

다단계 운동 답차 성적의 재현능에 대한 고찰

국립의료원 내과학교실

조 준 길·권 영 근·노 태 영
박 귀 동·이 홍 순·이 화 중

서 론

1933년 Goldhammer 와 Scherf 가 허혈성 심장질환의 평가에 처음으로 운동부하검사를 실시하였다. 그후 Master 가 2계단검사를 고안하여 운동부하량을 표준화하고, ST 절의 하강정도에 따른 허혈성심장질환의 진단기준을 제시하였다. 그러나 대부분 환자에서 운동부하량이 부족하였으며 좀 더 부하량이 많은 검사가 초기단계질환을 발견하는데 도움이 될 것으로 생각되었으며¹⁾, 정량적으로 운동을 부하할 수 있는 treadmill 과 bicycle ergometer 가 응용되기 시작하였다²⁾.

허혈성심장질환의 진단은 증상과 관혈적 또는 비관혈적 검사소견에 따라 내려진다. 다단계운동부하시험은 비관혈적 검사중에서 잠재된 심근허혈을 표출해 낼 수 있는 특성이 있는 일종의 유발시험에 속한다. 운동부하검사는 허혈성심장질환의 비관혈적 조기진단 뿐만 아니라 예후결정, 치료효과판정, 심근경색후 재활의 문제, 수술후 효과판정, 부정맥진단, 증상이 없는 자에서 위험인자 평가등 여러 목적으로 사용될 수 있다³⁻²⁰⁾. Gobel 등²¹⁾은 운동부하중 쉽게 얻을 수 있는 심박수 및 혈압의 변화와 목표심박수에 도달하는 운동시간등이 운동부하검사의 예민도와 특이도를 향상시킬 수 있으며 적절한 protocol에 의하여 반복할 때 허혈성심장질환에서 재현될 수 있다고 보고하고 있다.

여태까지 반복운동부하시험을 하였을 때에 나타나는 부정맥^{9, 22)}이나 ST 절 변위²³⁾의 재현능에 대한 보고는 있었으나, 목표심박수에 도달하는 시간의 재현능에 대한 보고는 없었다. 운동부하시험은 다양한 운동양식에 따른 계획된 운동에 대한 생리적인 반응을 보는 것이며 검사하고자 하는 대상의 생리적조건이나 외부인자에 의해 운동부하시험의 결과가 달라질 수 있을 것으

로 추리되며 검사결과가 심장의직인 요소 또는 검사를 실시하는 시간에 따라 다르게 나온다면 진단, 치료효과, 예후를 판단하는데 문제성이 있을 것이다. 또한 한번의 운동검사에 의한 결과로 진단, 치료, 예후를 예견할 수 있다면 입원기간도 줄일 뿐만 아니라 비용면에서도 좋은 수단이 될 수 있을 것이다. 이에 저자들은 반복검사로써 목표심박수에 도달하는 시간의 재현능을 관찰하였으며 한번의 운동부하검사가 실험대상의 심장기능을 어느정도로 표현하여 주는 것인가를 비교자 하였으며, 아울러 운동전후의 폐기능을 병행하여 운동과 폐기능검사와의 관계를 관찰하여 보고하는 바이다.

대상 및 방법

검사대상은 25세~39세 남자로서, 과거력 및 이학적소견에 이상이 없으며 특별한 운동훈련을 받은 일이 없는 건강한 20명을 택하였다. 목표심박수에 도달하는 시간의 재현능을 보기위해 운동부하검사를 3회 반복시행하였다(아침에 2회, 오후에 1회). 아침검사는 9시~10시에 시행하였고 오후검사는 4시~5시에 시행하였으며 다음날 아침 반복 검사하였다. 시행한 운동부하양식은 warming-up 단계로 경사각도없이 0.45 m/sec 로 3분간 운동한 후 Bruce protocol 에 따라 운동하게 하였다(Table 1 참조). 목표심박수는 Lester²⁴⁾가 제시한 최대심박수의 85%로 정하였다. 검사도중 부정맥 및 ST 절과 T파의 변화, 의미있는 증상은 나타난 일이 없었으며 대상 진부가 목표심박수에 도달할 수 있었다. 검사전에 혈압, 심박수, single breath 에 의한 forced expiratory vital capacity 를 측정하였으며 운동부하 검사중 각 단계가 끝났을 때 혈압과 심박수를 측정하였다. 목표심박수에 도달즉시 운동부하를 멈추고 1분, 2분, 4분, 8분, 12분에 각각 혈압과 심박수를 측정

