

# 심장 부하 검사

경북의대

이 재태

## A. EXERCISE TEST(운동부하 검사)

1929년 Master가 two step test를 소개한 이후 운동부하 심전도 검사는 관상동맥질환의 진단에 이용되어왔고, 오늘날에는 treadmill과 bicycle ergometer를 이용한 다단계 운동검사가 관상동맥질환의 진단과 추적검사에 널리 이용되고 있다. 특히 운동부하 심근관류스캔은 지난 15년간 관상동맥질환의 비침습적인 평가방법으로 그 유용성을 인정받아 왔다.

### 1. 운동부하 심전도검사

#### 적응 및 금기

운동부하 심전도 검사에서 얻는 정보가 향후 치료방침의 설정에 보탬이 될 것인가?, 검사에서 얻는 잇점이 검사에 따른 위험보다 더 유익할 것인가?를 고려하여 시행한다. 알려진 적응과 금기사항은 다음과 같다.

#### \* Indication

- major: to assess etiology of chest pain
- to estimate severity of CAD
- to assess functional capacity & exercise tolerance
- to appraise effects of therapeutic intervention
- to predict future cardiac events in patients with uncomplicated acute MI
- minor: to design cardiac rehabilitation program
- to evaluate symptom(fatigue, palpitation, fainting)
- to evaluate high-risk asymptomatic patients over age 40 or in special occupation (pilot, police, bus driver)

#### \* Contraindication

- absolute: acute MI within 7 days
- uncomplicated heart failure
- unstable angina
- acute myocarditis, pericarditis, SBE

relative: aortic stenosis/IHSS  
left main coronary disease  
severe hypertension  
debilitated or elderly patients

### 검사 방법

검사방법은 검사의 목적과 환자의 장애정도나 신체조건에 따라 결정된다.

#### 1) 등장성 운동 (dynamic, isotonic exercise)

treadmill, bicycle ergometer, upper arm bike-ergometer가 여기에 속하고, 이때는 수축근/이완근이 교대로 수축하여 운동근육의 혈류를 증가시키고 우심으로의 정맥유출이 증가된다. 운동부하 방법은 매단계마다 운동량을 증가시키는 "continuous multistage load test"인데 이는 운동에 관여하는 근육피로를 적게하며 심박수를 증가시킨다. Tread mill protocol은 Bruce, Balke, Ellestad, Naughton등이 있는데 각 방법에서의 최대산소소비량, 심박과 혈압변동은 큰 차이가 없다. Bike-ergometer는 보통 25-30 W에서 시작하고 매단계마다 10-25 W씩 올린다. treadmill test는 간편한 운동방법이나 설치유지 비용이 많아 들고 경사도가 증가하여 고령자나 비만자에 불편하다는 단점이 있고, Bike는 하지근육만을 이용하기에 하지근육 피로가 조기에 나타나고 최대운동능이 tread-mill보다 낮다.

#### 2) 등력성 운동 (static, isometric exercise)

hand-grip, weight-lifting, water skiing등이 여기에 속하고, 이때 소동맥이 압박되어 운동하는 근육의 혈류증가가 제한되고 우심으로의 정맥유입을 촉진하지 못한다.

### 최대 및 아최대 운동부하검사

정상인은 안정시 200-300ml/min의 산소를 섭취하는데 ( $3.5\text{ml/kg/min} = 1\text{ MET}$ ), 최대운동시에는 25-62 ml/kg/min( 7-17.7 METS)까지 섭취가 증가된다. 운동시 수축기혈압은 7-10mmHg/MET 증가하고 이완기 혈압은 별변화가 없다.

#### 1) 최대 운동부하검사

다단계 부하법으로 산소소비량( $V_{O_2}$ )이 최대로 이를때까지 운동부하를 하는 방법으로 호흡기질환이 없으면  $V_{O_2\text{-max}}$ 는 최대운동능과 심기능을 반영해 주는 가장좋은 지표이다. 실제 임상에서는 age-predicted max. heart rate(MHR)을 end-point로 하여 운동을 중지시킨다. 미국 스포츠 의학회가 제안한 것은 ( $.220 - \text{male age}, 210 - \text{female age}$ )이다.

심박수관찰이 어려운 경우에는 증상을 기준으로한 Borg scale로 결정 하므로 일명 "symptom-limited maximal exercise"라고 한다. 최대 운동부하 검사시는 최대 심박수나 Borg scale 19-20까지, 심근허혈 소견이 나타날때 까지 운동시키고, 중지시 심박이 MHR의 85%미만시는 부적절한 부하로 판정을 보류한다.

