

長期トレーニングの大学女子ボート選手の右心系の形態および機能に及ぼす影響について

斉藤 和人*, 松下 雅雄*, 松尾 彰文*

The effects of training on the right ventricular structures and diastolic functions in college female rowers

Kazuto SAITO*, Masao MATUSHITA* and Akifumi MATUO*

Abstract

We studied the effects of training on the right heart chambers by using two-dimensional and Doppler echocardiography in 9 college female rowers. Apical four-chamber views echocardiograms were analysed before and after 20 weeks of training for tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE), a simple echocardiographic parameter which reflects rightventricular (RV) ejection fraction, right atrial (RA) area at end-systole and RV area at end-diastole. The pulmonary arterial pressure was also estimated by measuring acceleration time (AcT) and RV ejection time (RVET) on RV out flow Doppler wave form. After training, RV and RV areas were increased significantly (RA: 13.6 ± 3.4 to $15.5 \pm 4.1\text{cm}^2$; $p < 0.01$, RV: 14.3 ± 2.7 to $21.0 \pm 3.3\text{cm}^2$; $p < 0.01$), whereas the TAPSE, AcT, RVET and the ratio of AcT/RVET were unchanged. RV diastolic function was also estimated by measuring isovolumic relaxation time (IVRT), acceleration time (AcT), deceleration time (DcT), rapid filling flow peak (E), atrial filling peak (A) and the ratio of A/E on RV inflow Doppler wave form. No significant change was detected after training in the IVRT, AcT, DcT and E; nevertheless a significant decrease was found in A and A/E. These results indicate that rowing training increases the size of the RA and RV chambers without impairment of RV diastolic function in college female rowers.

KEY WORDS : *Right Ventricle, Rowing, Training, Echocardiography, Diastole*

<はじめに>

激しいトレーニングにより心肥大や心拡大などを伴うことが知られている¹⁻³⁾。中でも激しい動的運動と静的運動を行うボート選手の左心室の拡大及び肥厚は著しいことが報告されている^{4,5)}。さらにいくつかのスポーツ種目においては長期のトレーニングにより左室内径や心筋重量の増加を来すことが報告されている⁶⁻⁸⁾。著者らも大学女子ボート選手の左心室におよぼす長期トレーニング

の効果を心エコー図を用いて検討し、左室内径や心筋重量の増加及び左室拡張能の改善を来すことを報告した⁹⁾。しかし、還流静脈血を肺循環に送り出す右心系についての報告はほとんど見られない¹⁰⁾。著者らは、長期トレーニングの大学女子ボート選手の右心系に及ぼす影響について心エコー図を用いて検討した。

<方 法>

本学ボート部女子選手9名を被験者とした。ト

*鹿屋体育大学 National Institute of Fitness and Sports in Kanoya, Kagoshima, Japan

レーニング期間は20週間で、その前後で心エコー図を測定した。トレーニングは通常の水の上トレーニングで、4月から6月の間は週5日間で1週間70km、7、8月の間は週5日間で1週間90kmであった。

心エコー図測定は電子走査型超音波診断装置(SSH140A 東芝)を用い、発振周波数2.5MHZ、パルス繰り返し周波数4KHZを使用した。被験者を左半側臥位にし、呼吸停止下に、心尖部より四腔断層図をビデオテープに記録し、収縮末期の右房面積および拡張末期の右室面積、つまり、それぞれの最大面積を連続5心拍について測定した。さらに右室駆出率(RVEF)とよく相関するTricuspid Annular Plane Systolic Excursion(TAPSE)をKaulら¹¹⁾の方法で、以下のようにして測定した。拡張末期の四腔断層図で右室の自由壁と三尖弁の接合点と、扇状エコー図の中心点を結び、収縮期の三尖弁との交点との差を(↔) TAPSEとして

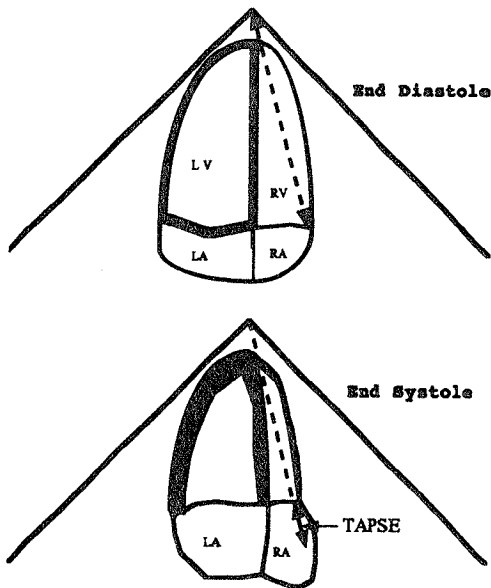


Fig. 1. Demonstration of method of measuring TAPSE in apical four-chamber view. A) Straight line is drawn from midpoint of origin of echocardiographic fan to junction of RV free wall and tricuspid valve in end diastole. B) In end systole the plane of the tricuspid valve is seen to dissect the line drawn in end diastole. Solid line (↔) depicts TAPSE.