接 受 : 85年 9月 21日

Table 1. Exercise Protocol*

Stage	Speed (m/sec)	Inclination (%)	Duration (min)
0	0.45	0	3
I	0.76	10	3
II	1.12	12	3
III	1.52	14	3
IV	1.88	16	3
V	2.23	18	3
VI	2.46	20	3
VII	2.68	22	3

* Stage 0 as a warming-up period was added into the Bruce protocol

Table 2. Change of Blood Pressure & Heart Rate

	Blood pressure (mean±S.D.)		Heart rate (/min)
	Systolic	Diastolic	
Preexercise	124±9	81±4	80±10
Stage of exercise			
0	133±13	79±6	88±10
I	144±16	76±6	103±9
II	156±13	75±11	120±10
III	168±10	77±7	156±10
IV	167±12	72±8	164±5
Postexercise			
1 min	160±14	78±7	119±12
2 min	144±15	81±7	103±15
4 min	132±10	82±7	98±9
8 min	122±7	82±5	93±8
12 min	120±7	81±5	90±8

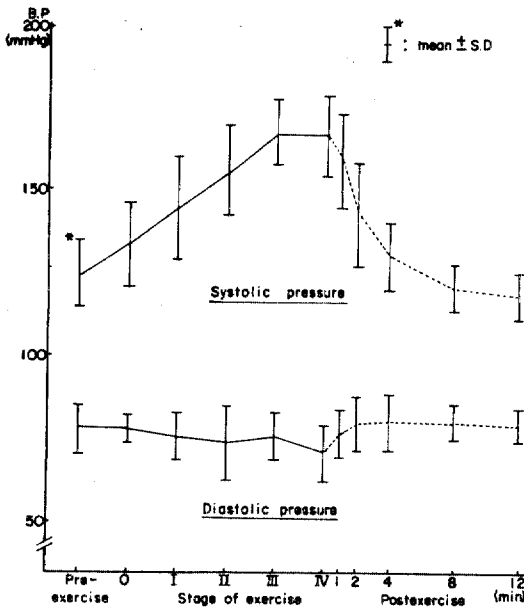


Fig. 1. Change of systolic and diastolic pressure.

정하였고 2분과 4분사이에 폐기능검사를 실시하였다. 기구는 Hellige 사 ECG monitor, recorder, treadmill, spirometer 를 사용하였고 ECG lead system 은 12 lead system 을 사용하였다. 체중에 따른 목표심박수 도달시간의 비교는 student "t" test 로 검정하였고 운동전후의 forced expiratory vital capacity (FEVC) 는 paired "t" test 로 검정하였다. 목표심박수 도달시간의 재현능은 평균시간의 total variation 으로 표현하였다. total variation 은 (관측치-예상치)²의 총합을 (대상총수-2)로 나눈 값으로 하였다.

성 적

1. 혈압과 심박수의 변화

안정시 평균수축기혈압은 124.5±9.2 mmHg 였으며 1단계에서 144.2±16.4 mmHg, 2단계에서 156.6±13.2 mmHg, 3단계에서 168.0±10.2 mmHg, 4단계에서 167.2±12.5 mmHg 로 점차적으로 증가했으며 운동후 수축기혈압은 급격히 하강하여 4분~8분사이 안정시수축기혈압으로 돌아왔다. 또한 운동전과 peak exercise 시의 수축기혈압 차이가 44 mmHg 이었다. 안정시 평균이완기혈압은 81.1±4.3 mmHg 였으며, 1단계에서 76.8±6.9 mmHg, 2단계에서 75.1±11.2 mmHg, 3단계에서 77.3±7.4 mmHg. 별 변화를 보이지 않았지만 4단계에서 72.9±8.4 mmHg 로 의미있게 감소하였다 (Table 2, Fig. 1 참조). 심박수는 안정시 분당 80.02±10.58회, 1단계에서 103.54±9.88회, 2단계에서 120.68±10.843회, 3단계에서 156.21±10.80회, 4단계에서 164.06±5.68회였으며 2단계와 3단계사이에서 가장 많이 증가하였다. 운동종료후 12분에도 분당 90.81±8.24회로 안정시 심박수로 돌아오지 않았다 (Table 2, Fig. 2 참조).