## 2) 아최대 운동부하검사

Vo<sub>2</sub>-max 까지 운동을 시키는 것이 아니고 검사시행전에 설정한 중지점 까지만 운동을 시키는 "rate-limited exercise"등을 말하며, 급성심근경색중후 퇴원전에 실시하는 "low-level exercise"가 그 예다.

## 운동검사 중지점 ( End point of test )

### Absolute Indication:

- patient's request
- reduction of BP and/or HR during workload
- significant Symptom and sign : severe chest pain, ataxia, vertigo, visual/gait disturbance, confusion, pallor, cyanosis
- serious arrhythmia
- acute MI
- malfunctional equipment in the exercise laboratory

### Relative Indication

- less serious symptom : significant chest pain, dizziness, marked fatigue or dyspnea, severe anxiety, leg cramp/ claudication
- marked S-T segment depression ( > 2mm)
- failure of BP to rise during increasing workload ( < 20mmHg during the first 3 stage)
- marked hypertension ( SBP > 220, DBP > 110mmHg)
- frequent VPC's or multifocal VPC's
- persisting supraventricular tachycardia

## 운동부하 심전도검사의 판정

흔히 사용되는 판단기준은 1mm이상의 horizontal or downsloping ST절 하강( 0.08sec from J point)이나, 1mm이상의 horizontal or upsloping ST절 상승시 양성으로 판정한다. ST절 하강이 2mm이상이거나 운동초기의 ST절 상승, 운동중 기이적인 저혈압이 나타나면 중증의 관상동맥질환이나 심한 좌심실 기능부전을 의미한다. 이외에 심근허혈을 의심케하는 소견은 다음과 같다.

1. 심전도 변화 : 1mm이하의 horizontal or downsloping ST 하강

2mm이상의 upsloping ST 하강  
U파의 음전, R파 높이의 증가  
frequent, multifocal, grouped PVC's: 특히 < 70%의  
운동에서의 VTAC

2. 혈역학의 변화 : paradoxical hypertension  
slowing of heart rate
3. 증상 및 증후 : 운동중 협심통 발작  
제 3, 4 심음 혹은 새로운 심잡음의 출현
4. 운동중지후 회복기에만 나타난 horizontal ST하강

\*\* 위양성 : digitalis, 항우울제의 사용, WPW, MVP, IHSS, 심근염  
고혈압성 심장병, 기존의 이상 심전도 소견

위음성 : 약물의 사용(nderal, nitroglycerin등), old MI,  
부적절한 부하(조기 중단), 좌측 편위

\*\* 평균 예민도는 70%정도, 평균 특이도는 90%로 보고되고있으며  
다혈관 질환일수록 예민도가 크다.

합병증과 안전도 : 17만명 조사에서 사망 0.01%, 합병증 0.02%, 심근경색  
0.0035%로였고 0.02%가 합병증으로 입원치료를 받았다고 보고됨.

## 2. 운동부하 심근관류 스캔

운동부하 심전도검사는 a. 위양성과 위음성이 많고 b. nondiagnostic  
result가 30 - 40%를 차지하며, c. 운동을 하기 어려운 상태의 환자에서  
시행이 곤란하고, d. CAD의 정도를 평가할 수 없는 단점이 있는데 반해  
운동부하 심근스캔은 예민도와 특이도가 높고, nondiagnostic test가  
없으며 CAD에서 ischemia와 scar의 정도를 평가할 수 있다는 장점이 있  
다.

\*\* nondiagnostic ECG (equivocal ECG)

- a. presence of conduction abnormality ( LVH, BBB, WPW syndrome)
- b. presence of ST segment depression (>0.5) at least or during  
hyperventilation with failure to develop additional ST change
- c. failure to reach at least 85% of maximal predicted HR for age  
sex in the absence of ischemic ST segment manifestation
- d. usage of digitalis, beta-blocker

운동부하 심근스캔의 적응증

- a. CAD가 의심되나 nondiagnostic ECG test일때
- b. 운동부하 심전도검사의 결과가 pretest probability와 불일치

- c. angiography상 나타난 병변의 관류결손 정도와 혈액학적인 의의를 알려고 할때
- d. 여성 ( false positive와 nondiagnostic result가 많음)
- e. CABG후 새로운 증상이 나타나거나 재발이 의심스러울때, MVP 환자의 평가, 심근경색후의 위험평가지

**방법**

운동부하 심전도검사와 유사하고 maximal exercise에서 Tl, sestis-MIBI teboroxime등을 순간주사하고 1분간 더 운동을 시킨다음 imaging.

