□ 증 설 □

기도 폐쇄 평가 검사의 생리학적 의의

울산의대 서울중앙병원 내과

김 원 동

Physiological Basis of Tests for Airflow Limitation

Won Dong Kim, M.D.

Department of Internal Medicine, Asan Medical Center, Ulsan Medical School, Seoul, Korea

만성폐쇄성기관지염, 폐기종 및 천식등 폐쇄성 폐질환은 선진 외국에서 만성 호흡기 질환의 대부분을 차지하며, 한국에서도 많은 흡연 인구와 공업화에 따른 대기 오염으로 폐질환에서 차지하는 비중이 차차 증가하리라 사려된다. 폐쇄성 폐질환은 폐렴이나 폐결핵과 같은 기질적 폐질환과는 달리 흉부 X-선 촬영에는 그 이상이 나타나지 않으며 폐기능검사를 통하여 기도 폐쇄의 진단과 그 정도를 판단하여야 한다는 점에서 타 질환과 다른 특징이 있겠다. 따라서 폐쇄성 폐질환의 평가에 있어서 폐기능검사의 적절한 이용과 이들 폐기능검사에 대한 생리학적 이해가 임상적으로 매우 중요하다고 하겠다.

폐쇄성 폐질환 환자의 주요 기능적 장애는 호기의 어려움으로서 이 장애는 두가지 생리학적 방법으로 정량적인 측정이 가능하다. 첫째는 정상호흡(tidal ventilation)시 정상적인 기류량(flow rate)을 유지하기 위하여 더 많은 힘(압력)이 필요하다는 것을 증명하는 것으로서 이는 기도의 저항(airway resistance) 즉 초당 1 liter/의 기류를 만들기 위해 필요한 압력의 측정이다. 둘째의 방법은 최대의 노력성 호기시 정상보다 느리게 호기가 이루어진다는 사실을 증명하는 것으로서 간단하게 폐활량측정법(spirometry)을 이용하여 1초간노력성호기량(forced expiratory volume in one second, FEV1)이나 최고호기류량(peak expiratory flow)을 측정하는 일이다.

실제 임상에서는 기도 폐쇄시 흔히 1초간노력성호기량 혹은 최고호기류량을 측정하며 이는 기도저항의 측정

이 고가의 특수 폐기능검사기기를 필요로 하기 때문이다. 또한 총 기도저항을 결정하는 인자들은 매우 복잡해서 수많은 분지를 하고 있는 20여만개의 기도에 단일 수치의 저항을 부여한다는 것은 무리라는 것을 알게 되었기 때문이다.

최대의 호기 유량(maximum expiratory flow)이 결정되는 것은 기도의 크기뿐 아니라 폐의 탄력반동압(elastic recoil pressure) 그리고 기도의 함몰성향(collapsibility)도 이에 관여한다는 것이 알려져 왔다. 이러한 폐의 탄력 반동압의 저하와 기도 함몰성향은 대표적으로 폐기종에서 나타나며, 만성폐쇄성기관지염 및 천식에서도 어느정도 존재하리라 믿어진다.

노력성 호기를 이용한 폐활량측정법 검사는 이러한 폐의 물리역동학적 이상(disordered mechanical properties)들을 모두 총체적으로 반영하기 때문에 기도저항의 측정보다 기도 폐쇄 환자의 전반적인 장애 평가에 더 유리하다고 할 수 있다. 따라서 본문에서는 폐활량측정법의 생리학적 의의에 관하여 논의하고자 한다.

폐의 물리역동학적 성질

평상 호흡시 폐를 확장시키기 위해서는 폐의 두가지 물리역동학적 성질을 극복하기 위한 힘을 소모하여야 한다.

그림 1. 호기시 정적 경폐압력-기량 곡선 및 폐탄성의 계산.