2. 목표심박수에 도달시간과 재현능

Table 3은 오전 2회, 오후 1회, 총 3회에 걸친 1단계에서부터 목표심박수까지 도달한 시간을 나열한 것

Table 3. Time upto Target Heart Rate

Case No./ Trials	1st AM	2nd AM	PM
1	12.2	13	13
2	13	12.5	13
3	12	12	12
4	12.2	11.5	11
5	12	11	13
6	15	13	15
7	12	12	11
8	12.5	12.5	12.5
9	12.5	12.7	12.5
10	13	12.5	12.5
11	12.2	12.2	12.2
12	10	9.5	9.5
13	12	12	12
14	12.5	12.5	10
15	13	13	13
16	15	13	13
17	12	13	13
18	12	12	12
19	12	11	11
20	15	15	13

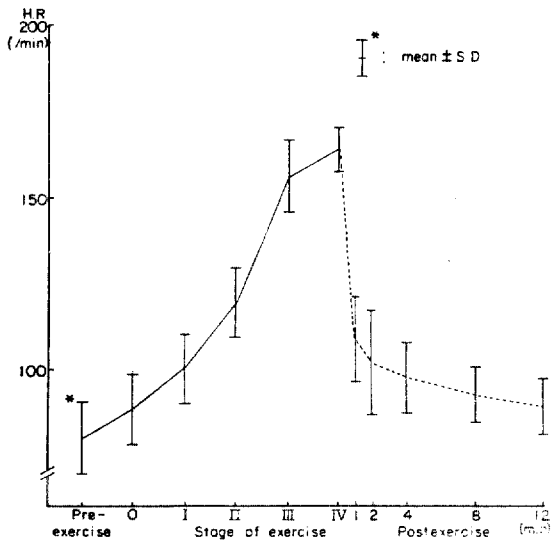


Fig. 2. Change of heart rate.

이다. 첫 오전의 목표심박수에 도달한 시간과 두번째 오전의 도달시간과의 사이에는 유의한 상관관계가 있었다($r=0.78, p<0.001$). 실제로 재현능이 100%인

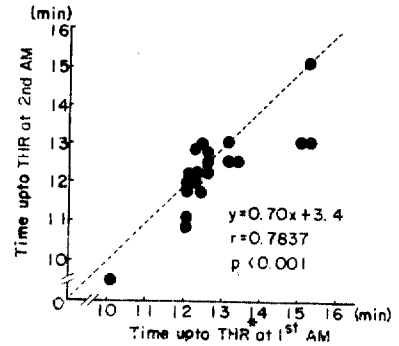


Fig. 3-1. Reproducibility of treadmill exercise test.

* THR: Target heart rate

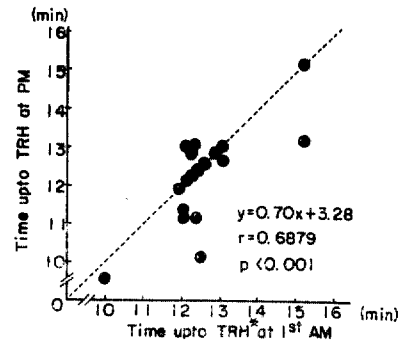


Fig. 3-2. Reproducibility of treadmill exercise test.

* THR: Target heart rate

검사는 총 20명 중 9명으로 45%를 차지하고 있었다. 나머지 11명은 재현능이 100%인 점선과 평균 43초의 일탈도를 보여주고 있다(Fig. 3-1 참조). 첫오전과 오후의 검사에서도 각각 목표심박수에 도달하는 시간 사이에 유의한 상관관계가 있었다($r=0.68, p<0.001$). 재현능이 실제로 100%인 검사는 총 20명중 9명으로 45%를 차지하고 있으며, 나머지 11명은 재현능이 100%인 점선과 평균 43초의 일탈도를 보여주고 있다(Fig. 3-2 참조). 두번째 오전과 오후의 검사에서 목표심박수에 도달하는 시간 사이에도 유의한 상관관계가 있었으며($r=0.62, p<0.001$), 재현능이 실제로 100%인 검사는 총 20명중 12명으로 60%를 차지하였으며, 나머지 8명은 재현능이 100%인 점선과 평균 66초의 일탈도를 보였다. Fig. 3-1과 Fig. 3-2에서 Fig. 3-3보다 재현능이 100%인 점선과의 일탈도는 적었지만 실제로 재현능이 100%인 검사는 Fig. 3-3에서 60%로 더 많았다.

