□ 종 설 □

운동검사의 실제

고려대학교 의과대학 내과학교실

劉 世 和

Practical Exercise Testing

Se Hwa Yoo, M.D.

Department of Internal Medicine, College of Medicine, Korea University

서 론

운동검사는 신체적 운동으로 호흡 및 순환기관을 자극하여 산소섭취 및 탄산가스의 배출, 순환에 관여하는 여러 기체들을 검사하는 방법이다. 그러나 이제까지의 운동검사는 운동부하심전도(exercise stress ECG)로 대표되듯이 협심증과 심근의 허혈상태를 진단하는 데에 주로 이용되어 왔을 뿐이다. 운동은 심장뿐 아니라, 폐, 폐순환, 말초 순환기능등의 종합적인 기능에 의존하므로 운동검사에서는 심전도 반응 이외에 다른 생리학적 변수들의 측정을 필요로 한다.

본 중설에서는 운동검사의 새로운 이해를 돕고자 운동검사의 의의와 운동에 따른 생리적반응과 시행방법, 이를 이용하여 얻을 수 있는 성적을 간단히 소개하고자 한다.

I. 운동검사의 목적과 이용

심장과 폐는 인체의 다른 장기와 마찬가지로 충분한 예비능(reserve)을 가지고 있어 임상증상이 생기기 전에도 심폐기능은 크게 저하될 수 있다(Fig. 1). 또 일단 증상이 생기기 시작하면 작은 기능의 변화로도 증상은 급격히 나빠져서, 증상의 경중으로는 심폐기능의 이상을 객관적으로 평가하기 어려울 때가 많다. 그러므로 질병의 초기에 운동부하로서 심폐기능의 이상을 발견할 수도 있고, 임상증상(주로 호흡곤란)을 객관적으로 정량화할 수 있다. 이러한 객관적 평가는 진단은 물론 병의 경과나 치료효과를 평가하는 데 도움을 줄

수 있다.

또 운동부하를 증가시키면서, 환기량($\dot{V}E$), 가스의 교환상태, 심박수의 변동으로부터 기능장애의 유형을 알 수 있어 심폐 기능의 이상을 자세히 분류할 수 있고, 운동검사에서 발생하는 증상이나 이상소견으로부터 협심증이나 운동유발형 천식, 말초혈관질환등을 진단할 수도 있다. 운동검사가 유용한 경우를 요약하면 Table 1과 같다.

II. 운동에 따른 생리적 반응(Exercise physiology)

운동부하에 따른 순환계 및 호흡기계의 정상 반응은 병적인 상태를 이해하는데 중요하므로 간단히 살펴보고자 한다.

1. 순환계의 운동에 대한 반응

운동하는 근육에 산소를 충분히 공급하기 위해서 심박출량(CO)이 증가해야 한다. 기립성운동(upright exercise)에서는 초기에는 1회심박출량(stroke volume, SV)과 심박수(HR)가 증가한다.

심박수는 최대운동시까지 산소섭취량($\dot{V}O_2$)에 비례하여 증가하며, 순환기능의 한계를 결정하는 요인이다^{2,3)}. 정상인에서는 200회/분정도이며 연령에 따라 감소하는 데 다음 수식으로부터 계산해 낼 수 있으며⁴⁾ 우리나라 사람에 대한 성적도 보고된 바 있다^{5,6)}.

$$\text{최대심박수} = 210 - 0.65 \times \text{연령 (yrs)}$$

SV의 증가는 확장기말용적(Frank-Starling 가설)의 증가와 수축기말 용적의 감소에 기인하는데 후자는 심

Table 1. Indications for Exercise Testing

Objective assessment of symptoms
Assessment of impaired function
Diagnostic uses
• myocardial ischemia
• peripheral vascular disease
• exercise-induced asthma
• unfitnes
• vasoregulatory asthenia
• psychogenic dyspnea
• muscle phosphorylase deficiency

(Modified from N.L. Jones and E.J.M.Campbell, Clinical Exercise Testing, Philadelphia, W.B. Saunders Co, 1982)¹⁾

Fig. 1.

