

정상인에서 동적운동중 심초음파검사에 의한 좌심실 기능의 측정

원광대학교 의과대학 내과학교실

김경중 · 박양규 · 박옥규

= Abstract =

Evaluation of Left Ventricular Function by Dynamic Exercise Echocardiography in Normal Subjects

Kyeong Joong Kim, M.D., Yang Kyu Park, M.D., Ock Kyu Park, M.D.

Department of Internal Medicine, Wonkwang University, School of Medicine

To determine the level of exercise for dynamic exercise echocardiography and to evaluate the changes of cardiac work loads in normal subjects, the authors performed M-mode echocardiography at rest and during 20° supine bicycle exercise in 10 normal subjects with good image of left ventricle. A special, self-made 20° supine exercise table was used on which the subject's chest could be immobilized to record echocardiograms during exercise. The recordings were always performed just below the tip of the anterior mitral leaflet. Interpretable left ventricular M-mode echocardiograms were obtained at a submaximal exercise level with mean heart rate of 132 ± 21 beats/min. Left ventricular end-diastolic dimension, an index of preload, showed no significant change during exercise. But left ventricular end-systolic dimension decreased significantly ($p < 0.01$) and % fractional shortening increased significantly ($p < 0.01$). Peak-systolic left ventricular wall stress increased significantly ($p < 0.01$) during exercise but end-systolic wall stress did not. Both end-systolic wall stress/end systolic dimension ratio and systolic blood pressure/end-systolic dimension ratio increased during exercise ($p < 0.01$).

The results suggest that dynamic exercise echocardiography is a suitable method measuring various parameters of cardiac mechanics during submaximal exercise, whereas it's not available during maximal exercise.

KEY WORDS : Exercise echocardiography · Left ventricular function.

서 론

심장에는 심실과 관동맥의 여력(ventricle and

coronary reserve)이 있기 때문에 심장병 환자의 자각 증상은 안정시에는 잘 나타나지 않고 주로 운동중에 출현한다¹⁾. 그러나 지금까지 임상에서

이용되고 있는 대부분의 검사는 안정시에는 시행할 수 있으나 운동중에는 시행하기 어려운 경우가 많고 심장의 부하변화를 측정하기도 어려워 심장병 환자에서 운동능이 저하되는 정확한 기전을 규명하기 어려웠다. 최근 Stefadourous등²⁾, Kraunz와 Kennedy³⁾, Smithen등⁴⁾ 및 Sugishita와 Koseki⁵⁾는 심초음파검사가 좌심실의 운동모양이나 운동속도를 관찰할 수 있는 특성을 이용하여 정상인과 허혈성 심장병 환자에서 운동중 좌심실의 수축양상과 기능의 변화를 보고한 바 있으나 좌심실의 작업능을 결정하는 심부하의 변화에 대한 보고는 아직 없었다.

이에 저자는 양와위의 동적 운동상태에서 심초음파 검사가 가능한 운동범위를 구하고, 정상인에서 운동중 심장의 부하변화와 수축력지표의 변화를 관찰하여 그 결과를 보고한다.

대상 및 방법

1. 연구대상

검사 대상은 평소 흉통이나 심부전의 증상이 없고, 과거력상 심폐질환이 없으며, 혈압이 정상이고 심전도가 정상인 40세 이상의 건강인 100예중, 안정시의 심초음파 검사상 이상 소견이 없고 좌심실의 단축상을 정확히 얻을 수 있으면서 좌심실 심내막의 초음파 영상을 선명히 얻을 수 있었던 13예를 대상으로 하였으며, 이중 3예는 운동중 좌심실 심초음파도의 기록이 어려워 최종분석에서 제외시켰다. 10예의 성별은 남자 6예, 여자 4예였으며 연령범위는 40세~70세(평균연령 54 ± 10 세)였다.

2. 방 법

1) 심초음파 검사

심초음파 검사기(Meridian, Johnson & Johnson LTD)와 3MHz/3.5MHz 위상배열 주사기(phased array transducer)를 이용하여 좌심실의 M형 심초음파도를 기록하였다.

먼저 안정시 양와위에서 좌심실강의 2면 초음파상의 감시하에 승모판 전엽선단의 직하방을 통과

하면서 단축상의 거리가 가장 길고 좌심실 M형 심초음파상이 가장 선명하게 나오는 위치에서 좌심실 M형 심초음파도를 strip-chart recorder에 기록하면서 혈압 및 심박수를 측정하였다. 또한 탐촉자를 기록했던 부위에 그대로 유지하여 심초음파상을 2면 및 M형으로 동시에 감시하면서 자전거 운동력 측정계(bicycle ergometer)를 이용하여 좌심실의 M형 심초음파상을 얻을 수 있는한 최대로 피검자를 운동시켜 strip-chart recorder에 기록하였고 동시에 혈압 및 심박수를 측정하였다. 운동중에 과도 호흡에 따른 심장위치변화로 좌심실의 초음파 영상을 선명히 얻을 수 없을 때에는 운동량을 약간 감소시켜 좌심실 심초음파도를 기록하였다.