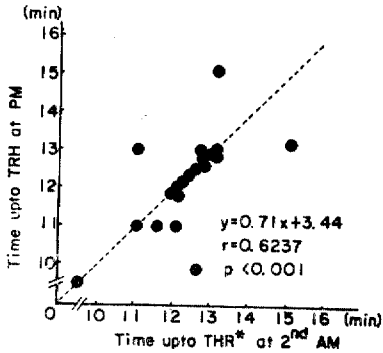


Fig. 3-3. Reproducibility of treadmill exercise test.

* THR: Target heart rate

Table 4. Time Upto Target Heart Rate in Different Groups of Body Weight

% of ideal body weight	Time upto THR (mean±S.D.)
±10%(n=12)	12.81±1.03
10~20%(n=6)	11.80±1.06
20% or more(n=2)	11.79±0.22

3. 체중에 따른 목표심박수 도달시간

Table 4는 체중에 따른 목표심박수에 도달한 시간을 대상군에 따라 평균한 시간이다. 체중에 따른 목표심박수에 도달한 시간을 비교해 보면, 표준체중의 ±10% 이내의 대상군에서 12.81±1.03분, 표준체중의 20% 이상이 더 많은 비만군에서는 11.79±0.22분으로 비만군에서 의미있게 짧았다(Fig. 4 참조). 즉 비만한 군에서 목표심박수에 도달한 시간이 짧은 것은 비만이 심박수에 영향을 끼칠 수 있으며 비만군의 cardiac reserve가 표준체중군의 cardiac reserve 보다 적다는 것을 의미한다.

4. 운동전후의 FEVC

운동전후의 FEVC를 비교해 보면, 운동전이 표준²⁵⁾의 100.25±8.57%였고 운동후가 104.38±9.28%로 의미있게 증가하였다(Fig. 5 참조). 운동후에 산소소비량이 운동전보다 더 많다는 것을 간접적으로 시사해 준다.

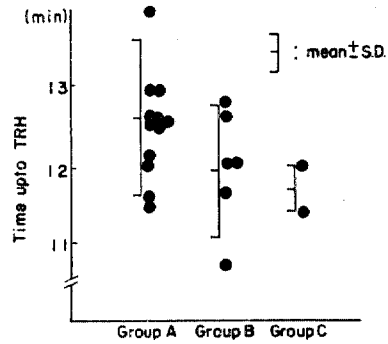


Fig. 4. Comparison of time upto THR*

Group A, ±10% of IBW*

Group B, 10~20% of IBW

Group C, 20% or more of IBW

* THR: Target heart rate

* IBW: Ideal body weight

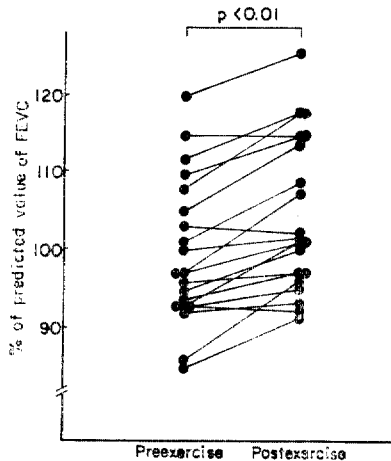


Fig. 5. Comparison of forced expiratory vital capacity(FEVC).

고 안

운동은 심장에 여러가지 생리적 변화를 일으키는데, 미주신경긴장도는 감소시키고 심장에 대한 교감신경긴장도를 증가시켜 말초신경계의 catecholamine 농도를 증가시키게 된다²⁶⁾. 운동생리연구결과에 의하면, 운동량이 증가되면 따라서 산소섭취량이 증가되고 운동량을 극도로 증가시키면 산소섭취량이 더 이상 증가되지 않는 상태에 도달한다. 이때의 산소섭취량은 최대산소소비량이며, 운동량은 생리적인 최대운동작업능이 된다. 이 최대작업능은 호흡기, 질환이 없을 경우 심장활동량을 정량적으로 표시해 주는 척도가 된다.

운동부하검사의 예민도와 특이도는 보고자에 따라 다양하다. 그 이유는 부하한 운동량이 다르며²⁷⁾, 사용한 lead system²⁸⁾, 운동심전도의 양성기준²⁹⁾이 다르며 또한 검사한 대상군의 유병률이 보고자에 따라 각각 다르기 때문이다. 운동부하검사의 예민도와 특이도를 높이기 위해 thallium²⁰¹ 을 이용하여 운동전후의 radioactivity를 측정하여 심장의 기능을 더 잘 반영하는 검사방법도 발표된 바 있다³⁰⁾. 그러나 허혈성심장질환환자의 운동부하검사의 결과를 평가하는데 있어서 합리적인 방법으로는 Bayes씨 이론에 따라야 할 것이다. 즉 검사의 신뢰성은 검사한 대상군의 질병유병률에 따라 좌우된다^{18, 30)}.