근 수축력의 향진에 의한다. 기립성운동 초기에는 SV 이 안정시의 30~50%까지 증가하나 운동이 격렬해지면 더이상 증가하지 않는데 SV 은 운동이나 체력훈련을 통하여 증가시킬 수 있다²⁾.

심박수가 증가하는 기울기 (slope $HR/\dot{V}O_2$)는 SV 을 반영해 주는데 SV 이 감소된 심장병의 경우나 신체적응도(fitness)가 떨어지는 경우에는 $HR/\dot{V}O_2$ 경사가 급해지고, 운동가에서는 완만하다(Table 2).^{1,2,7)} 증가된 심박출량은 심장을 포함하여 운동하는 근육에 우선적으로 배분되는데 심장의 경우는 안정시의 4~5배, 하지근육에서는 10배까지 혈류가 증가된다.

2. 호흡계의 운동에 대한 반응

환기량은 $\dot{V}O_2$ 가 증가함에 따라 직선적으로 증가하

Fig. 2. Relationship of Heart Rate to oxygen uptake in tranined, untrained and a patient.

Fig. 3. Tidal volume and breathing frequency in normal males.

나 $\dot{V}O_2$ max 의 60~70%에 이르면 환기량은 가속적으로 증가한다(혈기성 역치, anaerobic threshold, AT)^{8,9)}. 이것은 근육의 혐기성대사로 인하여 유산이 과잉생산되어 조직내의 중탄산염(bicarbonate)으로 완충될 때 동량의 이산화탄소가 생성되어 산소호흡으로 생성되는 이산화탄소에 부가되어 배출되어야 하므로 $\dot{V}CO_2$ 가 증가되어 $\dot{V}E$ 가 증가되는 데 기인한다. 운동의 강도가 더욱 높아지면 대사성 산증은 더욱 심해져서 $\dot{V}E$ 가 증가되고 $PaCO_2$ 가 저하된다. 신체적응도

$$\dot{V}_E = 4.54 + .0221 \dot{V}_{CO_2} (S.D. 2.50)$$

Fig. 4. The ventilatory response to exercise. The thick solid line shows mean total ventilation ($\dot{V}_E$) and thin line alveolar ventilation ($\dot{V}_A$). Dotted lines show mean values for P_aCO_2 and P_{EaCO_2}

(physical fitness)가 좋지 않은 사람은 더 낮은 $\dot{V}O_2$ 에서 유산산혈증이 생기나 $\dot{V}O_{2max}$ 에 대한 AT의 비는 정상인과 같다. 환기량의 증가는 1회호흡량(tidal volume, TV)이 초기에 증가하나 TV가 폐활량의 50~60%에 도달하면 호흡수의 증가에 의존한다.

운동부하가 증가하면 VD/VT 는 안정시의 30~35%에서 5~20%까지 감소하며 폐관류가 더욱 균일하게 되어¹⁰⁾ P_{EaCO_2} (end-tidal PCO_2)는 P_aCO_2 보다 상대적으로 높아진다¹¹⁾ (Fig. 3, 4). P_aO_2 는 정상인에서는 운동중에 변동이 없으나 최대 운동시에는 P_aCO_2 가 감소되므로 P_aO_2 가 상승되어 $P(A-a)O_2$ 는 안정시보다는 넓어진다. 확산장애나 환기, 관류부적합에 의한 가스교환 이상에서는 운동초기부터 $A-a DO_2$ 가 넓어진다.

III. 운동검사의 방법과 장비

1. 운동부하의 방법(protocol)^{1), 11)}

최대산소섭취량이나 최대운동량을 측정하려면 인체의 주요 근육을 이용해야 하는데 가장 큰 수의근인 하지의 근육을 이용하는 운동이 편리하다.

계단검사는 장비는 간편하나 최대운동에 도달하기가 어렵고 심박수의 변동이 심해 재현성이 낮아 점차 사용되지 않는 경향이다. 현재로는 답차(treadmill)나 자전거가 가장 널리 사용된다. 운동부하 방법은 짧은 시간에 계속적으로 부하를 증가시키는 방법과 평형상태에 도달하고자 일정한 운동부하를 장시간 계속하는 2

가지로 요약할 수 있다.

