

5세 미만의 폐기능 검사

건국대학교 의학전문대학원 소아과학교실

박 용 민

Lung function tests in preschool children

Yong-Mean Park, M.D.

Department of Pediatrics, Konkuk University School of Medicine, Seoul, Korea

Measurement of lung function is an integral component of respiratory physiology and of clinical assessment of lung diseases in school age children and adults. Pulmonary function test of infants and children under the age of 2 years have now been standardised and are being used both in research and as an adjunct to clinical management. By contrast, until recently, children of preschool age, i.e. between 2-6 years represented a major challenge for pulmonary function test assessment, this particular period commonly being referred to as the 'dark ages' of Pediatric Pulmonology. Measurement of lung function in preschool-aged children is now feasible. However, much work remains to be done in standardizing how these tests are performed, and in understanding the most appropriate role for the various tests in the study of growth and development of the respiratory system and in the clinical management of children in this age group. As the field develops and the knowledge of respiratory physiology in this age group expands, investigation of different and more appropriate algorithm use in preschool children, together with development of more appropriate reference data, may result in improved disease discrimination. (**Korean J Pediatr 2007;50:422-429**)

Key Words : Lung function test, Preschool children

서 론

폐기능 검사는 소아와 성인 모두에게 있어서 호흡기계의 생리학적 측면과 임상적인 상태를 파악하는 데 매우 중요하다. 2세 미만의 영유아나 신생아에서는 폐기능 검사가 어느정도 표준화되어 있으므로 실험 또는 임상적인 목적으로 사용되고 있는 반면 2-5세 사이의 취학전 연령에 해당하는 소아에서 폐기능 검사를 시행한다는 것은 매우 어려운 일이다. 이 연령층의 아이들은 장기간 집중할 수 있는 능력이 부족하여 검사실에서 시행되는 모든 작업을 수행하기 힘들다. 또한 현재 상품화 되어 있는 취학전 소아용 폐기능 검사법들조차도 이 연령의 소아들에게 적용하기 어려운 현실이다.

그럼에도 불구하고 취학전 소아의 폐기능을 검사하려는 시도가 증가하고 있는데 이는 임상적인 중요성 뿐만 아니라 지속적으로 성장하고 있는 호흡기 계통의 운동역학적인 측면을 파악하

고자 하는 노력 때문이다. 이 연령층의 소아에서 흔히 볼 수 있는 증상은 기침과 천명이다. 많은 소아 환자들이 성장함에 따라서 증상이 소실되지만 일부에서는 성인기 천식으로 발전하는 경우도 있다. 이 두 가지 경우 서로 다른 치료 방법을 사용하여야 하지만 아직까지 이들을 구분할 수 있는 검사법이 부족하다. 또한 신생아기에 기관지폐이형증(bronchopulmonary dysplasia) 등과 같은 만성 호흡기 질환이 발생하게 되면 반복적인 호흡기 증상이 나타나게 되는데, 이러한 환자들이 향후 임상적으로 호전되었는지 여부를 알기 위해서도 폐기능 검사는 필요성은 절실하다.

지난 5년간 취학전 소아의 폐기능 검사에 대한 연구가 활발히 진행되었고 수많은 논문이 발표되었는데 대부분 소아 폐 성장을 측정하는데 좋은 방법들이라고 언급하고 있다. 취학전 소아에서 사용할 수 있는 폐기능 검사법으로는 forced oscillation technique(FOT), interrupter resistance(Rint), 체적변동 특이 기도저항 측정법(plethysmographic specific airway resistance, sRaw), 기체회석법을 이용한 기능적잔기용량 측정법, gas mixing inefficiency 측정법 등이 있다.