허혈성심장질환의 유무나 그 정도를 알 수 있는 지표로는 최대산소소비량³¹⁾, 최대운동시간으로 추측할 수 있는 functional aerobic capacity^{31~33)}, 최대심박수와 혈압^{34~35)}, 최대심박수·혈압상승치³⁷⁾ 등이 있다. 이러한 여러지표의 진실성은 두가지 요소에 좌우되는 데³³⁾, 첫째 건강인에서 얻어지는 지표의 정확성과 안정성이며, 둘째, 지표의 정상과 비정상을 나누는 한계를 어떻게 정하느냐이다.

심근의 산소소비량과 심근혈류량은 심박수와 심박수·혈압상승치에 병행하여 변화한다. 심근의 산소추출량은 안정시와 운동시에 각각 다르기 때문에 심박수·혈압상승치가 심근의 산소소비량을 더 잘 반영해 준다³⁹⁾. Robinson⁴⁰⁾은 허혈성심장질환환자에서 적절한 운동양식에 의할때 기립운동시간과 심박수·혈압상승치가 협심증의 증상발현을 좌우한다고 하였으며, 흉통을 초래하는 것은 각각의 환자에서 고정된 위험한제이상으로 심근운동이 증가했을 때 나타난다고 하였다. 운동시 심근소비량은 심근원섬유에 의한 장력과 inotropic state에 의해 결정된다. 즉 장력이 생기고 심근원섬유의 수축이 일어나는 속도로 나타난다. 사람에서 심근수축력과 심벽장력의 측정은 실제적으로 임상에 이용하기 어렵다. Gobel³¹⁾은 심박수·혈압상승치와 심근산소소비량과의 상관관계가 좋으며 정상인에서 뿐만 아니라 허혈성심장질환환자에서의 심근혈류량을 알 수 있는 지표라고 보고하였다. 또한 안정된 협심증 환자에서 반복적인 운동부하검사를 해보면 일정한 심박수·혈압상승치에서 흉통이 유발된다고 보고하고 있다. 심장판막질환, 심근염, 심근증이 없는 환자가 운동부하검사에서 정상적인 심박수·혈압상승치에 도달하지 못하는 경우는 의미있는 허혈성심장질환을 시사한다고 하였다²⁹⁾. 운동부하검사에서 혈압하강으로 나타나는 심시적 pump failure도 허혈성심장질환의 징후이다⁴¹⁾.

정상시간동안 다단계운동부하검사를 지속하지 못하면 심허혈의 중요한 지표가 된다. 그러나 정상인에서도 warming-up 단계없이 갑자기 운동함으로써 심허혈을 초래할 수도 있다고 보고되었으며⁴²⁾, 이런 사람은 심근이 서서히 운동에 적응이 되면 심. 혈은 일어나지 않으며, 적응이 불충분한 경우 심허혈을 초래하기 때문이다. 저자들의 운동양식은 stage 0를 Bruce protocol에 삽입하여 warming-up 하는 시간으로 삼았다.

Baker⁴³⁾, Morris⁴⁴⁾, Robinson 등⁴⁰⁾은 운동중 과도한 혈압하강이 때로 나타나며 이것은 예민한 지표는 아니지만 심한 허혈성심장질환에서 볼 수 있는 특이도가 높은 징후라고 보고하고 있다. Froelicher 등⁴¹⁾은 peak exercise 중에 수축기 혈압이 162~216 mmHg에 도달한다고 하였는데, 저자들의 경우는 144~160 mmHg의 범위에 있었으며, Froelicher의 결과와 차이가 있는 것은 저자들의 경우 운동강도에 차이가 있었기 때문이라 생각된다. 즉 저자들은 최대심박수의 85%까지를 목표로 운동을 하였기 때문이다. 그러나 Froelicher의 수축기혈압의 증가경사도는 저자들의 결과와 비슷하였다. 4단계에서 수축기혈압이 167.2 mmHg로 단계보다 다소 떨어진 것은 4단계에서 운동 직후에 혈압을 켜 까닭일 것이다. Wolthius⁴⁵⁾은 젊은 건강인에서 운동 중 이완기혈압이 다소 떨어질 수 있으며, 중년과 노년층에서는 이완기혈압이 올라갈 수도 있다고 보고하였다. 그러나 일반적으로 정상인에서 이완기혈압의 증감이 10 mmHg을 넘지 않는 것으로 보고 돼 있으며 저자들의 결과로는 4단계에서 안정시보다 의미있게 감소하였으나 10 mmHg 이상 감소하지는 않았다.