LA : left atrium LV : left ventricle
RA : right atrium RV : right ventricle

測定した(図1)。右室駆出血流速波形は、第3-4肋間胸骨左縁より右室流出路長軸断面像を抽出し、パルス・ドップラー法を用いて記録した。サンプルボリュームを肺動脈弁下に設定し、呼気止めでStriptchartrecorderに紙送り速度100mm/秒で記録した。そして駆出開始からピーク血流に達するまでの時間(AcT)と右室駆出時間(RVET)をそれぞれ連続5心拍について測定した(図2)。さらに等容拡張期時間(isovolumic relaxation time:IVRT)を求めるために心電図のR波の頂点から肺動脈血流終了までの時間(R-P)も測定した。

三尖弁流入波形は被験者を左半側臥位にし、心尖部より四腔断層像を抽出しながらサンプルボリュームを三尖弁輪部に設定し、呼気止めでStrip chart recorderに紙送り速度100mm/秒で記録した(図3)。右室流入血流速度パターンは急速流入血流波(E)と心房収縮波(A)からなり、そのピーク流

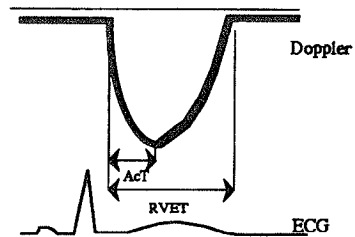


Fig. 2. Representative flow velocity pattern in the right ventricular outflow tract.

Act : acceleration time
RVET : right ventricular ejection time

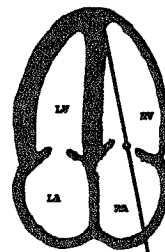


Fig. 3. Apical four-chamber two-dimension aechocardiographic view. Doppler cursor (solid line) and sample volume locator (o).

LA : left atrium LV : left ventricle
RA : rightatrium RV : right ventricle

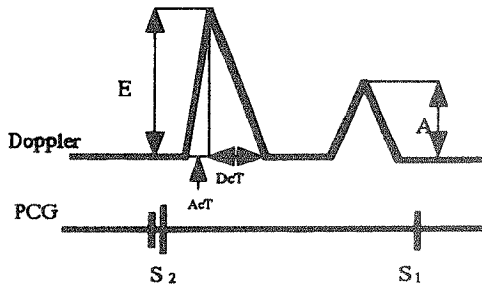


Fig. 4. A normal spectral Doppler transtricuspid flow velocity profile.

A : peak atrial filling velocity
E : peak early tricuspid valve filling velocity
AcT : acceleration time
DcT : deceleration time

速度, E波の減衰時間 (deceleration time : DcT) および加速時間 (acceleration time : AcT) をそれぞれ連続5心拍について測定した (図4)。等容拡張期時間 (肺動脈弁閉鎖からは三尖弁解放までの時間) は右室駆出血流速波形と三尖弁流入波形を同時に記録できないので以下のようにして求めた。心電図のR波の頂点から三尖弁解放までの時間からR-P時間を引くことにより求めた。結果はすべて平均値±標準偏差で表し, 統計は対応のあるt検定を用い, $P < 0.05$ を以て有意差ありとした。

＜結 果＞

20週間のトレーニング前後で身長, 体重, 体表面積および安静時心拍数に有意の変化はみられなかった。

右心形態及び右室の収縮機能のトレーニングによる変化を表1に示した。トレーニングにより右

Table 1. Effect of Training on RV and RA area and RV Systolic Parameters

	Before	After	N	P
RA (cm ²)	13.6 ± 3.4	15.5 ± 4.1	9	0.01
RV (cm ²)	14.3 ± 3.3	17.4 ± 2.7	7	0.01
TAPSE (mm)	21.0 ± 3.3	20.3 ± 3.9	9	NS
AcT (msec)	166.1 ± 15.8	173.9 ± 13.6	9	NS
RVET (msec)	323.3 ± 19.4	329.4 ± 15.9	9	NS
AcT/RVET	0.51 ± 0.03	0.53 ± 0.03	9	NS

RA : right atrium, RV : right ventricle
TAPSE : tricuspid annular plane systolic excursion
AcT : acceleration time, RVET : right ventricular ejection time