**성적**

planar Tl scan의 경우 예민도 77 -93%, 특이도 75 - 97%, 정확도 79 - 91%로 보고되고 있고, SPECT Tl-scan은 예민도 84 - 96%, 특이도 79 -93%, 정확도 78 -97%로 보고됨

**\*\* Causes of false negative exercise scan**

- 1. inadequate exercise
- 2. distal CAD, mild CAD
- 3. poor quality image
- 4. improper interpretation of image
- 5. delay between the injection of Tl and imaging
- 6. collateral vessels
- 7. diffuse ischemia
- 8. overestimation of CAD by angiography
- 9. one vessel CAD or branch disease

**\*\* Causes of false positive scan**

- 1. misinterpretation of the image
- 2. underestimation of the severity of CAD
- 3. exercise induced spasm
- 4. other form of heart disease
- 5. unknown

**B. COLD PRESSOR TEST (SCAN)**

- 1. cold exposure시에는 alpha-adrenergic reflex vasoconstriction되어 reflex bradycardia없이 ventricular overloading되고 심근의 산소요구량이 증가되며 double product에 비례하여 평균 관동맥 혈류량이 증가하게 된다. 그러나 CAD 환자에서는 부적절한 관동맥 수축이 일어나

관동맥 저항이 증가하고 동맥압의 증가에도 불구하고 관동맥혈류가 감소하여 심근허혈을 야기한다.

2. 방법 : 한손을 손목까지 갑자기 얼음물에 넣어 2-3분 두며 심전도, 혈압을 계속 측정하는데 Tl-201은 HR, BP의 변화가 최대로 일어나는 30-60초 사이에 주사하고 촬영을 한다.

## C. ATRIAL PACING

1. intracardiac, transesophageal pacing시 정상인에서는 LV filling pressure, LVEDV, ESV, stroke volume이 감소되고, HR, 심근 산소요구량과 관상동맥혈류는 증가되나 수축기 혈압이나 심박출량은 큰 변화가 없다. CAD 환자에서는 심근의 산소요구량과 공급량의 불균형으로 인해 LVEDV, Pr.의 증가, 부적절한 관상동맥혈류의 증가, 국소 심벽운동의 이상, 흉통, diastolic dysfunction, ST절 하강, 좌심실 구혈계수의 감소등이 일어나게 된다.
2. 방법 : pacing시작후 Tl을 주사하고, 5분이상 pacing을 계속하여 평형에 도달된 후 imaging함. 심방세동이나 방실전도장애가 있으면 사용할 수 없고, 운동할 수 있는 시간, peak HR/BP등의 소견을 얻을 수 없으며 침습적인 검사인 단점이 있다.
3. 성적 : Weiss등은 rapid atrial pacing with Tl scintigraphy로 감수성 94%, 특이도 80%로 보고

## D. MENTAL STRESS TEST

1. mental stress는 정상인에서는 BP, HR, circulating epinephrine농도를 증가시키고 제한된 범위내에서 구혈계수와 관동맥혈류를 증가시키나 CAD환자에서는 국소적인 심근혈류의 감소가 일어나 국소적인 심벽이상운동이 일어나게 된다.
2. 방법 : mental arithmetic stress test는 1013에서 17씩 빼어가면서 답을 묻고 10이되면 이어 다시 10분간 계속하는데, 빠르고 정확한 답을 물어야하고 틀리면 다시 물어 답을 나오게 한다. Tl등은 보통 8분에 투여하고 적어도 2분간은 arithmetic test를 계속시킨 후에 imaging.

## E. PHARMACOLOGIC STRESS TEST (약물부하검사)

Strauss와 Pitt가 개의 협착된 관상동맥 지배부위의 adenosine에 의한 혈류의 변화를 Tl-201으로 촬영한 이후, Gould등은 dipyridamole에 의한 관상동맥확장동안의 심근스캔을 임상에 처음 소개하였고(1974), 최근에는 adenosine과 dobutamine stress에 의한 부하심근스캔이 관상동맥질환의 진단과 환자의 치료후 추적관찰에 널리 이용되고 있다. 안정시의 관상동맥혈류와 심근의 산소요구량은 관상동맥이 85%까지 좁아져 있어도 거의 정상수준으로 유지되나 약물부하후의 최대 관상동맥혈류와 관상동맥혈류 예비능(coronary flow reserve)은 관상동맥의 내강이 30 - 45%의 협착시에도 감소되어있어 약물부하 심근스캔의 이론적 근거가 된다.