American Thoracic Society(ATS)와 European Respiratory Society(ERS)에서 취학전 소아에서 적절한 폐기능 검사법으로

접수 : 2007년 3월 25일, 승인 : 2007년 4월 10일

책임저자 : 박용민, 건국대학교 의학전문대학원 소아과학교실

Correspondence : Yong-Mean Park, M.D

Tel : 02)2030-7555 Fax : 02)2030-7379

E-mail : ckopym@kornet.net

는 영아기부터 성인기까지 지속적으로 사용할 수 있는 것이어야 하고, 안전하며 검사의 재현성이 있어야 한다고 언급하였다. 또한 폐 성장과정을 평가할 수 있어야 하고 질병과 정상 상태를 정확하게 구분할 수 있어야 한다. 현재까지 이러한 조건에 충족할 수 있는 검사법은 없지만 필요 목적에 따라서 검사법을 선택할 수 있다. Rint는 역학조사와 같이 대규모 집단에서 검사할 때 유용한 방법이고, 기체회석법이나 FOT 등은 폐실질에 질환이 있는 경우 정확하게 평가할 수 있다.

따라서 본 장에서는 취학전 소아에서 사용할 수 있는 폐기능 검사법 중에서 가장 보편적으로 사용하고 있는 forced oscillation technique(FOT), 체적변동 특이 기도저항 측정법(sRaw), Rint 측정법 등에 대한 최신 지견을 알아보려고 한다.

Forced oscillation technique(FOT)

현재 성인에서 일반적으로 사용하고 있는 FOT를 이용한 폐기능 검사법은 환자의 협조가 적게 필요하므로 영아나 소아에서 사용해 볼 수 있다. 그러나 소아에서 이 방법을 이용할 때 얼굴에 마스크를 밀착시키거나 목 부위를 고정하는데 기술적으로 문제점이 있다. 과거에는 표준화 되어 있는 FOT 검사법이 없었지만 최근 ERS에서 표준화 작업을 시행하여 이러한 문제점을 해결하였고¹⁾, ERS 뿐만 아니라 ATS에서도 취학전 소아에게 이 검사법을 권장하고 있다²⁾.

1. 방법과 원리

FOT는 1956년 Dubois에 의해 개발되었는데³⁾ 이 방법의 수학적 원리와 공학적인 원리를 이해하기 너무 어려워 처음에는 널리 보급되지 못하였다.

FOT의 원리는 환자가 숨을 내쉴 때 발생하는 기체의 유량(F)과 압력(P)을 측정하여 임피던스(impedance, I)를 산출하며 이를 이용하여 환자의 폐기능을 측정하는 것이다. 일정한 주파수 영역에서의 sine 파(sine wave) 형태의 압력이 호흡기에 전달되면 기체 유량을 측정할 수 있고, 이때 측정된 유량과 압력의 비로 임피던스를 산출($I=P/F$)하고 이를 통해서 기도내 저항(R_{FOT})

을 알아낼 수 있다. 측정된 임피던스는 호흡기 내부의 저항, 폐 유순도(compliance), 관성(inertia) 등에 의하여 영향을 받으므로 R_{FOT} 에 폐탄성도(elasticity) 개념이 포함된 reactance까지 추가적으로 측정할 수 있다. FOT는 loudspeaker라는 압력 발생기가 어느 부위에 위치하느냐에 따라 측정되는 임피던스의 종류가 달라진다(Fig. 1). Loudspeaker를 입에 부착하면 입력 임피던스(input impedance)가 측정되고, loudspeaker를 가슴에 부착하고 입에서는 기체 유량을 측정할 때는 이동 임피던스(transfer impedance)를 산출할 수 있다⁴⁾.

FOT를 이용할 때 호흡기계의 반응은 사용한 주파수에 의하여 좌우된다. 흔히 임상에서 사용하고 있는 주파수는 4-20 Hz 정도의 중간파이다. 정상인을 이 주파수 영역에서 검사하면 측정된 임피던스는 주로 기도 저항값을 반영한다. 저주파수(<1-2 Hz)는 호흡을 약물로 마비시킨 경우나 수면중 잠시 호흡을 멈춘 상태를 측정할 때 이용된다. 이를 이용하면 신생아에게 폐손상을 받은 경우 폐 성장에 대한 정보를 추적 검사할 수 있다. 100 Hz 이상의 고주파수를 이용하면 기도의 길이, 내경, 폐 탄성 등을 파악할 수도 있다. 이와 같이 다양한 주파수 영역을 이용한 연구가 최근 활발히 진행 중이다.