운동부하검사의 심전도결과를 평가하는데 심허혈의 유무보다 더 중요한 것은 심허혈을 초래하는 운동강도이다. 운동강도가 낮을 때 나타난 심허혈이 운동강도가 높을 때 나타난 심허혈보다 더 의미가 있는 것은 물론이다. 목표심박수에 도달하는 시간 역시 운동강도만큼이나 중요하다. 목표심박수에 도달하는 시간이 짧으면 도달시간이 긴 사람보다 cardiac reserve가 적다고 해석된다. 저자들의 3회의 운동부하검사에서 목표심박수에 도달하는 시간은 1단계에서부터 평균 12.31±1.17분이었으며, 100%의 재현능을 보인 경우는 45~60%이었다. 허혈성심장질환환자에서 정상인보다 목표심박수에 도달하는 시간은 짧으리라 생각되나 유사한 결과를 보인 것으로 추측된다. Magdi¹⁹⁾는 급성심경색후에 반복운동부하시험을 하여 기외심실부정맥의 재현능을 조사하여 43~68%의 재현능이 있었다고 보고하였다.

결 론

저자들은 목표심박수에의 도달시간의 재현능을 보기 위해 정상 건강인 20명을 대상으로 treadmill 운동부하검사를 각각 3회씩 시행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 안정시 평균수축기혈압은 124.5 ± 9.2 mmHg, Bruce protocol에 의한 운동부하 3단계에서 168.0 ± 10.2 mmHg, 4단계에서 167.2 ± 12.5 mmHg였으며, 운동후 8분 이내에 안정시 혈압으로 돌아왔다. 4단계에서의 이완기혈압은 안정시 이완기혈압보다 의미있게 감소하였지만 10 mmHg 이상 감소하지는 않았다. 안정시 심박수는 분당 80.02 ± 10.58 회였으며, 운동종료 후 12분에도 90.81 ± 8.24 회로 안정시 심박수로 돌아오지 않았다.

2) 목표심박수에 도달한 시간은 1단계부터 평균 12.31 ± 1.17 분이었으며, 실제로 재현능이 100%인 경우는 45~60% 정도였다. 3회의 운동부하검사에서 각각 유의한 상관관계가 있었고 일탈의 정도가 평균 50초 이내 (평균도달시간의 6.7%)인 것으로 보아 treadmill 운동부하검사의 재현능은 비교적 양호한 것으로 판단된다.

3) 체중이 표준체중보다 20%이상 더 무거운 군에서 목표심박수에의 도달시간은 11.79 ± 0.22 분이었으며, 표준체중의 $\pm 10\%$ 이내인 군은 12.81 ± 1.03 분이므로, 비만한 군에서 1분 더 빨랐다.

4) 운동전 FEVC는 표준의 $100.2 \pm 8.5\%$ 였으며 운동후는 $104.3 \pm 9.2\%$ 로 운동후 FEVC가 의미있게 증가하였다($p < 0.001$).

= Abstract =

The Reproducibility of Time upto Target Heart Rate in Treadmill Exercise Test

Joon Gil Cho, M.D., Young Keun Kwon, M.D.
Tae Young Nho, M.D., Kwi Dong Park, M.D.
Hong Soon Lee, M.D. and
Hak Choong Lee, M.D.

Department of Internal Medicine, National Medical Center

We performed treadmill exercise test 3 times

in 20 healthy men to show reproducibility of time upto target heart rate. And the results were as follows;

1) The mean systolic blood pressure in resting state was 124.5 ± 9.2 mmHg, 168.0 ± 10.2 mmHg in stage III and 167.2 ± 12.5 mmHg in stage IV. The systolic blood pressure in 8 minutes after exercise did return to original blood pressure and diastolic blood pressure in stage IV was significantly decreased as compared with resting state ($p < 0.001$) but not more than 10 mmHg. And the heart rate in resting state was 80.02 ± 10.58 /min and did not return to that of resting state in 12 minutes after exercise, in which the heart rate was 90.81 ± 8.24 /min.