1. 폐의 탄력 반동 (Elastic Recoil of the Lung)

폐에 힘 (force)을 가하여 확장시켰다가, 힘을 제거하면 폐가 원래대로 함몰 (collapse) 하려는 경향을 말한다. 이는 폐기량 (lung volume)이 증가함에 따라 역시 증가하며, 폐의 반동압변화와 폐기량변화의 관계는 흔히 폐탄성 (compliance)으로 표시된다 ($\Delta V/\Delta P$).

2. 기관기관지 분지 (Tracheobronchial Tree)의 기류에 대한 저항

기관기관지 분지를 통하여 가스가 흐르기 위해서는 구강과 폐포 사이에 압력 차이가 있어야 한다. 기도의 이러한 성질을 기도 저항이라 부르며 이는 압력차를 기류량으로 나눈 값이다.

그림 2. 정상인, 폐기종 및 폐섬유화증 환자의 경폐압력 기량곡선.

폐의 탄력 반동

어느 물체의 탄력성 (elasticity)을 논하려면 두가지 요점을 지적하여야 한다. 즉 확장 (distending) 혹은 압축력 (compressing forces)이 가해지지 않은 상태의 기본용적 (resting volume)과 확장 혹은 압축력이 가해져서 발생한 용적의 변화이다.

폐의 신전성 (distensibility) 혹은 탄성 (compliance)은 폐에 가해진 1 cm H₂O의 확장압력에 의해 초래된 폐기량 (lung volume)의 변화를 측정함으로써 그 분석이 가능하다. 이때 폐를 통한 확장압력을 경폐압 (transpulmonary pressure)이라고 지칭한다.

호흡정지시의 정적폐탄성 (static lung compliance)을 측정하기 위해서는 포리에틸렌관에 매단 고무 풍선

(balloon)을 식도 하부에 위치하게하여, 숨을 멈추고 구강압과 식도압의 차이를 재면 식도압과 늑막 표면 압력 (pleural surface pressure)은 서로 유사하므로 이는 구강과 늑막 표면 압력의 차이인 경폐압력에 해당된다. 즉 가스의 흐름이 없을 때에는 구강압과 폐포압이 같으므로 이는 폐포압과 늑막강압의 차이인 경폐압인 셈이다. 피검자로 하여금 최대한으로 흡기 (full inflation)시킨 후 폐기량을 재기 위해 연결한 폐활량계 안으로 숨을 내쉬게 하며 일정간격 호기로 (expiratory pathway)를 막아, 가스의 흐름이 정지시 폐기량과 동시에 구강압과 식도압의 차이를 측정하여 경폐압을 구한다. 이렇게 동시에 구한 폐기량과 경폐압으로 폐의 경폐압력-기량 곡선을 그릴 수 있으며 (Fig. 1) 이 곡선은 정상호흡영역에서는 비교적 직선적이며 거의 끝까지 흡기했을 때의 곡선

기울기는 차차 감소한다.

폐기중에서는 이곡선이 좌측으로 이동되어 같은 폐기량에서 경폐압이 정상보다 낮고, 심한 폐섬유화증(pulmonary fibrosis)에서는 우측으로 이동되어 있다(Fig. 2).

정적경폐압(static transpulmonary pressure)은 또한 탄력반동압(elastic recoil pressure, Pel)이라고도 불리우며, 끝까지 들어 마셨을 때의(full inflation) 이 압력을 최대흡기시경 폐압(maximum inspiratory transpulmonary pressure)이라고 하며 이는 폐탄력성 정도를 나타내는 한 지표가 된다.