작은 편차에 의해서도 임피던스 값에 영향을 줄 수 있으므로 국제적인 표준화 작업이 되어 있어야 한다⁵⁾. FOT로 검사할 때 환자는 앉은 상태에서 마우스피스를 이용하여 호흡시키고, 반드시 코를 클립으로 막고 뺨은 고정시켜야 한다. 여러 번 호흡을 시켜야 하는데 이와 같은 측정을 3-5회 반복하여야 한다. 최근에는 검사기계의 발달로 8초-2분 정도의 호흡으로 측정 가능한 제품들이 출시되어 있다

2. 정도관리(Quality control)와 제한점

소아 환자에서의 FOT 재현성(reproducibility)에 대한 연구는 부족한 실정이지만 현재까지 보고에 의하면 반복성(repeatability)은 15-17%정도이다⁶⁾. FOT는 진동 입력 압력과 출력 유량이 일직선상으로 상관성이 있을 때만 측정할 수 있는 방법이므로 응집상수(coherence constant, γ)가 매우 중요하며 이 값은 반드시 0.95를 초과하여 한다. 따라서 FOT로 연구 결과를 보고할

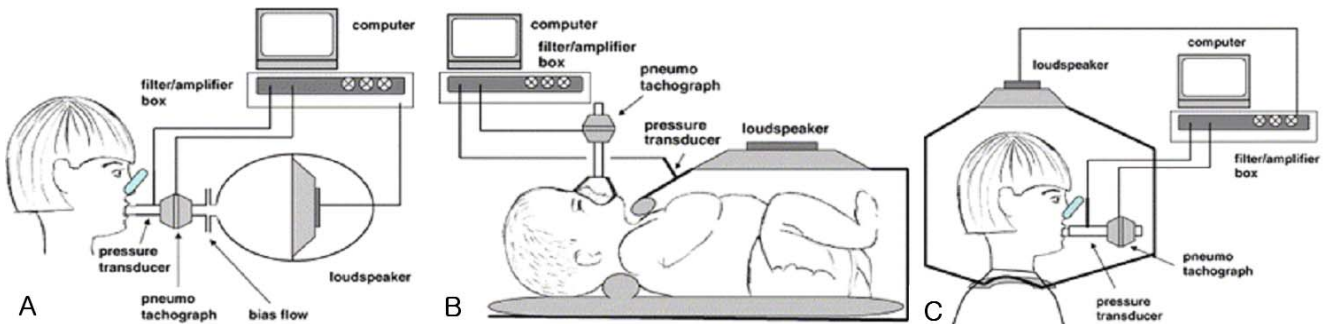


Fig. 1. (A) Measurement set up for input impedance measurements, (B) transfer impedance measurements and (C) head generator input impedance technique (Adapted from Paediatr Respir Rev 2005;6:246-54).

때에는 사용한 모델과 γ 값을 반드시 기술하여야 한다.

얼굴에 부착한 마스크와 상기도 사이에 존재하는 단락 임피던스(shunt impedance)가 문제가 되는 경우가 많다. 이는 양쪽 뺨을 고정하는 것만으로는 한계가 있다⁷⁾. 이를 해결하기 위하여 head generator를 이용하는 방법이 있지만 침습적인 방법이므로 어린 소아에서 적용하기 힘들다. 다른 해결방안으로는 이동 임피던스를 측정하는 것(Fig. 1B)인데 이 방법은 목부위를 고정하기 힘든 단점이 있다⁸⁾.

최근에는 이러한 문제점을 개선하고자 FOT에서 이용한 sine 압력 파장 대신 impulse를 이용한 방법(impulse oscillometry, IOS)나 high-speed interrupter technique(HIT)를 이용한 방법이 개발되어 FOT 보다 많이 이용되고 있다^{9, 10)}.