房および右室面積は有意な増大を示した。しかし右室収縮率 (RVEF) や肺動脈圧と深い関係を示すTAPSEとAcT/RVET比は有意な変化を示さなかった。

三尖弁流入波形を用いて測定した右室拡張期の指標のトレーニングによる変化を表2に示した。トレーニングにより急速流入血流波(E), DcT, AcTおよびIVRTは有意の変化を示さなかったが, 心房収縮波(A)およびE/A比は有意な減少を示した。

＜考 案＞

激しいトレーニングをある程度続けたアスリートでは, 心肥大や心拡大などを伴うスポーツ心臓になることが知られており, それは左心系のみでなく右心系にも及ぶことが報告されている¹²⁾。このスポーツ心臓においても水泳, ランニング, サイクリング, クロスカントリースキー, ボートなどの長期のトレーニングは, 程度の違いはあるものの左室内径や心筋重量の増加を来すことが報告されている⁶⁻⁸⁾。著者らも長期トレーニングの大学女子ボート選手及び長距離選手の左心系に及ぼす影響を心エコー図を用いて検討し, 左室内径や心筋重量の増加を来すことを報告している^{9,13)}。さらに大学女子ボート選手においてはパルス・ドップラー法による左室流入血流速度パターンの検討で左室の拡張期の機能改善が認められた⁹⁾。しかし, 長期トレーニングの右心系に及ぼす影響についての報告はほとんど見られない¹⁰⁾。運動に対する右心系の反応は左心系と比べて異なることが報告されている。すなわち運動量が大きくなるほど肺動脈圧は体血圧よりも大きく上昇し, 肺血管抵抗も体血管抵抗に比べてそれほど低下せず, 右心

Table 2. Effect of Training on RV Diastolic Parameters

	Before	After	N	P
IVRT (msec)	45.4 ± 10.4	41.7 ± 9.0	9	NS
AcT (msec)	122.7 ± 32.3	113.3 ± 17.1	9	NS
DcT (msec)	186.9 ± 57.7	186.0 ± 59.1	9	NS
E (mm)	59.0 ± 11.0	57.7 ± 12.1	9	NS
A (mm)	35.1 ± 5.9	28.1 ± 9.0	9	0.05
E/A	0.60 ± 0.09	0.49 ± 0.13	9	0.05

IVRT : RV isovolumic relaxation time, AcT : acceleration time
DcT : deceleration time, E : peak early tricuspid valve filling velocity
a : peak atrial filling velocity

室の仕事量は左心室の約2倍にもなるという¹⁴⁾。さらにDouglasら¹⁵⁾は41人のトライアスリートを対象とし、トライアスロン前、直後および28時間後の心尖部よりの四腔断層心エコー図を用いて各心室の面積を測定した。その結果、レース直後には両心房と左室の面積は減少したにもかかわらず、右室面積は有意に増大したと報告している。さらにその変化は両心房、左室の面積が前値に復した28時間後も続き、右室は運動に対して左室と異なる反応を示すと推定している。今回の20週間にわたる長期のボート・トレーニングでは右房および右室面積が有意に増大したが、RVEFとよく相関するTAPSE値には変化が認められなかった。また右房面積はDouglasらの結果と異なり、有意に増大していた。これは、運動量の違い(トライアスロン: 競泳3.9km, 競輪180km, 競走42.19km)と、変化が比較的急性と慢性との違いによると考えられた。さらに長期のトレーニングはDouglasらの結果と異なり、左房が拡大すると報告されており^{16,17)}著者らも長期のボート、トレーニングで左房径が有意に増大する事を確認している⁹⁾。同様な変化が右房にも生じたものと考えられる。

今回、収縮期または平均肺動脈圧と非常に強い逆相関を示すとされるAcT/RVET比¹⁸⁾はトレーニング前後で有意の変化は見られなかった。これはトレーニング中は肺動脈圧が上昇しても、安静時には元に戻ることや肺血管抵抗が低下するためと考えられた。

今回のパルス・ドプラー法による右室流入血流パターン検討では急速流入血流波(E)のピーク流速、E波の減衰時間(DcT)、加速時間(AcT)、および等容拡張期時間(IVRT)は有意の変化を示さなかったが、心房収縮波(A)のピーク流速およびA/E比は有意に減少した。

一方、高血圧、肺疾患及び心不全など病的心臓では、右室のE波の減少、A波の増高、DcTおよびIVRTの延長、A/E比の増加が報告されている¹⁹⁻²¹⁾。これらを考えあわせると長期トレーニングは大学女子ボート選手の右心室の拡張期機能を改善する事が推定された。長期のトレーニングは心臓の左心系の拡大、拡張機能の改善および体血

管抵抗の低下により心拍出量の増大を来すとされているが、今回の結果より右心系にも同じような変化(右房・右室の拡大、肺血管抵抗の低下および右室の拡張機能の改善)が生じていることが明らかとなった。