기도저항

어느 도관의 저항이란 관(tube)으로 들어오는 가스의 흐름과 나가는 흐름의 압력차이를 기류의 유속(flow rate)으로 나눈것이다. 호기시의 폐에서는 폐포압이 기도로 들어오는 흐름의 압력에 그리고 구강압이 나가는 흐름의 압력에 해당한다고 볼 수 있다(Fig. 3). 호기시의 폐에서 기도저항을 구하려면 기류의 유속은 구강에서 호흡속도묘사기(pneumotachograph)를 사용하여 측정할 수 있으며 문제는 호흡하는 중의 폐포압을 측정하는 일이다. 그러나 폐포압을 늑막표면압력(pleural surface pressure, Ppl)과 다음과 같은 등식으로 연관지으면 문제가 해결된다.

$$Palv = Ppl + Pel$$

여기에서 Pel은 해당 폐기량에서의 탄력반동압(elastic recoil pressure)이다. 이 등식은 폐의 물리역동학에서 가장 중요한 관계식의 하나로서 전술한 바와 같이 늑막표면압력은 식도압을 측정하여 이에 대치할 수 있고, 폐 탄력반동압도 호흡정지시 구강압과 식도압의 차이로 측정 가능하다. 따라서 호흡중의 식도압, 폐기량

그림 3. 호기시의 폐에서는 들어오는 흐름의 압력이 폐포압, 나가는 흐름의 압력이 구강압이며 호기 유량은 구강에서 측정한다.

의 변화 그리고 기류량(flow rate)를 재면서, 미리 측정 한 일정 폐기량에서의 폐 탄력반동압(Pel)을 호흡중의 식도압(Ppl)에 합하면 어느 일정 폐기량에서의 폐포압이 되고 이를 호흡중 그 폐기량에서의 유속으로 나눈 것이 기도저항이 된다. 그러나 이 방법은 피술자가 식도 풍선을 삼켜야 하는 불편이 있으며 그 외에 체적기록법(body plethysmography)을 이용하여 간접적으로 폐포압을 측정하는 방법이 소개되었다.

조용히 호흡시 기류가 폐포에서 구강까지 진행되는 동안 압력이 떨어지는 큰 이유는 기도벽이 마찰에 의한 제동을 공기흐름에 가하기 때문이며 이 제동은 기도의 기하학적요인(geometric factor)들에 의해 결정된다. 이러한 사실들은 Poiseuille의 공식에 의해서 표현되어 관의 저항은 그 길에 직접적으로 비례하고, 반경의 4승에 반비례 한다는 것이다. 이 공식이 폐에 존재하고 있는 복잡한 기관지 분지를 따라 흐르는 기류에 그대로 적용할 수 있는지는 의심이나 그 공식의 기본적인 요점인 기도 반경의 적은 변화에 의해서도 저항에 큰 변화가 온다는 사실은 그대로 살아 있다고 볼 수 있다.

그렇다면 기도저항을 재는 것이 기도의 크기를 재는 방법이 될 것이므로 기도저항을 재는 것이 폐활량측정법(spirometric test)을 시행하는 것 보다 나은 것 같은 생각이 든다. 또한 기도저항은 폐활량측정법보다 환자의 협조가 덜 되어도 가능하고 안정시 정상 호흡과 같은 저 유속 상태에서도 측정이 가능하므로 더 나아 보인다. 실제로 체적기록기가 개발된 후 기도저항의 측정이 기도폐쇄 평가의 가장 과학적인 방법이라고 생각되어 온적이 있었다. 그러나 그 후 총 기도저항을 결정하는 인자들은 지극히 복잡하다는 것이 알려졌다. 이들을 세가지로 요약할 수 있는데 첫째 체적기록법에 의한 저항의 측정은 총 기도저항의 대부분을 차지하는 대기도(large airways)의 규모(dimension) 변화를 찾아낸다는 점에서는 유효하나 만성폐쇄성폐질환에서 문제가 되는 소기도(small airways)는 총 기도저항의 일부만에 기여하기 때문에 이의 질환 발견에는 큰 역할을 못한다는 점, 둘째 기관기관지 분지(tracheobronchial tree)의 확장성(distensibility)과 압축성(compressibility) 때문에 기도저항은 흡기 혹은 호기의 호흡 위상(phase)과 폐기량에 따라 달라진다는 점, 셋째 기류량이 증가시 기류와 압력 관계가 일정하지 않다는 점이다. 그외에 가스 흐름의 와류(turbulence), 폐포에서 구강까지 도달하는 동

안에 가스분자의 가속 그리고 기도의 역동학적 압축(dynamic compression)등이 모두 기도저항을 비 정상적으로 증가시킨다.