연속적 다단계 운동부하검사는 임상적으로 가장 많이 이용되고 있는데, 그 protocol은 검사실마다 다르며, ergometer에 따라서도 달라진다. 답차를 사용할 경우는 Bruce protocol¹²⁾ 및 이의 변형이 보편적으로 이용되며, 운동 시간과 체중에 따라 산소섭취량을 구하는 nomogram을 이용할 수 있어¹³⁾, 특히 심장학분야에서 널리 이용되고 있다. 자전거를 사용할 때는 Åstrand¹⁴⁾나 Jones 등¹⁵⁾의 protocol이 널리 이용된다.

6분이상의 일정한 작업률을 부하시키는 방법은 이론적으로는 평형상태에서 $\dot{V}_E$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}O_2$, $P(A-a)O_2$, CO를 측정할 수 있으나 연령이 높거나, 작업률이 최대작업률이 50% 이상이 되면 완전한 평형상태에 도달하기 어렵다. 또 서로 다른 작업률을 부하하려면 충분한 휴식이 필요하므로 많은 시간과 인력이 필요하다.

연속적 다단계 운동부하검사는 짧은 시간에 최대작업률에 도달할 수 있으며 일상에서 행하는 운동에 가깝다(실제로 평형상태에서 행하는 운동은 거의 없다). 또 가스분석기의 발달과 컴퓨터를 이용하여 대호흡마다의 신속하고 정확한 가스분석으로 심박수뿐 아니라 $\dot{V}_E$, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ 등의 분석이 가능하게 되어 작업률의 변동에 따른 심폐 반응의 유형을 분류할 수 있어 편리하다. 답차는 주행속도와 경사도를 변동시키는데 매 2분마다 경사도만 증가시키는 Balke's protocol¹⁵⁾이 일반운동검사에 많이 이용된다. 자전거의 경우는 동일

한 작업물을 일정시간마다 증가시키는 방법이 많이 이용되고 있다. 환자의 상태에 따라 검사시간을 조정할 필요가 있는데, 운동시간이 6~12분내가 적당하다. 운동시간이 너무 길면 중도에 일찍 중지할 수도 있고 지루하며, 너무 짧으면 필요한 성적을 충분히 얻기 어렵다¹⁶⁾.

답차는 일반 사람에게도 익숙한 운동(보행)을 시키므로 부담감이 적고 대부분의 사람에서 최대작업물까지 운동이 가능하다. 반면 소음이 크고, 면적을 많이 필요로 하고, 자전거보다는 측정 때의 오차가 크고 처음 시행하는 사람이나 노약자에서는 넘어져 다칠 위험이 있으며 직접 외적인 작업물의 측정이 불가능한 단점이 있다.

자전거는 자세와 바퀴의 저항 회전속도를 변동시켜 작업물을 변동시킬 수 있고, 값이 저렴하다(특히 기계적 마찰식 자전거는 답차의 1/10정도). 또 소음이 적고 면적을 좁게 차지하고, 안정감이 있어 기록이나 측정오차가 적고 동맥혈채혈도 용이하고 넘어지거나 다칠 위험성이 적고 직접 작업물을 측정할 수 있으며 체중에 따른 변동이 적은 장점이 있다. 반면 환자가 협조하지 않으면 정확한 운동부하가 안 되며, 답차보다는 낮은 $\dot{V}O_2\max$ 을 보이며, 자전거에 익숙하지 않은 사람은 불편해 하는 단점이 있다. 미국에서는 답차가, 유럽에서는 자전거가 더 많이 사용되고 있다.

2. 운동검사 장비^{1),17)}

Ergometer

자전거는 회전수와 제동의 조절로 일정한 출력을 보여야 하고 손잡이, 안장의 높이가 조정할 수 있어야 한다. 기계적마찰로서 제동하는 종류는 가격이 저렴하다. 전기제동식(electromechanical type)은 페달의 회전속도에 관계없이 일정한 출력을 낼 수 있으나 고가이고 약하며 정기적인 calibration이 필요하다. 답차는 경사도(0~25%)와 속도(1~25 mph)를 조정할 수 있고 응급시 즉시 제동이 가능하고 소음이 적어야 한다.