くま と め

大学ボート部女子選手9名を対象として、約20週間の水上トレーニングが右心系に及ぼす影響を断層およびドプラー・心エコーを用いて検討し、以下の結論を得た。

長期トレーニングは、肺動脈圧および右室駆出率を変えずに右心系(右房、右室)の拡大と右室の拡張機能の改善を来すと判明した。

＜文 献＞

- 1) Morganroth J, Maron BJ: The athlete's heart syndrome: a new perspective. *Ann NY Acad Sci* 301:931-941, 1977.
- 2) Huston TP, Puffer JC, Rodney WMcM: The athletic heart syndrome. *New Eng J Med* 313:24-32, 1985.
- 3) Maron BJ: Structural features of athletic heart as defined by echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 7:190-203, 1986.
- 4) Pelliccia A, Maron BJ, Spataro A, Proschan MA, Spirito P: The upper limit of physiologic cardiac hypertrophy in highly trained elite athletes. *New Eng J Med* 24:295-301, 1991.
- 5) Maron BJ, Pelliccia A, Spataro A, Granata M: Reduction in left ventricular wall thickness after deconditioning in highly trained Olympic athletes. *Br Heart J* 69:125-128, 1993.
- 6) Ehsani AA, Hagberg JM, Hickson RC: Rapid changes in left ventricular dimensions and mass in response to physical conditioning and deconditioning. *Am J Cardiol* 42:52-56, 1978.
- 7) Fagard R, Aubert A, Staessen J, Vanhees L, Armeij A: Noninvasive assessment of seasonal variations in cardiac structures and function in cyclists. *Circulation* 67:896-901, 1983.
- 8) 平田文夫, 武田誠司, 末次哲朗, 齊藤和人: 新人運動選手の左室心筋重量と有酸素性作業能力の関係・鹿屋体育大学学術研究紀要, 10:43-50, 1993.

- 9) 斉藤和人, 松下雅雄, 松尾彰文: 長期トレーニングの大学女子ボート選手の左室収縮および拡張機能に及ぼす影響について. 鹿屋体育大学学術研究紀要, 16: 55-59, 1996.
- 10) 斉藤和人, 平田文夫: 長期トレーニングが長距離選手の右心系に及ぼす影響について, 鹿屋体育大学学術研究紀要, 15: 1-5, 1996.
- 11) Kaul S, Tei C, Hopkins JM and Shah PM.: Assesment of right ventricular function using twodimensional echocardiography. *Am Heart J* 107: 526-531, '1984.
- 12) Vos M, Hauser AM, Dressendorfer RH, Hashimoto T, Dudlets P, Grodon S, Timmis GC: Enlargement of the right heart in the endurance athlete: A two-dimensional echocardiographic study. *Int J Sports Med* 6: 271-275, 1985.
- 13) 平田文夫, 武田誠司, 末次哲朗, 斎藤和人: トレーニングの長距離ランナーおよび短距離ランナーの左心機能および左室形態におよぼす影響: 心エコー図を用いて。鹿屋体育大学学術研究紀要 9: 11-15, 1993.
- 14) Gurtner HP, Walser P and Fassler B: Normal values for pulmonary hemodynamics at rest and during exercise in man. *Prog Resp Rev* 9: 295-315, 1975.
- 15) Douglas PS, O'Toole ML, Hiller WDB, and Reichel N: Different effects of prolonged exercise on right and left ventricles. *J Am Coll Cardiol* 15: 64-69, 1990.
- 16) Morganroth J, Maron BJ, Henry WL and Epstein SE: Comparave left ventricular dimensions in trained athletes. *Ann Int Med* 82: 521-524, 1975.
- 17) Underwood RH, Schwade JT: Non-invasive analysis of cardiac function of elite distance runners- echocardiography, vectorcardiography and cardiac intervals. *Ann NY Acad Sci* 301: 297-309, 1977.
- 18) Kitabatake A, Inoue M, Asao M, Masuyama T, Tanouchi J, Morita T, Mishima M, Uematsu M, Shimazu T, Hori M, Abe H: Noninvasive evaluation of pulmonary hypertension by a pulsed Doppler technique. *Circulation* 68: 302-309, 1983.
- 19) Chakko S; de Marchena E; Kessler KM; Materson BJ; Myerburg RJ: Right ventricular diastolic function in systemic hypertension. *Am J Cardiol*, 65: 1117-20, 1990.
- 20) Nakamura k; Miyahara Y; Ikeda S; Naito T: Assessment of right ventricular diastolic function by pulsed Doppler echocardiography in chronic pulmonary disease pulmonary thromboembolism. *Respiration*, 62: 237-43, 1995.
- 21) Yu CM; Sanderson JE; Chan S; Yeung L; Hung YT; Woo KS: Right ventricular diastolic dysfunction in heart failure. *Circulation*, 93: 1509-14, 1996.