기도저항과 최대 호기 유량을 결정하는 인자들

기도저항은 기관기관지 분지의 상태에 따라 달라지며, 이는 기도가 탄력성이 있는 기관이기 때문에 흡기시처럼 흉곽내 압력이 음압이 되면 확장되고, 호기시와 같이 양압이 되면 압축을 받는다. 또한 기관지 근육의 기본 긴장도(resting tone)가 변해도 기도저항에 변화가 온다.

1) 기관기관지 분지내 저항의 분포

최근 연구에 의하면 폐활량 중간 범위내 정상 호흡 기류속(flow rate)에서 기관지내 저항의 분포는 표 1과 같다. 이 표에서 중요한 소견은 정상 호흡시 후두(larynx)와 대기도에 의한 저항이 높고, 2mm 미만의 기도에 의한 저항은 매우 낮다는 사실이다. 이러한 사실은 과거 폐내 기관지 저항의 90%가 말초 기도에 있을 것이라는

생각과 상치되는 소견이다.

2) 폐기량 변화에 따른 기도저항의 변화

기도저항 측정은 대부분 기능성잔기용량(functional residual capacity)에서 시행되며, 폐기량의 변화에 따라 기도 저항은 급격히 많은 변화를 보인다. 폐의 기량을 기능성잔기용량이하로 줄였을 때 기도 저항은 급격히 증가하고 기능성잔기용량 이상으로 증가시켰을 때 저항은 감소한다(Fig. 4). 이 변화는 폐기량이 증가함에 따라 기도에 대한 방사성 견인(radial traction)이 증가하여 기도의 직경이 늘어나기 때문이다. 즉 폐기량이 증가함에 따라 기도를 확장하는 압력이 증가하기 때문인데, 이는 기도의 직경을 결정하는 경기관지 압력(trans-bronchial pressure)이 호흡정지시에는 기관지내 압력은 폐포압과 같고 기도외압은 늑막표면 압력과 같으므로 결국은 경폐압력과 같기 때문이며 경폐압은 Fig. 1에서와 같이 폐기량이 증가하면 역시 따라 증가한다. 기도저항의 폐기량에 대한 관계는 곡선이므로 다른 개체간의 비교가 어려워 기도저항의 역수(reciprocal)인 기도전도계수(airways conductance)를 채택하면 전도계수와

표 1. 기도저항의 분포

	Normal (cm H ₂ O/litre/sec)	Chronic bronchitis and emphysema
Larynx, pharynx	0.5	0.5
Bronchi greater than 2 mm diameter (approx. first nine generations)	0.5	0.8
Bronchi smaller than 2 mm diameter	0.2	3.2
Total	1.2	4.5

그림 4. 폐기량에 따른 기도저항 및 전도계수의 변화.

폐기량간에는 직선적 관계가 성립된다(Fig. 4). 신체 크기에 따른 차이를 보정하기 위해서 전도계수를 측정시의 절대기량으로 나누면 특히 전도계수(specific conductance, SGaw)가 된다.

3) 호흡중 기도저항의 변화

(1) 호흡 위상(phase)에 따른 변화

호흡 정지시 보다 흡기시 기도는 약간 확장되고 호기시 약간 좁아지나, 조용히 호흡중에는 호기 및 흡기시 기도저항에 별로 큰 차이가 없다.