환기량 측정기

전자공학의 발달로 유속계(pneumotachograph)로서 호기유속을 측정하고 이를 적분하여 환기량을 측정할 수 있어 대부분의 자동화된 기계에서는 pneumotach를 사용한다. gas meter 나 anemometer(Wright's)로도 간편하게 환기량을 측정할 수 있으나 유속이 큰 경우는 부정확하다.

가스분석기

매 호흡 때마다 호기가스의 분석을 위해서는 신속한

가스분석기가 필요하다. 특히 연속적으로 가스분압을 측정하여 이를 유속계의 volume signal 과 연결하면 $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ 의 계산이 가능하다. 호기가스는 적당한 용적의 혼합실(mixing chamber)에서 섞이게 한 후 작은 펌프를 이용하여 탈수장치를, 거치게 한 후 가스 분석기로 연결 시켜준다. 산소는 paramagnetic analyzer 나 polarographic analyzer를, 탄산가스는 infrared analyzer가 가격도 비교적 저렴하고 측정이 신속하다. mass spectrophotometer는 낮은 기류에서도 측정이 신속하고 정확하며 동시에 여러 종류의 질량이 다른 가스도 분석할 수 있으나 너무 고가인 것이 단점이다.

혈액가스분석기

산소전극, 탄산가스전극, pH 전극으로 극소량의 혈액(0.2 ml)으로도 신속한 분석이 가능한 분석기가 나와 있으며 직접 혈관을 천자하지 않고도 컷블정맥을 확장시켜 운동중에도 간단히 채혈이 가능하다¹⁸⁾.

심전계

단순히 심박수만 측정하는 맥박계보다는 심전도를 묘기해야 하며, 특히 운동중의 ST 절, T파, 부정맥유무를 감시하기 위해 심전도의 표시가 필수적이다. 상당한 진동에서도 깨끗한 묘기를 위해서는 적절한 진동 잡음 여파 장치와 접촉이 좋은 전극이 필요하고 전극의 위치도 중요하다. 1회용의 은전극(silver electrode)이 많이 이용되나 고가인 것이 흠이다.

또 심근의 허혈상태를 진단하고자 할 때는 잡음이나 기선의 진동을 제거하기 위해서 4~5개의 심전도를 computer로 종합재구성하기도 하고 ST 절하강, 하강면적을 계산해주는 기기도 소개되고 있다.

심전도의 탐색전극(exploring electrode)의 위치선정은 허혈성 변화를 진단하는 데 중요하다. Blackburn 등¹⁹⁾은 일찌기 Master 검사후에 표준 12유도로 진단되는 허혈성변화의 89%가 V_5 유도 단독으로도 진단된다고 하여 V_5 유도의 중요성과 유용성을 강조하였다. V_5 유도 단독 혹은 변형된 V_5 양극유도(modified bipolar V_5 lead)로도 충분할 때도 있으나 진단의 예민도와 특이도를 높이려면 유도가 많을 수록 유리한 것은 물론이다. 허혈성 심장질환의 진단이나 추구검사에서는 변형 12유도(Mason-Likar 방법)가 가장 널리 쓰인다²⁰⁾.

혈압계

운동중의 혈압강하나 지나친 상승을 알아내기 위해 혈압측정은 필수적이다.

Cuff method로 간접적으로 측정하면 수축기압은 비교적 정확하나, 확장기압은 다소 부정확하다. 자동적으로 cuff를 팽창, 이완시키는 혈압계도 있으나 아직은 만족스럽지 못하다.

Table 2. Contraindications to Exercise Testing

Absolute	Acute febrile illness
Contraindications	Acute electrocardiographic changes of myocardial ischemia
	Uncontrolled heart failure
	Pulmonary edema
	Unstable angina
	Acute myocarditis
	Uncontrolled hypertension (above 250 mmHg systolic, 120 mmHg diastolic)
	Uncontrolled asthma
Relative	Recent (less than 4 weeks previous) myocardial infarction
Contraindications	Aortic valve disease
	Resting tachycardia (heart rate above 120 b/min)
	Severe electrolyte disturbances
	Resting electrocardiographic abnormalities
	Poorly controlled diabetes
	Epilepsy
	Cerebrovascular disease
	Respiratory failure