기록된 좌심실의 M형 심초음파도로부터, 확장말기 좌심실 내경(Dd)과 확장말기 좌심실 후벽두께(Td)는 심전도의 Q파 시작점에서, 수축말기 좌심실 내경(Ds)과 수축말기 좌심실 후벽두께(Ts)는 수축말기에 심실 중격이 최 후방으로 위치한 점에서 측정하였으며 모든 측정은 미국 심초음파학회 권장에 의한 선도연 대 선도연(leading edge to leading edge) 방법⁶⁾으로 측정하였다(Fig. 1).

분획 단축율(% FS)은 $([Dd-Ds]/Dd) \times 100$ 으로, 수축기 좌심실 최대 벽긴장도(peak systolic stress)는 $0.334 \times$ 수축기 혈압(SBP) \times 확장말기 좌심실 내경(Dd)/확장말기 좌심실 후벽두께(Td) $(1 + \text{확장말기 좌심실 후벽두께}(Td)/\text{확장말기 좌심실 내경}(Dd))$ 으로, 수축말기 좌심실 벽긴장도(end-systolic stress)는 $0.334 \times$ 수축기 혈압(SBP) \times 수축말기 좌심실 내경(Ds)/수축말기 좌심실 후벽두께(Ts) $(1 + \text{수축말기 좌심실 후벽두께}(Ts)/\text{수축말기 좌심실 내경}(Ds))$ 로 산출하였으며 심근수축력의 지표로는 수축말기 좌심실 벽긴장도(ESS)/수축말기 좌심실 내경(Ds) 및 수축기 혈압(SBP)/수축말기 좌심실 내경(Ds)을 산출하였다.

2) 운동 방법

Speidel과 Keller Jungigen사의 Bicycle ergometer 4000과 이 ergometer에 맞게 운동대(Fig. 2)를 제작하여 사용하였으며 20°경사의 운동대에 5cm 간격으로 9개의 구멍을 파고 이 구멍에 적합한 어께 고정대를 만들었으며 운동대의 좌·우양측에

손잡이를 부착하였다. 피검자가 운동대에 누우면 피검자의 발을 ergometer의 페달에 고정시킨후 어깨와 어깨 고정대 사이에 약간의 간격이 남는 경우는 베개나 담요등을 넣어 밀착되게 하였다. 좌측 상완에 혈압계의 cuff를 감고 양손은 손잡이를 가볍게 잡도록 한 후 심전도 감시기(Cardiopac M 301, San Ei LTD)에 연결하여 운동중 혈압, 심전도, 심박수의 변화를 관찰하였다.

운동은 25watt부터 시작하였으며 40rpm 정도를 유지토록 하였고 3분마다 25watt씩 증가하여 좌심실 M형 심초음파도를 선명히 얻을 수 있는 범위에서 최대로 운동시켰다.

결 과

1. 심초음파도의 기록이 가능한 운동범위

대부분의 환자에서 운동중의 좌심실 심초음파도는 호흡 운동의 증가와 다소간의 흉부 움직임때문

에 운동량이 증가될수록 기록하기 어려웠고 심한 경우는 호흡 주기에 따라 심초음파상이 간헐적으로 소실된 경우도 있었다(Fig. 3). 운동중 좌심실의 M형 심초음파도를 기록할 수 있었던 운동의 정도는 개개인에 따라 많은 차이가 있었으며 최대 운동 상태에서는 기록이 불가능하였고 심박수 83~153회/분(평균 132 ± 21 회/분)에서 기록 가능하였다.

2. 혈압의 변화

각 피검자의 안정시 및 운동중 좌심실의 M형 심초음파 검사 결과는 표 1(Table 1)과 같다. 수축기 혈압은 안정시 120 ± 14 mmHg에서 운동중 176 ± 24 mmHg로 유의하게 증가되었으며($p < 0.01$), 확장기 혈압도 안정시 75 ± 9 mmHg에서 운동중 86 ± 10 mmHg로 유의하게 증가되었다($p < 0.01$).