(2) 노력성 호흡시의 변화

정상인이 가스 기류량(flow rates)을 증가시키면 늑막강압은 조용히 호흡시 보다 흡기중 더 음압이 되고 호기중에는 덜 음압이 된다. 결과적으로 활발한 흡기시 기도는 해당 폐기량에서 호흡정지시 보다 더 확장되고 호기시에는 좁아진다. 그러나 이러한 역동적인 변화는 기도를 따라 균등한 것이 아니어서, 기관이나 폐엽기관지

와 같은 흉곽내 기도에서는 호흡에 따른 기도 확장 및 협착의 변화가 크고 폐포에 가까운 소기도에서는 변화가 적다(Fig. 5). 따라서 호흡에 따른 늑막강압의 변화가 클수록 흡기저항은 낮아지고 호기저항은 증가되어, 결국 기류량이 증가할수록 호흡에 따른 기도저항의 변화가 증가한다.

이제 실제 폐활량측정법시 시행하는 것과 같이 정말로 심한 노력성 호기 및 흡기시 기도에 어떤 일이 일어나는지 살펴보려고 한다. 흡기시에는 격렬한 노력이 기도를 확장시켜 흡기 유량은 그 개체가 흡기근육으로 발생시킬 수 있는 압력에 비례하나, 호기시에는 호기시 노력을 증가시켜 추진압력(driving pressure)이 올라가면 흉곽내 대기도를 압축시켜 호기 저항을 증가시킨다. 즉 힘을 증가시킬수록 큰 저항이 나타나 추진 압력이 증가함에 따라 호기저항이 더 증가하는 지점에 도달하여 더 이상 기류량이 증가하지 않게 된다.

이러한 힘이 증가할수록 나타나는 효과는 기류량과 추

그림 5. 흉곽내 폐포와 기도를 나타낸 도표.
 P_{el} : 늑막강압, P_{pl} : 폐 탄력반동압, P_{alv} : 폐포압, EPP : 등압점.

진압력인 폐포압의 관계를 표시함으로써 정확히 알 수 있다. Fig. 6은 정상인 폐활량의 50%에서의 폐포 압력과 기류량의 관계를 표시하는 등폐기량압력류량(iso-volume pressure flow, IVPF) 곡선이다. 이 곡선은 어떤 개체로 하여금 최소 노력에서 최대 노력까지 힘(force)을 차차 증가 시키면서 여러번의 호흡을 시켜, 각 호흡시 일정 폐기량에서의 폐포 압력과 기류량을 동시에 측정하여 같은 폐기량에서의 압력 유량 곡선을 재구성한 것이다. Fig. 6에서 흡기 유량은 폐포 압력이 가장 음압이 될 때까지 계속 증가하나 호기시에는 유량이 폐포압력이 증가함에 따라 처음에는 증가하나 임계폐포압(critical alveolar pressure)에 도달하면 호기 유량이 더 증가하지 않는다. 즉 폐포압을 더욱 증가시키면 호기 유량은 최대에 머물거나 심지어 약간 감소하는 수

그림 6. 정상인 폐활량 50%에서의 등폐기량압력류량 곡선.
PALV: 폐포압. PALV': 임계 폐포압.

도 있다. 이 현상의 원인은 호기시 대기도가 압축되므로써 호기류를 제한 하는것이 첫째 원인이며 그 이외에 가스 기류량이 증가함에 따라 기류(air stream)에 와류(turbulence)가 생성되어 기도를 따라 압력 감소가 증가하며 또한 기류가 폐포에서 세기도를 따라 대기도로 이동시 대기도의 총 단면적(cross-sectional area)이 적어지기 때문에 기류의 대기도내 직선운동 속도(linear velocity)가 증가하고, 이로 인하여 기도내 압력이 감소하여(Bernoulli 효과) 높은 기도 밖 압력(extraairway pressure)의 기도에 대한 압축 효과를 증강시킨다. 이러한 총체적인 변화에 의하여 노력성 호기를 증가시킬수록 중심성 대기도(large, central airways)에 기도저항을 더욱 높혀 총기도 저항을 증가시킨다.