2) Time upto target heart rate was 12.31 ± 1.17 min from the stage I of Bruce protocol. The reproducibility of time upto target heart rate was perfect from 45 to 60% of 20 healthy men. In the remaining portion (40~55%), total variation from the ideal 100% reproducibility line was within mean 50 sec which was 6.7% of mean time upto target heart rate. So the reproducibility of time upto target heart rate was relatively good.

3) Time upto target heart rate in 20% or more of ideal body weight loss shortened as compared with $\pm 10\%$ of IBW. ($p < 0.001$)

4) The forced expiratory vital capacity after exercise was increased significantly ($p < 0.001$)

REFERENCES

- 1) Rowell LB, Taylor HL, Simonson E, Carlson WS: *The physiologic fallacy of adjusting for body weight in performance of the Master two-step test. Am Heart J 70:461, 1965*
- 2) Blomqvist CG: *Use of exercise testing for diagnostic and functional evaluation of patients with arteriosclerotic heart disease. Circulation 44:1120, 1971*
- 3) Stephen NM, John FP, John WJ, Paul LM: *Incidence and significance of decreases in systolic blood pressure during graded treadmill exercise testing. Am J Cardiology 41:*

- 221, 1978
- 4) John PC, Myrvin HE: *Significance of chest pain during treadmill exercise; correlation with coronary events. Am J Cardiology 41: 227, 1978*
 - 5) Machel TA, Gerald BL, Brian CC, Kurt A, Naip T: *Cardiac dysrhythmias associated with exercise stress testing. Am J Cardiology 30: 763, 1972*
 - 6) Akira K, Bernard RC, Martial GB: *Significance of exercise induced junctional ST depression in evaluation of coronary arterial disease. AM J Cardiology 40:492, 1977*
 - 7) Hillis LD, Braunwald E: *Medical progress, myocardial ischemia. N Engl J Med 296:971, 1977*
 - 8) James VF, Paul LM, John WJ, Stephn NM: *Prevalence and reproducibility of exercise-induced ventricular arrhythmias during maximal exercise-induced ventricular arrhythmias during maximal exercise testing in normal man. Am J Cardiology 37:617, 1976*
 - 9) Magdi S, Helen K, Roberta KD: *Reproducibility of exercise induced ventricular arrhythmia after myocardial infarction. Am J Cardiology 43:724, 1979*
 - 10) Robert AB, George PG, Manuel NC, Leoyd DF, Donald RP: *Seattle heart watch, initial clinical, circulatory and eletrocardiographic responses to maximal exercise. Am J Cardiology 33:459, 1974*
 - 11) John TP, Ralph IH, Alvan RF: *Methodologic problems of exercise testing for coronary arterial disease; Groups, analysis, bias. Am J Cardiology 46:807, 1980*
 - 12) Jan-Henrik A, Björn J, Rolf S: *Exercise testing; A prospective study of complication rates. Am Heart J 98:572, 1979*
 - 13) Jacques AM, Louis JP, Roland JM, Vanbutsele BS, Michel FR, Jacques C, Lucien AB, Christian B, Jean-Marie RD: *Diagnostic value of exercise electrocardiography and thallium myocardial scintigraphy in patients without previous myocardial infarction; A Bayesian approach Circulation 63:1019, 1981*
 - 14) James EW, Victor FF, Alderus JS, Michael RL, John HT, Malcolm CL: *The electrocardiographic response to maximal treadmill exercise of asymptomatic men with left bundle branch block. Am Heart J 94:316, 1977*
 - 15) Robert FD, Dennis MD, Nancy H, John F: *Serial ambulatory electrocardiography and treadmill exercise testing after uncomplicated myocardial infarction. Am J Cardiology 45: 547, 1980*
 - 16) Jack AP, John N, Raymond JP, Rolf MG: *Treadmill exercise in assessment of the functional capacity of patients with cardiac disease. Am J Cardiology 30:757, 1972*
 - 17) Joseph TD, Sandra HK: *The prognosis of an abnormal electrocardiographic stress test. Circulation 41:545, 1970*
 - 18) David HJ, Joseph R, Thomas S, John B: *Iso-metric effects on treadmill exercise response in healthy young men. Am J Cardiology 31: 344, 1973*
 - 19) Jeffrey SB, John FB, David RR, Samuel BI, Eugene RP, Neil JS, John MR, Robert IL, Stephe EE: *Limitations of the electrocardiographic response to exercise in predicting coronary arterial disease. N Engl J Med 293: 367, 1975*
 - 20) Arthur ML, Burton ST, John SH: *Hemodynamic responses to graded treadmill exercise in young untreated labile hpertensive patients. Circulation 35:1063, 1967*
 - 21) Gobel FL, Nordstrom LA, Nelson RR, Jorgensen CR, Wang Y: *The rate-pressure product as an index of myocardial oxygen consumption during exercise in patients with angina pectoris. Circulation 57:549, 1978*
 - 22) David SS, Jack CE, Cesar AC, Leo VL, Agustin C, Franklin RB, Robert JM: *Decreased frequency of exercise induced ventricular ectopic activity in the second of two consecutive treadmill tests. Am J Cardiology 39:288, 1977*
 - 23) Thomas BG, Philip JP, Bernard D: *The repr-*