3. 운동검사의 안전도

운동검사는 대단히 안전한 검사이며, 검사와 관련된 사고가 보고되긴 하지만 사망률이나 합병증은 극히 낮다. Rochmis와 Blackburn²¹⁾은 설문을 통한 170,000명의 운동검사(이중 73%가 다단계연속적 부하검사였다)에서 16명의 사망예(0.01%)와 40예(0.02%)의 입원을 요하는 합병증을 보고하였다. 사망예중 8예만이 검사후 1시간내에 사망하였고 최대운동부하(maximal exercise)가 더 위험하다는 증거는 없었다. 동맥경화증과 급사의 빈도가 높은 미국에서는 이런 정도의 사망률은 자연발생적이라고 해석할 수도 있다. 저자의 검사실에서도 지난 6년간 시행한 약 1,000예의 다단계운동부하검사중 중한 합병증은 1예도 없었고 운동중지후 소실되는 부정맥과 추락사고와 구토등이 문제가 되었을 뿐이다^{5, 22)}.

그러나 중한 부정맥(특히 ventricular tachycardia)이나 급성 심근경색증, 급사가 발생한 위험성은 항상 있으므로 검사의 급기와 운동의 중지점은 충실히 지켜져야 한다(Table 2, 3). 또한 응급 심폐소생술이 항상

Table 3. Indications for Stopping an Exercise Test

General signs and symptoms	Severe chest pain suggestive of angina
	Severe dyspnea
	Dizziness or faintness
	Marked apprehension, mental confusion, or lack of coordination
	Sudden onset of pallor and sweating
	Onset of cyanosis
Electrocardiographic signs	Frequent ventricular premature beats, particularly when showing the R on T wave, frequent runs of three or more, and paroxysmal ventricular tachycardia
	Atrial fibrillation when absent at rest
	Second or third degree heart block
	Ischemic changes: marked ST depression, T wave inversion, or the appearance of a Q wave
	Appearance of bundle branch block pattern
Blood pressure signs	Any fall in systolic pressure below the resting value
	A fall of more than 20 mm Hg in systolic pressure occurring after the normal exercise rise
	Systolic blood pressure in excess of 300 mmHg or diastolic pressure in excess of 140 mmHg

가능해야 하며, 운동검사 전반을 이해하는 의사가 항상 옆에 있어야 하고, 제세동기를 비롯한 응급소생장비와 약품은 검사실에 필수적으로 갖추어져야 한다(Table 4).

IV. 운동검사의 임상적 이용

1. 심장학 분야의 이용

운동검사는 초기부터 관상동맥 질환의 진단에 사용되면서 보편화 되었듯이 흉통은 운동검사를 시행하는 가장 흔한 이유이다. 1970년 초의 열광적 이용은 70년대 후반에 와서 진단의 예민도와 특이도가 밝혀지고, 그 한계가 이해되면서 진단적 이용은 다소 쇠퇴하고 있다. 그러나 운동검사가 관상동맥질환의 유무에만 국한되지 않고, 작업능과 예후판정등의 기능 평가에 이용되면서 새로이 인식되고 있다.

Fig. 5. Diagram constructed, with permission, from data of Diamond and Forrester (1979), to express probability of coronary artery disease in males of varying age and symptoms and ST segment depression during exercise. Note that shaded areas do not represent a range; the probability is given by the right-hand limit of a given area: for example, a 65 year-old asymptomatic man with 2mm ST depression has a 60 per cent probability of coronary disease (From Jones NL and Campbell EJ, Clinical Exercise Testing Philadelphia, WB Saunders, 1982).

Table 4. Resuscitation Equipment

The laboratory should be equipped to meet an emergency, and personnel should be capable of maintaining life until the patient can be managed by a cardiac team. The following is a list of the equipment required:

1) Drugs for intravenous use: epinephrine, atropine, aminophylline, digoxin, isoprenaline, xylocaine, propranolol, hydrocortisone, procainamide, sodium bicarbonate, and calcium gluconate.

2) Syringes, intravenous infusion sets, and glucose saline.