정상인의 여러 폐기량에서의 호기성 등폐기량압력류량 곡선을 Fig. 7의 우측에 보여주고 있다. 이들 곡선들에서 보면 잔기량에서 5L가 되는 고 폐기량에서는 폐포압력이 증가함에 따라 기류량은 계속 증가하여, 최대 호기 유량은 노력에 비례하나, 폐기량이 감소함에 따라 고평부(plateau)가 나타나 폐포압이 증가하여도 기류량은 더 이상 증가하지 않는다. 폐기량이 더 감소함에 따라 기류량의 고평부는 점점 더 낮은 폐포압에서 나타난다. 따라서 이들 곡선에서 얻을 수 있는 정보는 다음과 같다. 노력성 호기시 기류량은 어떤 최대치를 넘어 증가시킬 수 없으며 고 폐기량에서는 이 최대치가 피검자의 노력에 달려 있으나 저 폐기량에서는 어느 정도 최저의 노력만 하면 최대 기류량에 도달되고 그 이상 노력에 별로 영향을 받지 않는다.

4) 폐의 최대 호기 유량을 결정하는 요소

앞서 폐기량이 폐활량의 2/3 이하일 때 최대 호기 유

그림 7. 호기류량기량곡선 및 등폐기량압력류량 곡선의 대비.

량에 제동을 거는 요인에 대해서 논하였으며 여기에서 언급해야 할 것은 정상인에서 최소한 기능성잔기용량 이상의 고 폐기량에서는 역동학적 기도 압축이 분절 기관지(segmental bronchi) 이상의 대기도에만 국한된다는 사실이다. 기능성잔기용량 이상의 고 폐기량에서는 최대 노력성 호기시 폐내(intrapulmonary) 기도들의 내강 압력이 늑막표면 압력보다 높기 때문이다. 따라서 이들 대기도에 대한 역동학적 압축은 정상인에서 기류를 제한하는 기전이 되겠다. 연골이 존재하는 대기도가 역동학적 압축의 장소가 된다는 것이 이상하게 생각되나 기도에 대한 압축은 대기도의 막성 부분(membranous portion)의 기도 내강으로의 함입(invagination)에 의해 일어난다. 만성기관지염이나 폐기종에서는 연골의 위축과 증가된 압축 힘이 이러한 현상을 더 명백하게 하기는 하나, 역동학적 압축은 기도 이상에 의한 것은 아니며 단지 노력성 호기에 의한 정상적인 현상의 과장일 뿐이다.

이제 이러한 기류를 제한하는 기전이 작동하는 상태에서 어떤 인자가 구체적으로 호기류를 결정하는지 알아보려 한다. 노력성 호기시 나타나는 변화를 간단히 설명하기 위하여 기관기관지 기도를 서로 연속적으로 연결된 두 부분으로 나누어서, 기도강내 압력(intraluminal pressure)이 늑막강압 보다 항상 높아서 압축이 일어나지 않으며 폐포에 이르는 기도인 상류(upstream) 기도, 그리고 폐포압이 임계폐포압(critical alveolar pressure)을 넘었을 때 기도강내 압력이 늑막강압보다 낮아서 기도 압축이 일어나는, 구강까지의 기도인 하류(down stream) 기도로 구분할 수 있다(Fig. 8). 상류 기도에서 하류 기도로의 전환은 노력성 호기시 기도강내 압력이 늑막강압과 같아지는 기관기관지내의 장소에서 일어나며 이를 소위 등압점(equal pressure point)이라

고 부른다(Fig. 5). 노력성 호기시 등압점이 정상인에서 폐활량의 상부 3/4의 폐기량에서는 분절 기관지에 존재한다는 것이 측정 보고되었다.

상류 분절(upstream segment)의 기도 규모(dimensions)와 기류 그리고 저항은 임계 폐포압에 이르면 고정되므로 이들의 분석이 가능하다. 상류 및 하류 분절은 서로 일렬로 연결되어 있으므로 한 부분의 기류(flow)는 다른 부분의 기류와 같고 따라서 상류 분절을 분석함으로써 폐 전체로부터의 기류량을 결정하는 인자를 구명하는 것이 가능하다.

