手群においては負荷終了時にまだ亜最大負荷に到達していない可能性も高く、亜最大負荷時には血中 NE 濃度がさらに上昇する可能性も残されている。

以上のことから、バレーボール選手では、運動トレーニングの結果、運動に対する心臓の耐容能および末梢効果に予備能力が賦与されることが示唆された。また、バレーボール選手の心臓は壁厚・内径ともにバランス良く増大し、かつ収縮様式に関しても、左室短軸断層像の 8 分割を用いた検討では、安静時・負荷時ともに対照群間に差を認めなかった。

## 結 語

運動トレーニングの心循環動態に及ぼす影響を

検討することを目的として、実業団 1 部リーグ・バレーボール部員を対象に運動負荷断層心エコー図を施行して対照群と対比して次の成績を得た。

1. 左室肥大を認めたが、その壁厚・内径比および収縮様式には健常対照群と差がなかった。
2. 安静時における心拍数・一回拍出面積係数・面積縮小率および心係数は、対照群に比べ低値を示した。
3. バレーボール選手では、運動時における心収縮予備能の増強、最大心筋酸素消費量の増大、および主に諸臓器循環における適応などの機序により、運動耐容能の増大をきたすものと考えられる。

## 要 約

実業団 1 部リーグ・バレーボール部員 12 名(選手群)と健常人 10 名(対照群)とを対象に、運動負荷断層心エコー図を施行し、その安静時左室形態変化に加えて、運動時の左室動態も観察し、運動トレーニングの影響を検討した。

選手群では左室壁の増厚を認めたが、内径も拡

大しており, その壁厚・内径比は対照群と差がなかった。

安静時における選手群の心拍数, 一回拍出面積係数, 面積縮小率, および心係数は, 対照群に比べて有意に低値を示した。運動時において, 選手群の心拍数は全負荷段階を通じ対照群より小であり, また選手群での一回拍出面積係数, 面積縮小率および心係数は負荷終了時まで直線的に増大したのに対し, 対照群では負荷量の増大とともにその増加量が減じた。また, 最終負荷時での double product は選手群でより大であった。部位別面積変化率による収縮様式の検討では, 安静時, 運動時ともに両群間に差を認めなかった。

血中 norepinephrine 濃度は, 安静時には選手群では対照群に比べて有意に低値であったが, 負荷終了直後には両群ともに著増し, 群間差を認めなくなった。

以上より, バレーボール選手では, 心収縮予備能の増強, 最大心筋酸素消費量の増大, および主に諸臓器循環における適応などの機序により, 運動耐容能の増大をきたすものと考えられる。

#### 文 献

- 1) Keul J, Dickhuth HH, Simon G, Lehmann M: Effect of static and dynamic exercise on heart volume, contractility, and left ventricular dimensions. *Circ Res* **48** (Suppl 1): 162-170, 1981
- 2) Morganroth J, Maron BJ, Henry WL, Epstein SE: Comparative left ventricular dimensions in trained athletes. *Ann Intern Med* **82**: 521-524, 1975
- 3) Sugishita Y, Koseki S, Matsuda M, Yamaguchi T, Ito I: Myocardial mechanics of athletic hearts in comparison with diseased hearts. *Am Heart J* **105**: 273-280, 1983
- 4) Roeske WR, O'Rourke RA, Klein A, Leopold G, Karliner JS: Noninvasive evaluation of ventricular hypertrophy in professional athletes. *Circulation* **53**: 286-292, 1976
- 5) Nishimura T, Yamada Y, Kawai C: Echocardiographic evaluation of long-term effects of exercise on left ventricular hypertrophy and function in professional bicyclists. *Circulation* **61**: 832-840, 1980
- 6) Fagard R, Aubert A, Lysens R, Staessen J, Vanhees L, Amery A: Noninvasive assessment of seasonal variations in cardiac structure and function in cyclists. *Circulation* **67**: 896-901, 1983
- 7) Fagard R, Aubert A, Staessen J, Eynde EV, Vanhees L, Amery A: Cardiac structure and function in cyclists and runners: Comparative echocardiographic study. *Br Heart J* **52**: 124-129, 1984
- 8) Robinson BF, Epstein SE, Beiser RL, Braunwald E: Control of heart rate by the autonomic nervous system. *Circ Res* **19**: 400-411, 1966
- 9) Ekblom B, Kilbom A, Soltysiac J: Physical training, bradycardia and autonomic nervous system. *Scand J Clin Lab Invest* **32**: 251-256, 1973
- 10) Holmgren A, Mossfeldt F, Sjostrand T, Strom G: Effect of work capacity, total hemoglobin, blood volume, heart volume and pulse rate in recumbent and upright positions. *Acta Physiol Scand* **50**: 72-83, 1960
- 11) Clausen JP, Klausen K, Rasmussen B, Trap-Jensen J: Central and peripheral circulatory changes after training of the arms or legs. *Am J Physiol* **225**: 675-682, 1973
- 12) Saltin B, Nazar K, Costill DL, Stein E, Jansson E, Essen B, Gollnick PD: The nature of the training response: Peripheral and central adaptations to one-legged exercise. *Acta Physiol Scand* **96**: 289-305, 1976
- 13) Clausen JP: Effect of physical training on cardiovascular adjustment to exercise in man. *Physiol Rev* **57**: 779-815, 1977
- 14) LeBlanc J, Diamond P, Cote J, Labrie A: Hormonal factors in reduced postprandial heat production of exercise-trained subjects. *J Appl Physiol* **56**: 772-776, 1984
- 15) Lehmann M, Schmid P, Porzig H, Keul J: Beta-Adrenozeptoren und Plasmakatecholaminverhalten bei Trainierten und Untrainierten. *Klin Wochenschr* **61**: 865-871, 1983