3. 심기능 및 심부하의 변화

확장말기 좌심실 내경은 안정시 5.10 ± 0.44 cm에

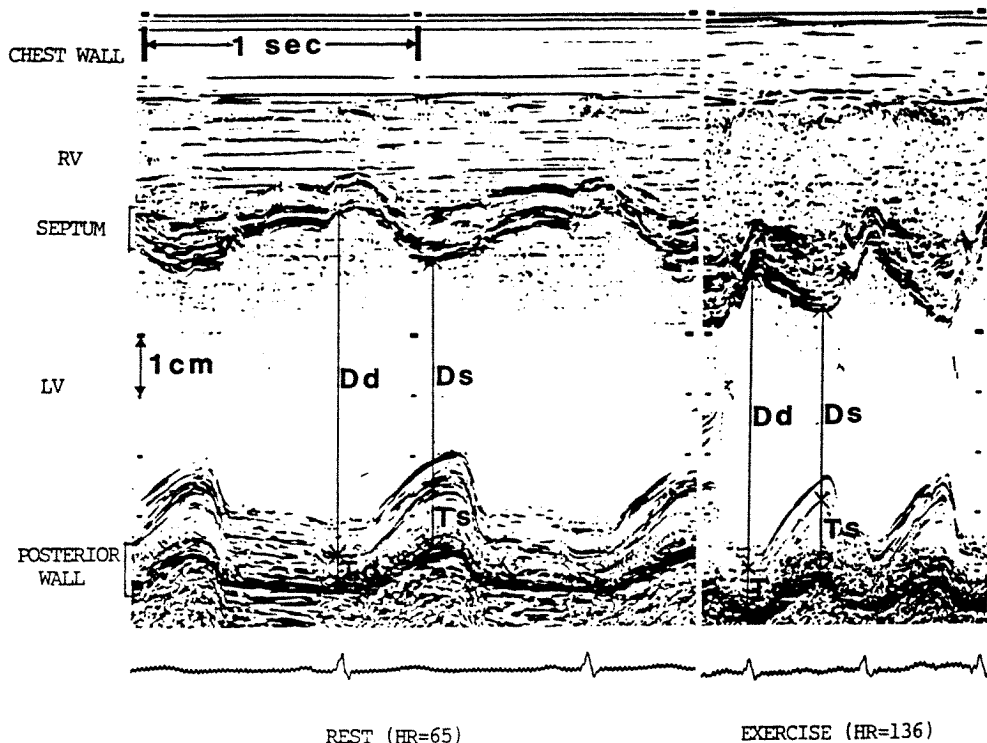


Fig. 1. Left ventricular M-mode echocardiograms at rest(left) and exercise(right) in a 52-year-old woman. The scale and paper speed are the same for both.

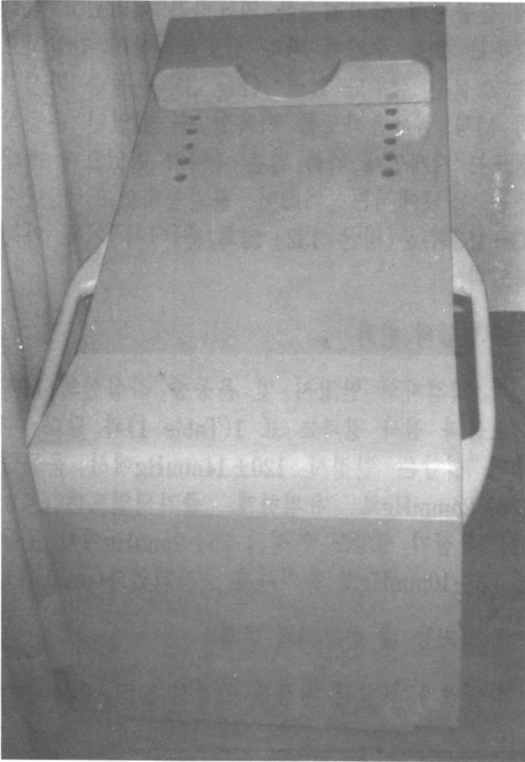


Fig. 2. Table for 20° supine ergometer exercise.

서 운동중 $5.14 \pm 0.40\text{cm}$ 로 유의한 변화는 없었으나 운동중 7예에서 증가되었고, 수축말기 좌심실 내경은 안정시 $3.42 \pm 0.32\text{cm}$ 에서 운동중 $3.09 \pm 0.33\text{cm}$ 로 유의하게 감소되었으며($p < 0.01$) 10예중 9예에서 감소되었으나 64세 여자 1예(Table 1, 예 4)에서는 증가되었다(Fig. 4). 확장말기 좌심실 후벽두께는 안정시 $0.74 \pm 0.09\text{cm}$ 에서 운동중 $0.71 \pm 0.12\text{cm}$ 로 유의한 변화는 없었으나 4예에서 감소하였으며, 수축말기 좌심실 후벽두께도 안정시 $1.35 \pm 0.19\text{cm}$ 에서 운동중 $1.39 \pm 0.25\text{cm}$ 로 유의한 변화 없이 8예에서 증가되었다.

좌심실의 분획 단축율은 안정시 $32.8 \pm 2.0\%$ 에서 운동중 $39.9 \pm 5.3\%$ 로 유의하게 증가되었으나($p < 0.01$), 수축말기 좌심실 내경이 증가되었던 예 4에서는 감소되고 나머지 9예에서는 모두 증가되었다(Fig. 4).