주어진 폐기량에서 최대 호기시 상류 분절의 폐포꼭 끝에서의 압력은 늑막강압과 탄력 반동압의 합($P_{alv} = P_{pl} + P_{el}$)이고 하류 분절로의 전환점에서의 기도압은 늑막강압(P_{pl})과 같다. 따라서 상류 분절을 따라 기도 저항에 의해 감소하는 압력의 양은 탄력성 반동압(P_{el})과 같아야 한다(Fig. 8).

그러하면 주어진 폐기량에서 상류분절을 통한 그리고 또한 폐 전체에서의 최대 호기류($\dot{V}_e, \max$)는 다음과 같은 공식에서 구할 수 있다.

$$\dot{V}_e, \max = \frac{P_{el}}{R_{us}}$$

여기에서 R_{us} 는 노력성 호기시 상류 기도의 저항이며 또한 모든 폐내 기도 저항과 유사하다고 본다. 이 공식은 충분한 호기 노력을 하여 등폐기량압력류량 곡선상 고평부에 이르렀을 때에만 적용된다. 이 등식에 기관, 후두 및 인두등 하류 기도의 저항이 나타나지 않으며, 이들 상기도들은 최대 호기 유량에 영향을 미치지 않는다는 의미이다. 따라서 최대 호기 유량을 측정하는 검사법인 폐활량측정법은 상기도 저항에 영향을 받지 않으며 이러한 사실이 이 검사법의 가장 큰 장점이 된다고 볼 수 있다. 또한 폐의 탄력 반동압이 상류 분절을 통한 최대 유효 추진 압력이며 폐의 탄력 반동압과 더불어 상류 기도의 저항이 최대 호기 유량을 결정하는 인자이다. 그 외에 기류를 제한하는 기도의 함몰경향(collapsibility)도 최대 호기 유량에 영향을 미칠 것이나 이 인자의 효과는 상기 공식에서 평가하기가 어려우며, 함몰경향의 변화는 상류 기도의 기도저항을 변화시킬 것으로 본다.

요약하면 노력성 호기시 폐활량의 하부 2/3의 폐기량에서 폐로부터의 최대 가스기류량은 폐의 탄력 반동압, 폐내 기도저항 그리고 기류 제한 기도의 함몰성향에 의해 결정되며, 임계 폐포압 이상에서는 폐포압력이 증가

그림 8. 노력성 호기시 기관기관지 분지에서의 상류 및 하류 분절.

하더라도 기류량이 고정되고 더 이상 증가되지 않는다. 이러한 기류량의 제한은 분절기관지 이상의 대기도인 흉곽내 폐외(intrathoracic extrapulmonary) 기도의 점진적인 협착에 의해 초래된다.

5) 최대 호기 유량과 폐기량의 관계

앞서 등폐기량압력류량 곡선에서 달성 가능한 최대 호기 유량은 폐기량의 증가와 함께 계속적으로 증가한다는 것을 보았다. 이러한 현상을 자세히 살필 수 있는 방법은 노력성호기류량기량곡선(maximum expiratory flow-volume curve)을 연구하는 일이다. 이는 노력성호기류량기량곡선이 노력성 호기중 폐기량의 변화에 따른 최대 호기 유량의 변화이기 때문이다. Fig. 7에서 왼쪽에는 노력성호기류량기량곡선을 그리고 우측에는 대응하는 등폐기량압력류량곡선들을 보이고 있다. 이 곡선들이 보이는 것은 만약 호기중 노력을 덜 하면 고폐기량에서는 유량이 감소하나 저폐기량에서는 감소하지 않을 것이라는 것이다. 즉 폐포압력을 30 cm H₂O로 유지하는 한 총폐용량에서 처음 2L를 내쉴때까지는 유량이 감소하나 나중 3L에서는 변하지 않으리라는 것이다.