3) Hand ventilator, such as the Ambu bag

4) Airways, endotracheal tubes, and laryngoscope.

5) D.C. defibrillator.

6) Oxygen.

운동중에 여러가지 심전도 변화가 관상동맥질환에서 생길 수 있으나 ST 절의 하강이 가장 중요하여 수평

혹은 하강형의 ST 절하강이 1 mm(0.1 mV) 이상 J점 이후 0.08초(혹은 0.06초)까지 있는 것을 “양성”이라고 하였으나²³⁾, Bayes 법칙(Bayes' rule)이 제인식되면서 운동심전도의 결과는 관상동맥질환의 유병율, 위험인자, 연령, 성별, 증상의 유무등과 연결하여 해석하는 것이 중요하다는 것을 알게 되었다. Diamond 및 Forrester의 증설은²⁾ 이런 견해를 반영하여 ST 절하강과 관상동맥협착을 추측할 수 있는 도표를 제공하고 있다(Fig. 5). 그러나 아직도 검사대상인구에서의 관상동맥 협착의 유병율을 정확히 알 수 없고, 검사방법의 표준화가 덜된 상태여서 해석에는 개선할 여지가 있는.

ST 절의 하강이외에도 ST 절의 상승, R파고의 증대, 부정맥의 출현, 운동중의 혈압저하, 심음이나 심잡음의 변화등이 발생할 수 있으며 ST 절 하강 단독보다는 관상동맥질환의 진단율을 높일 수 있다²⁵⁾.

방사성 동위원소를 이용한 심근관류주사는 이론적으로 관상동맥조영이나 심전도 변화하는 별개로 심근의 관류상태를 측정할 수 있다. 그러나 주사소전에 대한 해석이 숙달을 요하고, 검사에 시간이 오래 걸리고 고가인 점등이 단점으로 제한된 경우에만 사용된다.

운동 방사성동위원소 혈관조영술은 운동중의 혈류역동 및 심장의 국소별 역동도 알 수 있어 점차 널리 이용되는 추세이다²⁶⁾.

심장예비능을 객관적으로 평가하면, 심장병의 진단, 병의 경증, 치료의 효과를 알 수 있다.

심장예비능은 운동시에 필요한 산소요구량을 충족시키기 위해 심박출량을 증가시킬 수 있는 능력이라고 생각할 수 있다. 근육에 산소를 공급하는 변수는 다음과 같은 수식으로 표시할 수 있다.

$$\dot{V}O_2 = \dot{Q} \times (CaO_2 - CVO_2)$$

산소섭취량 = 심박출량 × 동정맥산소함량 차이

심박출량 = 1회 심박출량(SV) × 심박수(HR)

즉 운동근육에 산소를 공급하는 능력은 1회심박출량 심박수, 조직에서의 산소추출능력에 좌우된다.

$$\dot{V}O_2 \div HR = SV \times (CaO_2 - CVO_2)$$

동정맥의 산소함량차는 어느 이상으로 증가시킬 수 없으므로 심박수에 따른 산소 섭취량의 증가는 1회 심박출량을 반영해 준다. 심부전이 있으면 1회심박출량이 낮고 심박수의 증가에도 문제가 있어 운동능력은 크게 저하된다. 이것은 최대산소섭취량의 저하로 알 수 있으며, 산소공급이 원활하지 못하면 근육에서의 혐기성 대사가 증가하여 낮은 AT로 보인다²⁾.

2. 호흡기 질환에서의 운동검사

호흡곤란을 초래하는 많은 호흡기 질환에서 $\dot{V}E$ 는 $\dot{V}O_2$ 에 비하여 정상에서 보다 높다. 이는 호흡기 질환에서는 호흡 중추가 탄산가스에 대한 감수성이 저하되거나, 저산소혈증, 혐기성호흡역치의 저하에 기인한다²⁾.