### \*\* Advantage of pharmacologic stress test

1. standard, consistant
2. independent of patient endurance
3. not affected by antianginal drug
4. great increase in coronary blood flow
5. side effects are easily reversible

### 1. Dipyridamole(DP) Cardiac Imaging

원리: dipyridamole은 강력하고 선택적인 관상동맥 확장제로, adenosine의 대사 과정에 관계하는 adenosine deaminase를 억제하고 adenosine이 세포내에 섭취되어 대사되는 것을 방해하여 안정상태에서 보다 3 - 5배의 관상동맥 혈류증가를 야기한다. 정맥주사된 dipyridamole은 주로 작은 혈관에 직접적으로 작용하여 혈관을 확장하고 부분적으로는 HR, stroke volume, cardiac output, double product를 증가시킨다. 협착이 있는 관상동맥에서는 혈류증가가 뚜렷하지않아 정상부위와 contrast가 생기는데, 심혈류증가에 비례해서 심근에 섭취가 되는 방사성핵종을 최대부하에서 투여하면 혈류가 감소된 부위의 영상진단이 가능하다. 또한 협착이 있는 부위 전후의 혈류 압력의 차이는 유속이 빨라질수록 증가하므로 혈류의 증가에 따라 압력의 차이가 더 커지고 심내막으로 가는 혈류의 감소되는데 때로 다혈관질환이나 측부순환이 있는 환자에서는 "true steal phenomenon"에 의한 심근허혈이 발생할 수도있다. IV DP의 peak effect는 주사 개시후 6.5분경에 나타나므로 Tl주사는 이시기에 하는 것이 좋고, DP의 작용은 aminophylline에 의해 신속하게 정상화된다.



## 부작용

- a. cardiac : angina (17-42%), ST depression (3-20%), arrythmia (0-19%)
- b. non-cardiac : headache (5-20%), flushing (2-15%), dizziness or light-headedness (3-21%), nausea/vomit/eigastric pain (4-20%)

## 2. Adenosine Cardiac Imaging

원리 : adenosine은 potent vasodilator로서 renal afferent arteriole, hepatic vein을 제외한 systemic vascular resistance를 감소시킨다. IV adenosine은 수초이내에 작용을 나타내고 매우 짧은 반감기(<10초)를 가지고 있어 부작용이 경미하므로 dipyridamole에서와 같이 심근스캔에 병용하여 이용되고 있다. IV adenosine의 인체에서의 작용은 소량에서는 vagal inhibition으로 HR를 증가시키고, 다량에서는 SA, AV node를 억제하여 일시적인 서맥과 AV node전도를 차단시킨다. 이외에도 antiadrenergic effect와 소량의 심박출량의 증가, 다량에서는 BP의 감소, reflex increase of HR등이 생길 수 있고, 심근경색후의 재관류 손상을 방지하는 역할도 한다. adenosine은 plasma에서 RBC, vascular endothelial cell에 빠르게 재섭취되고 세포내 대사가 이루어지므로 관상동맥 순환에서는 single pass로 거의 제거되어 adenosine 5'-mono phosphate나 inosine으로 대사되어 진다.

Indication은 Dipyridamole과 동일

Contraindication :

1. asthma, bronchospastic disease
2. sick sinus syndrome
3. 2°, 3° degree AV block
4. severe hypotension ( SBP < 80mmHg)
5. acute MI, unstable angina --- relative
6. aminophylline, coffee, dipyridamole medication

방법 : adenosine 140ug/kg/min을 continuous IV infusion하고 3분에 imaging agent를 주사한 후 imaging



방법 : beta-blocker 48hr, long-acting nitrate 6hr이상 끊고 시행한다  
와위에서 DBT 5, 10, 20, 30, 40 ug/kg/min for 3min로 서서히 증량시키  
고, maximal tolerable dose의 1분후에 Tl주사하고 imaging. 이때  
HR, SBP, double product는 증가하고 DBP는 감소한다고 알려져있다.

\*\* termination of DBT infusion

1. angina of a severity
2. significant arrhythmia
3. severe hypertension ( SBP >230, DBP >130)
4. fall in SBP > 20mmHg
5. ST depression > 2mm
6. HR >110

적응증은 DP와 유사하나 bronchospastic disease와 어느정도의 저혈압에  
서도 시행할 수 있다.

성적 : Tl SPECT --- sensitivity 93%, specificity 82% (Mason et al)