FOT는 취약한 소아에서 비교적 적은 협조를 요구하는 검사법이지만 연령에 따라서 성공률은 제한적인데, 3세에서 19%, 4세는 40%, 5세는 83%의 성공률을 나타내고 있지만 이는 폐활량측정법(spirometry)보다 높은 수치이다¹¹⁾.

3. 임상에서의 적용

특히 천식 환자에서 높은 R_{FOT} 값이 측정되었는데 이는 중간 주파수를 이용하였을 때 저명하였다. 그리고 임피던스 변화에 따른 R_{FOT} 는 FEV₁과 상관관계가 높다¹²⁾. 이는 메타콜린 기관지 유발시험에도 적용하여 기관지 과민성을 파악하는데도 상당히 도움이 된다. 저주파수와 이동 임피던스 측정으로 천식이나 천명이 있는 영유아에서 호흡기 내부의 기계학적인 측면을 파악할 수 있고^{13, 14)}, 고주파수를 이용하면 기도개형 정도를 제한적으로 파악할 수 있다.

환편 낭성 섬유증(cystic fibrosis)에서는 FOT를 이용하기 어려운데 기관지벽의 탄성도 차이로 인하여 임피던스와 폐활량측정법으로 측정한 값간의 차이가 너무 크기 때문이다. 그밖에도 기관지폐이형증나 인공호흡기를 사용하고 있는 중환자실 환자, 그리고 수면무호흡증 등과 같은 경우에서 제한적으로 FOT를 사용할 수 있다.

체적변동 특이 기도저항 측정법(Plethysmographic specific airway resistance, sRaw)

체적변동기록기(plethysmograph)를 이용한 sRaw 검사법은 2세 이상의 소아에서 성공적으로 사용할 수 있다¹⁵⁾. 이 방법은 1956년 DuBois에 의해 처음으로 소개되었다¹⁶⁾. Boyle 법칙을 응용하여 호흡주기 동안의 미세한 체적변동이 폐포 압력을 반영한다는 원리를 이용한 방법이며 이때 기체 유량은 호흡유량계(pneumotachograph)로 기록된다. 초기에는 일회호흡량(tidal volume)으로 호흡하는 동안의 체적변동으로 sRaw을 산출한 후 구강호흡부위를 갑자기 차단하여 기능적잔기용량(functional residual capacity, FRC)를 측정하는 등 두 단계로 나누어서 측정을 하였으나 후자 방법이 소아에서 적용하기 매우 어려우므로 FRC

측정은 생략하고 단순히 sRaw만을 측정하는 것이 일반적인 추세이다¹⁷⁾. sRaw는 어른 몸 전체가 들어갈 정도의 큰 박스 모양의 체적변동기록기를 이용하여 측정하며 이 기록기에는 압력변환기(pressure transducer)가 장착되어 있어 압력 변화를 측정한다.

1. 방법과 원리

기도내 유량(V'')과 박스안의 압력 변화를 소아가 호흡을 하는 동안 체적변동기록기를 이용하여 기록할 수 있다. 이때 소아는 박스안에 앉아서 코는 클립으로 막은 상태에서 입으로 호흡 한다(Fig. 2A). 박스내 압력변화는 Boyle 법칙에 의하여 박스내 부피변화(ΔV)를 반영하게 된다. 따라서 V'' 와 ΔV 를 이용하여 아래와 같이 sRaw를 산출할 수 있다. Pamb과 PH₂O의 차가 흉곽내 기체압력을 반영한다. 일반적인 기도저항(Raw)이 유량변화($\Delta V''$)에 대한 압력차를 의미하는데 비하여 특이기도저항(sRaw)은 Raw 개념에 흉곽내부 부피변화(ΔV)가 추가된 것이다.

$$sRaw = (\Delta V / \Delta V'') \times (Pamb - PH_2O)$$

Pam: 대기압, PH₂O: 수증기압

만일 소아 환자가 박스내로 들어가는 것을 무서워하거나 협조가 잘 안될 때에는 보호자와 같이 박스내로 들어가서 검사를 시행할 수도 있다(Fig. 2B)¹⁸⁾. 이와 같은 방법을 시도한 경우가 소아 혼자서 검사를 받은 경우보다 좋은 결과를 얻었다는 보고도 있다¹⁹⁾. sRaw를 측정하기 위해서는 일정한 속도로 천천히 숨을 내쉬어야 하는데 20초 정도면 충분하다(Fig. 2B).