수축기 좌심실 최대 벽긴장도는 안정시 $245 \pm 52 \text{ } 10^3\text{dyn/cm}^2$ 에서 운동중 $381 \pm 73 \text{ } 10^3\text{dyn/cm}^2$ 로 유의하게 증가되었으나($p < 0.01$), 수축말기 좌심실 벽긴장도는 안정시 $75 \pm 16 \text{ } 10^3\text{dyn/cm}^2$ 에서 운동중 $93 \pm 26 \text{ } 10^3\text{dyn/cm}^2$ 로 유의한 변화가 없었으며, 51세

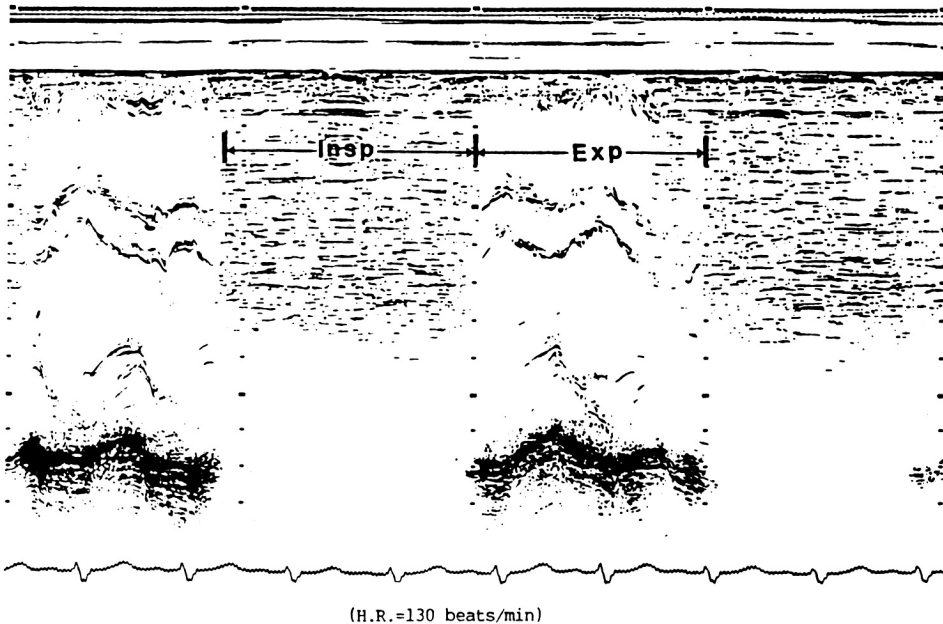


Fig. 3. A M-mode echocardiogram of left ventricle during exercise. There is a loss of echocardiogram of left ventricle due to marked interference with respiration. Insp : inspiration, Exp : expiration.

Table 1. M-mode echocardiographic data at rest and during 20° supine ergometer exercise

Case		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mean	SD
Age(year)		55	51	52	64	44	43	40	62	70	54	54	10
Sex		F	F	F	F	M	M	M	M	M	M		
BP	Re	110/70	130/70	100/60	120/80	120/70	110/70	130/80	120/80	110/80	160/90	120/75	14/9
	Ex	150/80	160/80	180/100	180/100	190/80	160/70	190/80	150/90	170/90	230/90	176/86	24/10*
HR	Re	67.4	58.4	65.4	63.2	59.4	67.9	69.6	60.2	61.2	71.6	64	5
	Ex	141	83	129	152	126	144	153	120	144	129	132	21*
Dd	Re	5.25	4.88	4.72	4.55	4.79	5.18	6.16	5.06	5.17	5.04	5.10	0.44
	Ex	4.94	5.26	4.89	4.66	4.85	5.20	6.11	5.17	4.99	5.31	5.14	0.40
Ds	Re	3.43	3.35	3.23	2.92	3.42	3.53	4.19	3.36	3.47	3.33	3.42	0.32
	Ex	3.12	2.96	3.10	3.24	2.88	2.77	3.96	2.97	3.05	2.87	3.09	0.33*
Td	Re	0.64	0.68	0.88	0.74	0.78	0.61	0.70	0.74	0.76	0.90	0.74	0.09*
	Ex	0.70	0.68	0.80	0.66	0.56	0.54	0.72	0.69	0.79	0.96	0.71	0.12
TS	Re	1.13	1.12	1.46	1.23	1.22	1.36	1.38	1.36	1.46	1.74	1.35	0.19
	Ex	1.17	1.32	1.35	1.03	1.25	1.39	1.43	1.38	1.66	1.93	1.39	0.25
% FS	Re	35	31	32	36	29	32	32	34	33	34	32.8	2.0
	Ex	37	44	37	30	41	47	35	43	39	46	39.9	5.3*
PSS	Re	269	274	151	212	212	279	343	239	218	254	245	52
	Ex	310	366	316	372	493	466	482	331	310	360	381	73*
ESS	Re	84	97	51	67	83	69	99	70	61	67	75	16
	Ex	97	83	96	143	102	71	129	74	68	68	93	26
ESS	Re	24	29	16	23	24	20	24	21	18	20	22	4
	/DsI	Ex	31	28	31	44	35	26	33	25	22	30	6*
SBP	Re	32	39	31	41	35	31	31	36	32	48	36	5
	/DsI	Ex	48	54	58	56	66	58	48	51	56	58	9*

*p<0.01

BP, blood pressure ; HR, heart rate ; Dd and Ds, left ventricular end-diastolic and end-systolic dimension ; Td and Ts, end-diastolic and end-systolic thickness of left ventricular posterior wall ; % FS % fractional shortening ; PSS(10^3 dyn/cm²), peak systolic wall stress of left ventricle ; ESS(10^3 dyn/cm²), end-systolic wall stress of left ventricle ; ESS/DsI, end-systolic wall stress of left ventricle/systolic dimension index of left ventricle ; SBP/DsI, systolic blood pressure/systolic dimension index of left ventricle ; Re, rest ; Ex, exercise.