- oducibility of profound ST segment depression to maximal exercise treadmill testing. Am J Cardiology 39:288, 1977*
- 24) Lester FM, Sheffield LT, Reeves TJ: *Electrocardiographic changes in clinically normal older men following near maximal and maximal exercise. Circulation 36:5, 1967*
 - 25) Morris JF, Kosçi A, Johnson LC: *Spirometric standards for healthy nonsmoking adults. Am Rev Respiratory Dis 103:57, 1971*
 - 26) Philip JP, Thomas BG: *Exercise stress testing in the management of cardiac rhythm disorders. Med Clin North America 68:1139, 1984*
 - 27) Redwood OR, Epstein SE: *Uses and limitations of stress testing in the evaluation of ischemic heart disease. Circulation 46:115, 1972*
 - 28) Brendan PP, Larry JB: *Comparative yield of ECG leads in multistage stress testing. Circulation 58:193, 1978*
 - 29) Arthur S, Keith C, Nora G: *On the interpretation of the exercise test. Circulation 58:193, 1978*
 - 30) George AB, Denny DW, Robert SG: *Radionuclide stress testing in the evaluation of patients with coronary artery disease. Harrison's update VI:89, 1985*
 - 31) Mitchell JH, Blomqvist G: *Maximal oxygen uptake. N Engl J Med 284:1018, 1971*
 - 32) Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D: *Maximal oxygen intake and normographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. Am Heart J 85:546, 1973*
 - 33) Bruce RA, Kusumi F, Niederberger M, Peterson JL: *Cardiovascular mechanisms of functional aerobic impairment in patients with coronary heart disease. Circulation 49:696, 1974*
 - 34) Ellestad MH, Wan MKC: *Predictive implications of stress testing. Follow-up of 2700 subjects after maximal treadmill stress testing. Circulation 51:363, 1974*
 - 35) Bartel AG, Behar VS, Reter RH, Orgain ES, Kong Y: *Graded exercise tests in angiographically documented coronary artery disease. Circulation 49:348, 1974*
 - 36) Thomson PD, Kelemen MH: *Hypotension accompanying the onset of exertional angina, A sign of severe compromise of left ventricular blood supply. Circulation 52:28, 1975*
 - 37) Bruce RA, Fisher LD, Cooper MN, Gey GO: *Separation of effects of cardiovascular disease and age on ventricular function with maximal exercise. Am J Cardiology 34:757, 1974*
 - 38) Roger AW, Victor FF, Joseph F, John HT: *The response of healthy men to treadmill exercise. Circulation 55:153, 1977*
 - 39) Jorgensen CR, Wang K, Wang Y, Gobel FL, Nelson RR, Taylor HL: *Effect of propranolol on myocardial oxygen consumption and its hemodynamic correlates during upright exercise. Circulation 48:1173, 1973*
 - 40) Robinson BF: *Relation of heart rate and systolic blood pressure to the onset of pain in angina pectoris. Circulation 35:1073, 1967*
 - 41) Sheffield LT: *Exercise stress test, Heart disease, A textbook of cardiovascular medicine, Braunwald E 2nd Ed: 258, 1984*
 - 42) Barnard RJ, MacAlpin R, Kattus AA, Buckberg GD: *Ischemic response to severe exercise in healthy men. Circulation 48:936, 1973*
 - 43) Baker T, Levites R, Anderson GJ: *The significance of hypotension during treadmill exercise testing. Circulation 54(Supp II):II-11, 1976*
 - 44) Morris SN, Phillips JF, Jordan JW, McHenry PL: *Incidence and significance of decreases in systolic blood pressure during graded treadmill exercise testing. Am J Cardiol 41:221, 1978*
 - 45) Wolthius RA, Froelicher VF Jr, Fisher J, Trie Wasser JH: *The response of healthy men to treadmill exercise. Circulation 55:153, 1977*