호흡기질환 환자는 자기 연령에서의 최대심박수에 훨씬 못 미쳐 운동을 중지하게 되는데 이는 순환기능 이외의 다른 원인으로 운동이 한계점에 도달한 것을 의미한다. 기도폐색이 있을 때는 환기능이 운동한계를 좌우한다. 환기능(ventilatory capacity)은 15초동안의 자발적 최대호흡으로 측정하던가(MVV), $FEV_1 \times 35$ 처럼 FEV_1 으로부터 계산할 수 있다. 정상인에서는 최대운동시의 환기량($\dot{V}E_{max}$)은 환기능의 80%미만이 나¹⁷⁾ 기도폐색환자에서는 100%에 가깝거나, 특히 FEV_1 가 1.2 L 미만이면 100%를 초과하기도 한다²⁷⁾. 제한성 폐질환에서도 환기능은 운동한계를 좌우하는 주요인자이며, 폐섬유화증시 최대운동시의 환기량은 FEV_1 과 VC에 밀접한 상관관계가 있다. 안정시의 폐기능 검사결과와 작업능과는 차이가 크므로 기도폐색의 정도보다 호흡곤란이 심한 환자에서는 운동부하 검사로서 작업능과 저산소혈증의 발생유무를 검사하면

정확한 평가가 가능하다.

운동직후에 발생하는 기도저항의 증가는 천식의 진단 및 치료면에서 매우 중요하다²⁹⁾. 일종의 비특이적 유발검사로써, 운동검사는 기도반응도(airway reactivity)가 항진되어 있음을 간편하게 증명할 수 있어 천식의 치료효과 판정에도 널리 이용된다. 산소섭취량보다는 운동시의 과호흡으로 인한 기관지점막의 냉각이 주된 원인이라 알려져 있다³⁰⁾.

다른 운동보다 주행이 효과적으로 천식을 유발하므로 답차를 이용하여 최소한 6분이상의 운동을 시켜 전후의 FEV_1 이나 PEF를 측정하는 방법이 많이 사용된다³¹⁾.

3. 기타분야의 이용

산업재해로 인한 운동장애를 평가하는 것은 근로 환경이나 근로자의 보상문제와 연관지어 매우 중요하여 작업능의 객관적 평가에 운동검사가 이용된다. 또한 심장병환자의 재활시에 증상을 일으키는 최대심박수와 $\dot{V}O_{2max}$, AT 등을 측정하여 안전하게 시행할 수 있는 작업과 운동종류를 선택하여 운동처방에 도움을 줄 수 있다^{1,14)}.

운동선수는 비정상적으로 높은 $\dot{V}O_{2max}$ 를 보이며 운동검사로 개개인의 체력측정이나 훈련효과, 선수의 선발에도 이용할 수 있으며 AT를 알아내어 훈련시의 지표로서 이용하여 훈련능률을 높이는 등 스포츠의학분야에서의 이용도 많아지고 있다³²⁾.

결 론

이상으로 운동검사를 시행하는 목적과 방법, 장비들을 기술하였고, 심전도 이외에 산소섭취량, 환기량, 탄산가스배출량을 측정하는 의의를 간단히 설명하였다. 또한 운동에 따른 정상 반응과 심폐질환에서의 반응을 비교하였다. 특히 가스교환과 동맥혈가스검사를 추가하면 호흡곤란을 호소하는 환자에서 운동검사는 유용한 자료를 제공하여 진단과 치료, 예후결정에 도움을 줄 수 있다고 생각한다. 더 나아가 운동선수에서 심폐지구력이나 특정 운동에서의 적성평가나 훈련효과 측정등은 스포츠의학분야에서도 널리 이용될 전망이다.

REFERENCES

- 1) Jones NL, Campbell EJ: Clinical Exercise Testing 2nd ed. Philadelphia, WB Saunders Co, 1982