여자 1예(Table 1, 예 2)에서만 감소되었다(Fig. 5).

수축말기 좌심실 벽긴장도/수축말기 좌심실 내경 및 수축기 혈압/수축말기 좌심실 내경은 각각 안정시 22 ± 4 및 36 ± 5 에서 운동중 30 ± 6 및 58 ± 9 로 전예에서 유의하게 증가되었다(Fig. 6).

고 안

현재까지 운동 심초음파검사에는 악력운동(handgrip exercise)같은 정적운동⁷⁾과 자전거 운동력 측정계(bicycle ergometer) 및 답차(treadmill)에

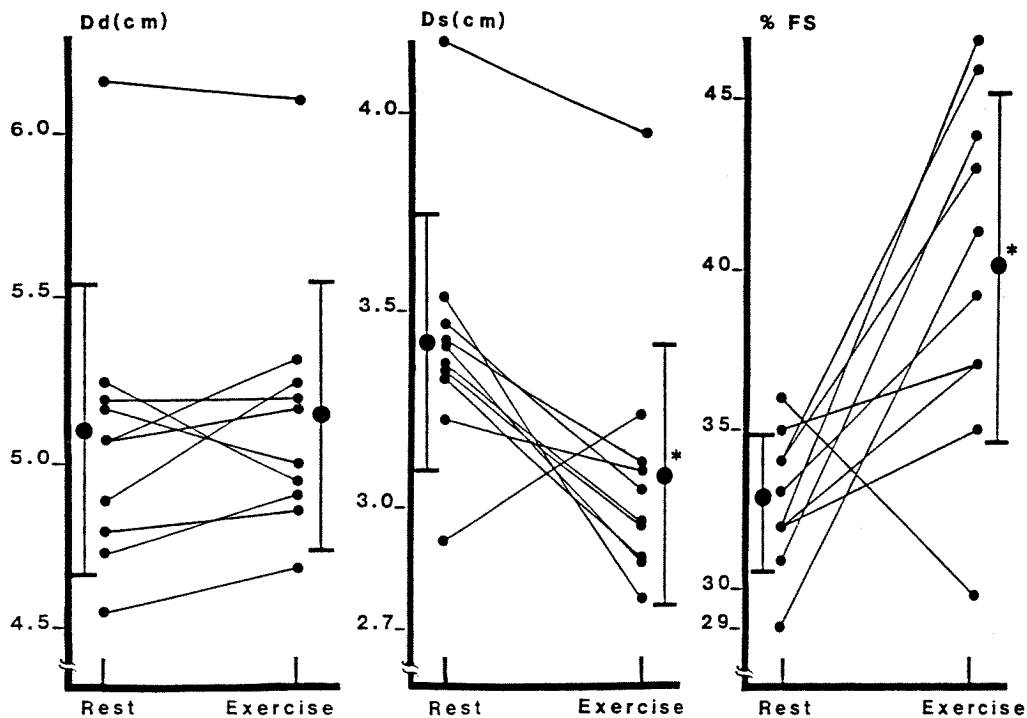


Fig. 4. Effects of exercise on left ventricular end-diastolic(Dd) and end-systolic dimension(Ds), and fractional shortening(% FS). * $p < 0.01$

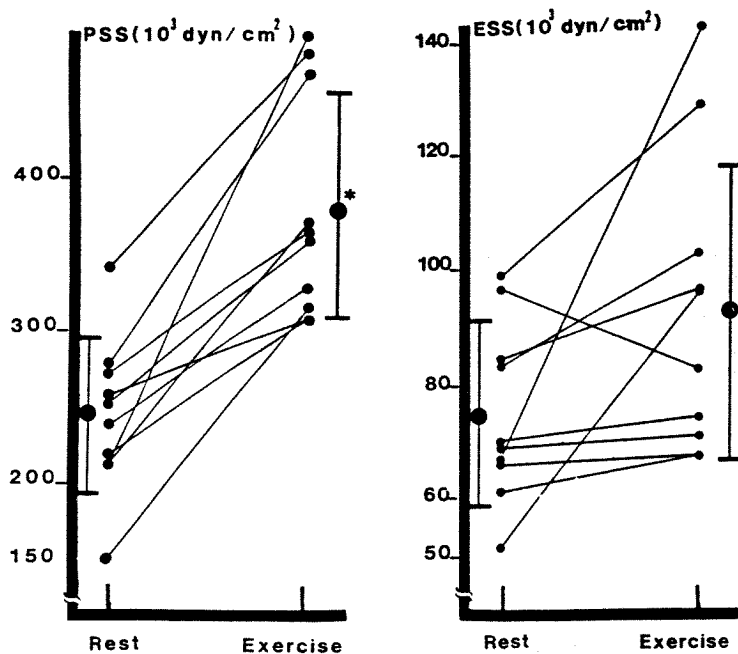


Fig. 5. The effects of exercise on peak systolic wall stress(PSS) and end-systolic wall stress(ESS). * $p < 0.01$