1초간노력성호기량(FEV1)은 호기시 시간에 따른 폐기량의 변화를 기록한데 비하여 노력성호기류량기량곡선은 한단계 더 나아가 폐기량 변화에 따른 유량의 변화를 기록한 것으로서 이들은 단지 노력성 호기의 한가지 현상을 서로 다른 방법으로 도시한 것 뿐이다.

최대호기류량기량곡선은 노력성 폐활량측정법에서 시행하는 모든 검사결과를 간결하게 포함하고 있다. 최고 호기류량(peak expiratory flow)은 호기류량기량곡선의 최고 유량이며, 노력성호기중간류량(FEF 25~75%)은 폐활량 50%에서의 순간 유량에 대응된다(Fig. 9). 등폐기량압력류량곡선에서 본바와 같이 최고 호기류량은 전적으로 노력에 의존하나, 노력성호기중간류량은 폐포압력이 30 cm H₂O 이하로 떨어지지 않는 한 노력에 큰 영향을 받지 않는다. 일반적으로 호기류량기량곡선은 정상인들간에 유량이나 기량의 절대 수자는 서로 다르다 하더라도 연령, 체격 그리고 성에 따른 곡선의 모양(contour)은 별로 변하지 않으며, 폐질환에서는 그 곡선의 모양이 바뀌어 진단에 도움을 준다.

가장 흔히 시행되고 있는 1초간노력성호기량(FEV1)은 모든 폐기능검사중 가장 복잡한 생리학적 기만을 가진 검사이며, 그 이유는 어느 단일 폐기량이 아닌 호기

그림 9. 폐활량측정법 및 호기류량기량 곡선의 대비

시 초기 1초간의 다수 폐기량에 걸친 호기 유량을 합하여 측정하는 것이기 때문이다(Fig. 9). 이러한 생리학적 복잡성은 이 검사법이 오히려 임상적 유용성에서 강점이 될 수 있으며, 이는 1초간노력성호기량이 다음과 같은 요인들에 따라 그 결과가 나타나기 때문이다. 첫째 특정 폐기량에서 최대 호기 유량을 결정하는 피검자의 폐 탄력반동압과 폐내 기도의 저항을 반영하며, 둘째 폐기량 변화에 따른 최대 호기 유량의 변화를 나타냄으로써 폐기량변화에 따른 폐의 탄력반동압과 폐내 기도 저항의 변화를 반영한다. 또한 이 검사의 결과는 상기도의 저항과 피검자의 노력에 비교적 무관하다. 따라서 1초간 노력성호기량은 폐의 물리역동학적 행동에 관한 대단히 많은 정보를 통합하여 알려주는 검사이라고 생각되어진다. 이러한 복잡한 배경의 검사인 1초간노력성호기량이 감소시 단순한 기도내 폐쇄뿐 아니라 폐포질환에 의한 폐 탄력 반동압 변화에 의해서도 이 이상이 나타날 수 있다는 것을 유념하는 것이 필요하다.

REFERENCES

- 1) Pohninson DR, Chandhary BA, Speir WA: Expiratory flow limitation in large and small airway. Arch Intern Med 144:1457, 1984
- 2) Pride NB: The assessment of airflow obstruction. Role of measurements of airways resistance and tests of forced expiration. Brit J Dis Chest 65:135, 1971
- 3) Hogg JG, Macklem PT, Thurbleck WM: Site and nature of airway obstruction in chronic obstructive lung disease. New Engl J Med 278:1355, 1986
- 4) Macklem PT, Wilson NJ: Measurement of intra-

- bronchial pressure in man. J Appl Physiol **20**:653, 1965
- 5) Mead J, Turner JM, Macklem PT, Little JB: Significance of the relationship between lung recoil and maximal expiratory flow. J Appl Physiol **22**:95, 1967
- 6) Fry DL, Hytt RE: Pulmonary Mechanics, Am J Med **29**:672, 1960
- 7) DuBois AB, Botelho SY, Comroe JH: A new method for measuring airway resistance in men using a body plethysmograph. J Clin Invest **35**:327, 1956
-