- 2) Åstrand PO: Human physical fitness with special reference to sex and age. *Physiol Rev* 36:307-335, 1956
- 3) Stone HL, Liang IYS: Cardiovascular response and control during exercise, *Am Rev Resp Dis* 129: Suppl S13, 1984
- 4) Lange-Anderson K, Shephard RJ, Denolin H, et al: *Fundamentals of Exercise Testing*, Geneva, WHO 1971
- 5) 노영무, 박정희, 유세화, 서순규: Bicycle ergometer를 이용한 한국인 최대운동부하검사 시험에 관한 연구. *순환기*, 12:1, 1980
- 6) 심완주, 김준석, 박순창, 유세화, 노영무, 서순규: 정상한국 여자의 최대운동부하 시험에 관한 연구. *대한내과학회잡지*, 25:373, 1982.
- 7) Spiro SG: Exercise testing in clinical medicine, *Brit J Dis Chest* 71:145, 1977
- 8) Wasserman K, Whipp BJ: Exercise physiology in health and disease. *Am Rev Resp Dis* 112: 219, 1975
- 9) Whipp BJ, Ward SA, Wasserman K: Ventilatory response and their control in man. *Am Rev Resp Dis* 129: Suppl S17, 1984
- 10) West JB: *Ventilation/Blood Flow and Gas Exchange*. Oxford, Blackwell Scientific, Pub. 1965
- 11) Sheffield LT, Roitman D: Stress testing methodology. In Sonnenbick EH, Lasch M, eds, *Exercise and Heart Disease*. New York, Grune and Stratton, 1977
- 12) Bruce RA, Bloakman JR, Jones JW, Strait G: Exercise testing in adult normal subjects and cardiac patients. *Pediatrics* 32:742, 1963
- 13) Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D: Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am Heart J* 85:546, 1983
- 14) Astrand PO, Rodahl K: *Textbook of Work Physiology*. New York, McGraw-Hill Book Co, 1970
- 15) Nagle FJ, Balke B, Naughton JP: Gradational step tests for assessing work capacity. *J Appl Physiol* 20:745, 1965
- 16) Hansen JE: Exercise instruments, schemes, and protocols for evaluating the dyspneic patient. *Am Rev Resp Dis* 129: Suppl S25, 1984
- 17) Cotes JE: *Lung Function*, 3rd ed. Oxford, Blackwell Scientific Pub. 1975
- 18) Spiro SG, Dowdeswell IRG: Arterialized ear lobe blood samples for blood gas tension. *Br J Dis Chest* 70:263, 1976
- 19) Blackburn H, Katigbak R: What electrocardiographic leads to take after exercise? *Am Heart J* 67:184, 1963
- 20) Mason RE, Likar I: A new system of multiple lead exercise electrocardiography. *Am Heart J* 71:196, 1966
- 21) Rochimis P, Blackburn H: Exercise tests. A survey of procedures, safety and litigation in approximately 170,000 exercise tests. *J Am Med Ass* 217:1061, 1971
- 22) 이만호, 서순규: 연속적 다단계 최대운동부하 시험에 관한 연구. *고려의대 논문집* 20:221, 1983
- 23) Roitman D, Jones WB, Sheffield LT: Comparison of submaximal exercise ECG test with coronary cineangiogram. *Ann Intern Med* 72:641, 1970
- 24) Diamond GA, Forrester JS: Analysis of probability as an aid in the clinical diagnosis of coronary artery disease. *New Engl J Med* 300: 1350, 1979
- 25) Cohn K, Kamm B, Feteih N: Use of treadmill score to quantify ischemic response and predict extent of coronary disease. *Circul* 59:286, 1979
- 26) Beller GA: Radionuclide exercise testing for coronary artery disease. *Cardiol Clin* 2:367, 1984
- 27) Jones NL, Jones G and Edwards RHT: Exercise tolerance in chronic airways obstruction. *Am Rev Resp Dis* 103:477, 1971
- 28) 이영미, 이인수, 정성일, 유세화, 서순규: 만성기도 폐색 환자의 작업능. *대한내과학회잡지*, 28: 244, 1985
- 29) Godfrey S: Exercise-induced asthma. Clark TJH and Godfrey S(eds), *Asthma*, 2nd ed, London, Chapman and Hall, 1983.
- 30) McFadden ER Jr, Ingram RH Jr: Exercise-induced asthma. *New Engl J Med* 301:763, 1979
- 31) Eggleston PA, Guerrant JL: A standardised method of evaluating exercise induced asthma. *J Allergy Clin Immunol* 58:414, 1976
- 32) Yoshida T, Suda Y, Takeuchi N: Endurance training regimen based upon arterial blood lactate: effect on anaerobic threshold, *Eur J Appl Physiol* 49:223, 1982