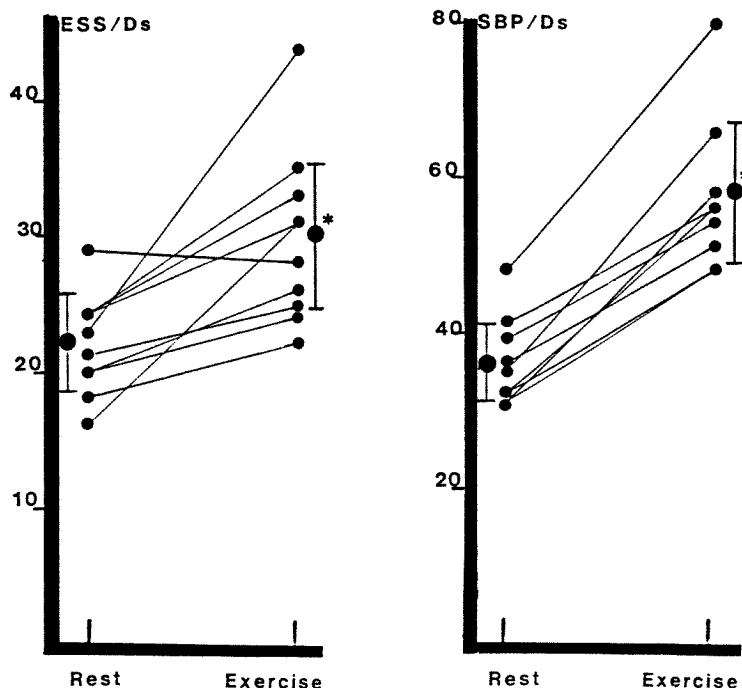


Fig. 6. The effects of exercise on end-systolic wall stress/end-systolic dimension(ESS/Ds) and systolic blood pressure/end-systolic dimension(SBP/Ds). * $p < 0.01$

의한 동적운동이 이용되고 있으며, 동적운동은 입위에서 시행하는 방법⁸⁾과 양와위에서 시행하는 방법^{5,9,10,11,12,13)}이 이용되고 있다. 정적인 운동은 일반적인 생리적 운동상태가 아니며 최고 운동량에 도달하기 어려운 점이 있고, 입위에서의 동적운동은 생리적 운동과 유사하고 심박수 증가가 빠르며, 심질환 환자에서 폐부종이 잘 초래되지 않는 장점이 있으나, 상체의 움직임이 심해 심초음파도를 얻기 위해서는 여러가지 복잡한 장비를 필요로 하고 피검자가 상체를 약간 앞으로 구부리는 경향이 있어 심초음파도를 심첨부나 늑골하 부위에서만 얻을 수 있는 단점이 있다. 저자가 이용한 양와위에서의 동적운동은 심박수 증가가 낮고, 심질환 환자에서 폐 부종등이 잘 초래되는 단점이 있으나, 상체를 비교적 충분히 고정시킬 수 있고, 심초음파도를 얻을 수 있는 부위에 제한이 없으며, 비교적 간단하게 실시할 수 있어 많이 시도되고 있다. 그러나 상체의 고정이 비교적 용이한 양와위 동적운동에서도 최대 운동중에는 호흡운동과 흉부 움직임 때문에 심초음파도의 기록이 어려우

며 본 연구에서는 심박수 83~153회/분(평균 132 ± 21 회/분)에서 좌심실의 심초음파도를 기록할 수 있었는데 이는 Sugishita와 Koseki⁵⁾의 97~109회/분 보다 높았으며 이러한 차이는 본 연구에서 어깨 고정대 이외에도 운동대 양측에 손잡이를 부착하여 운동중 상체고정이 더 양호했기 때문일 수도 있고 또한 측정가능한 좌심실 심초음파도를 기록할 수 있는한 최대운동을 시켰기 때문으로 사료된다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 최대 운동 상태에서는 좌심실 심초음파도를 기록할 수 없는 것으로 보아 운동 심초음파 검사는 최대 운동중에는 이용할 수 없고 아최대 운동중에만 이용할 수 있을것으로 사료된다.

전부하를 반영하는 확장말기 좌심실 내경은 안정시와 운동중 유의한 변화가 없었는데 이는 Sugishita 및 Koseki⁵⁾의 결과와 일치하며, 3예에서 감소되고 7예에서 증가한 것은, 정상인에서 확장말기 좌심실 용적이 양와위 운동에서는 변화가 없거나 약간 감소하며^{14,15)} 입위 운동에서는 최대 운동시 증가할 수도 있는 것¹⁷⁾으로 보아, 저자들은

피검자를 20° 정도의 앙와위에서 아최대 운동시켰기 때문으로 추정된다. 반면 정상인에서 앙와위 동적운동중 수축말기 좌심실 내경이 감소되고 분획단축율이 증가되는 것은 Sugishita와 Koseki⁵⁾ 및 Mason¹⁶⁾의 결과와 일치되며 이러한 현상은 운동중 교감신경활성도의 증가에 따른 심근수축력의 증가에 기인될것으로 사료된다. 다만 본 연구에서 정상인 10예중 예외적으로 64세 여자 1예(Table 4)에서는 운동중 수축말기 좌심실 내경이 증가하고 분획 단축율이 감소되었는데, Port¹⁸⁾의 보고에 의하면 정상인에서 운동시 구혈율(ejection fraction)이 젊은 사람에서는 증가하지만 나이가 들에따라 감소되어 60세 이상에서는 증가하지 못하거나 감소하는 경우가 있다는 것으로 보아, 구혈율과 밀접한 관계가 있는 분획 단축율^{19,20)}도 같은 변화를 보인것으로 사료된다.

수축기중 좌심실의 후부하의 지표로서는 수축기 좌심실 최대 벽긴장도, 수축기 좌심실 평균 벽긴장도, 수축말기 좌심실 벽긴장도등이 이용되고 있으나 이중 수축말기 좌심실 벽긴장도가 후부하를 가장 잘 반영한다고 알려졌으며, Reichek²¹⁾은 비침습성인 M형 심초음파도에 의한 수축말기 좌심실 벽긴장도와 침습성인 혈관 조영술에 의한 수축말기 좌심실 벽긴장도가 밀접한 상관관계가 있다 하였다. 정상인에서 안정시 수축기 좌심실 최대 벽긴장도 및 수축말기 좌심실 벽긴장도에 대한 저자들의 결과는 Boudoulas²²⁾과 Wilson²³⁾의 보고보다 높았으며, 이는 저자가 측정된 확장말기 및 수축말기 좌심실 내경이 Boudoulas²²⁾과 Wilson²³⁾의 보고보다 더 컸으며, 확장말기 및 수축말기 좌심실 후부두께는 Wilson²³⁾의 보고보다 더 작았기 때문으로 생각되며, 이는 인종및 관찰대상 선택의 차이로 사료된다. 운동중 수축기 좌심실 최대 벽긴장도는 10예에서 모두 유의하게 증가함에 비해, 운동중 수축말기 좌심실 벽긴장도는 유의한 변화는 없었으며 51세 여자 1예(Table 1, 예 2)에서만 감소를 보였는데, 이 예는 최대 운동량에서 좌심실 M형 심초음파도의 기록이 어려워 운동정도를 줄였을때 심박수가 빨리 떨어져 M형 심초음파도 기록시의 심박수가 83회/분으로서, 검사 대상자중 가장 낮은 심박수에서 기록되었으며,

최대 운동후 심박수가 빨리 떨어진 경우 정상인에서도 수축말기 좌심실 벽긴장도가 감소할 수 있는지 아니면 다른 요인이 작용했는지는 더 연구를 필요로 할 것으로 사료된다.

심근 수축력을 나타내는 지표로서 Reichek²¹⁾은 심부하의 변화에 따른 수축말기 좌심실 벽긴장도/수축말기 좌심실 내경의 변화 경사도를 심초음파 검사를 이용하여 측정할 수 있다 하였으며, 저자들은 안정시 및 운동중에만 수축말기 좌심실 벽긴장도/수축말기 좌심실 내경및 수축기 압력/수축말기 좌심실 내경을 구하고 부하변화를 주지않아 경사도는 구할 수 없었으나 각각 운동중 전예에서 증가함을 관찰할 수 있었다.

결 론

동적운동 심초음파검사가 가능한 운동범위를 구하고 정상인에서 운동중 심부하와 심근수축력의 변화를 관찰하기 위하여 심·폐질환이 없을 것으로 추측되는 40세이상의 건강한 성인 10예를 대상으로 앙와위 동적운동 심초음파 검사를 시행하였는 바, 운동중 좌심실 M형 심초음파도의 기록이 가능한 운동범위는 심박수 83~153회/분(평균 132 ± 21 회/분)이었으며, 전부하의 지표로서 확장말기 좌심실 내경은 안정시와 운동중 큰 변화가 없었으며, 수축말기 좌심실 내경은 유의하게 감소를 보였다($p < 0.01$). 심기능을 나타내는 분획 단축율은 운동중 유의하게 증가하였으며($p < 0.01$), 후부하를 나타내는 좌심실 벽긴장도중 수축기 좌심실 최대 벽긴장도는 운동중 유의하게 증가를 보였으나($p < 0.01$), 수축말기 좌심실 벽긴장도는 운동중 유의한 변화가 없었다. 심근수축력을 나타내는 수축말기 좌심실 벽긴장도/수축말기 좌심실 내경 및 수축기 혈압/수축말기 좌심실 내경은 모두 운동중 유의하게 증가하였다($p < 0.01$).

이상의 연구결과로서 동적운동 심초음파검사는 아최대 운동(submaximal exercise)에서만 심초음파 기록이 가능하지만 다른 검사방법으로는 쉽게 측정할 수 없는 좌심실 작업량의 변수를 비침습적으로 평가할 수 있어 여러가지 심장병의 병태생리의 연구에 이용될 수 있을 것으로 사료되었다.

References

- 1) Braunwald E, Isselbacher KJ, Petersdorf RG, Wilson JD, Martin JB, Fauci AS : *Harrison's principles of internal medicine*, 11th ed, p863, Mc Graw-Hill Co, 1987
- 2) Stefadouros JA, Grossman W, Shaway ME, Stefadouros F, Witham AC : *Noninvasive study of effect of isometric exercise on left ventricular performance in normal man*. *Br Heart J* 36 : 988, 1974
- 3) Kraunz RF, Kennedy JW : *Ultrasonic determination of left ventricular wall motion in normal man, Studies at rest and after exercise*. *Am Heart J* 79 : 36, 1979
- 4) Smithen CS, Wharton CFP, Sowton E : *Independent effects of heart rate and exercise on left ventricular wall motion measured by reflected ultrasound*. *Am J Cardiol* 30 : 43, 1972
- 5) Sugishita Y, Koseki S : *Dynamic exercise echocardiography*. *Circulation* 60 : 743, 1979
- 6) Sahn DJ, DeMaria A, Kisslo J and Weyman A : *Recommendations regarding quantitation in M-mode echocardiography : Results of survey of echocardiographic measurements*. *Circulation* 58 : 1072, 1978
- 7) Mitamura H, Ogawa S, Yamazaki H, Handa S and Nakamura Y : *Two dimensional echocardiographic analysis of wall motion abnormalities during hadngrip exercise in patients with coronary artery disease*. *Am J Cardiol* 48 : 711, 1981
- 8) Redwood DR, Henry WL, Goldstein S, Smith ER : *Design and function of mechanical assembly for recording echocardiograms during upright exercise*. *Cardiovas Res* 9 : 145, 1975
- 9) Visser CA, Van Der Wieken RL, Kan G, Lie KI, Busemann-Sokele E, Meltzer RS and Durrer D : *Comparison of two dimensional echocardiography with radionuclide angiography during dynamic exercise for the detection of coronary artery disease*. *Am Heart J* 106 : 528, 1983
- 10) Sugishita Y, Matsuda M, Ito I and Koseki S : *Evaluation of left ventricular disease : Noninvasive analysis of its determinants by dynamic exercise echocardiography*. *Acta Cardiol* 38 : 103, 1983
- 11) Matsumoto M, Hanrath P, Kremer P, Tams C, Langenstein BA, Schuler M, Weiter R and Bleifeld W : *Evaluation of left ventricular performance during supine exercise by transesophageal M-mode echocardiography in normal subjects*. *Br Heart J* 48 : 61, 1982
- 12) Takahashi H, Koga Y, Itaya M, Nagata H, Itaya K, Ohkita Y, Bekki H, Jinnouchi J, Utsu F and Toshima H : *Detection of exercise induced left ventricular asynergy by two dimensional echocardiography*. *J Cardiogr* 11 : 1193, 1981
- 13) Fedele F, Arata L, Giannico S, Pastore LR, DiRenzi L, Penco M, Agati L, Dagianti A : *Echocardiography during ergometric tests in subjects with stable effort angina*. *G Ital Cardiol* 11 : 310, 1981
- 14) Gorlin R, Cohen LS, Elliott WC, et al : *Effects of supine exercise on left ventricular volume and oxygen consumption in man*. *Circulation* 32 : 361, 1965
- 15) Braunwald E : *The control of ventricular function in man*. *Br Heart J* 27 : 1, 1965
- 16) Mason SJ, Weiss JL, Weisfeldt ML, Garrison JB and Fortuin NJ : *Exercise echocardiography : Detection of wall motion abnormalities during ischemia*. *Circulation* 59 : 50, 1979
- 17) Braunwald E, Ross J Jr, Sonnenblick EH : *Mechanisms of contraction of the normal and failing heart*. 2d ed, Boston, Little Brown and Company, 1976, p417
- 18) Port S, Cobb FR, Coleman RE, et al : *Effect of age on the response of the left ventricular ejection fraction to exercise*. *N Engl J Med* 303 : 1133, 1980
- 19) Stamm RB, Carabello BA, Mayers DL and Martin RP : *Two dimensional echocardiographic mea-*

- surements of left ventricular ejection fraction : prospective analysis of what constitutes an adequate determination. Am Heart J 104 : 136, 1982*
- 20) Quinones MA, Waggoner AD, Reducto LA, Nelson JG, Young JB, Winters WL Jr, Ribeiro LG and Miller RR : *A new simplified and accurate method for determining ejection fraction with two dimensional echocardiography. Circulation 64 : 744, 1981*
- 21) Reichek N, Wilson J, Sutton MSJ, Goldberg S and Hirshfeld JW : *Noninvasive determination of left ventricular end-systolic stress : Validation of method and initial application. Circulation 65 : 99, 1982*
- 22) Boudoulas H, Mantzouratos D, Sohn YH and Weissler AM : *Left ventricular mass and systolic performance in chronic systemic hypertension. Am J Cardiol 57 : 232, 1986*
- 23) Wilson JR, Reichek N, Hirshfeld J : *Noninvasive measurement of load reduction in patients with asymptomatic aortic regurgitation. Am J Med 68 : 664, 1980*