2. 정도관리(Quality control)와 제한점

sRaw는 기도의 용적을 잘 반영하지만 기도저항과 FRC에 의



Fig. 2. (A) A 3-year-old child in the whole-body plethysmograph. ΔV indicates the volume (pressure) swing caused by the child's thoracic excursions during tidal breathing as measured by pressure transducers in the box. $\Delta V''$ indicates the respiratory flow during tidal breathing as measured by the pneumotachograph. sRaw is assessed from the ratio $\Delta V / \Delta V''$ (Adapted from Chest 2005;128:355-362). (B) Plethysmographic measurement of sRaw in a preschool child accompanied by an adult (in this case the investigator). Notice that the investigator is able to run the measurement sequences on the computer via the cordless mouse (Paediatr Respir Rev 2005;6:255-66).

해서 산출되므로 질환의 호진과 악화 상태를 명확하게 구분할 수는 없다. 체적변동기록기를 이용하여 sRaw를 측정할 때 그려지는 고리(loop) 형태로 검사가 제대로 이루어졌는지 아니면 허상(artifact) 이 발생하였는지 구분할 수 있다. 이 검사를 정확히 시행하려면 최소한 연속적으로 5회 시행하여 정확하게 그려진 고리 2개를 선택하여 평균값을 계산하면 된다(Fig. 3).

sRaw의 표준편차는 0.02 kPa 정도이고 개체간 표준편차는 0.11 kPa(개체간 변동지수=8-10%)²⁰⁾. 검사의 재현성은 피검자의 나이에 영향을 받지만 검사할 때 어른이 박스내로 동참하였는지 유무에 대해서는 영향을 받지 않는다. 또한 sRaw는 피검자의 신장과 성별에 관계없이 산출할 수 있다. 수년간 축적된 자료를 이용하여 정상인과 여러 연구기관에서 얻은 자료를 비교한 결과 sRaw의 정상범위는 마우스피스와 함께 마스크를 이용하였을 때 0.9-1.7 kPa이다.

건강한 2-7세 소아에서는 80% 이상 성공률을 나타내었고 이는 소아의 연령이 증가할수록 높다.

3. 임상에서의 적용

취학전 천식 환자에서의 sRaw가 정상인에 비하여 상당히 증가한다. 또한 3세 이전에 한번이라도 천명을 경험한 소아에서 sRaw가 천명이 없었던 소아보다 높게 측정되었다²¹⁾. 한편 체적변동기록기를 이용하여 sRaw를 측정할 때 찬공기로 유발시험을 2-5세 소아들에게 시행할 수 있는데 sRaw가 20% 이상 증가하면 기관지과민성이 있다고 판정한다²²⁾. 찬공기를 이용한 유발시험을 시행한 결과 소아 천식 환자의 68%에서 양성반응이 나타났고 정상인에서는 7%가 양성으로 반응하였다. 천식 약물에 대한 효과 판정에도 상당히 sRaw 검사법이 도움이 되는데, 기관지확장제를 투여한 후 sRaw가 25% 이상 변화하면 어린 소아에서 천식으로 진단할 수 있다²³⁾. 또한 찬공기 유발시험을 하였을 때 지속성 기관지확장제, 류코트리엔 조절제, 흡입용 스테로이드 제에 의한 기관지 방어효과를 판정할 수 있다²⁴⁻²⁶⁾.

체적변동기록기를 이용한 sRaw 측정은 낭성 섬유증 환자에서 어린 소아의 폐기능 검사로 유용한데 이 검사법으로 조기 폐기능이 저하되어 있다는 사실을 알아낼 수 있고²⁷⁾ 이들 환

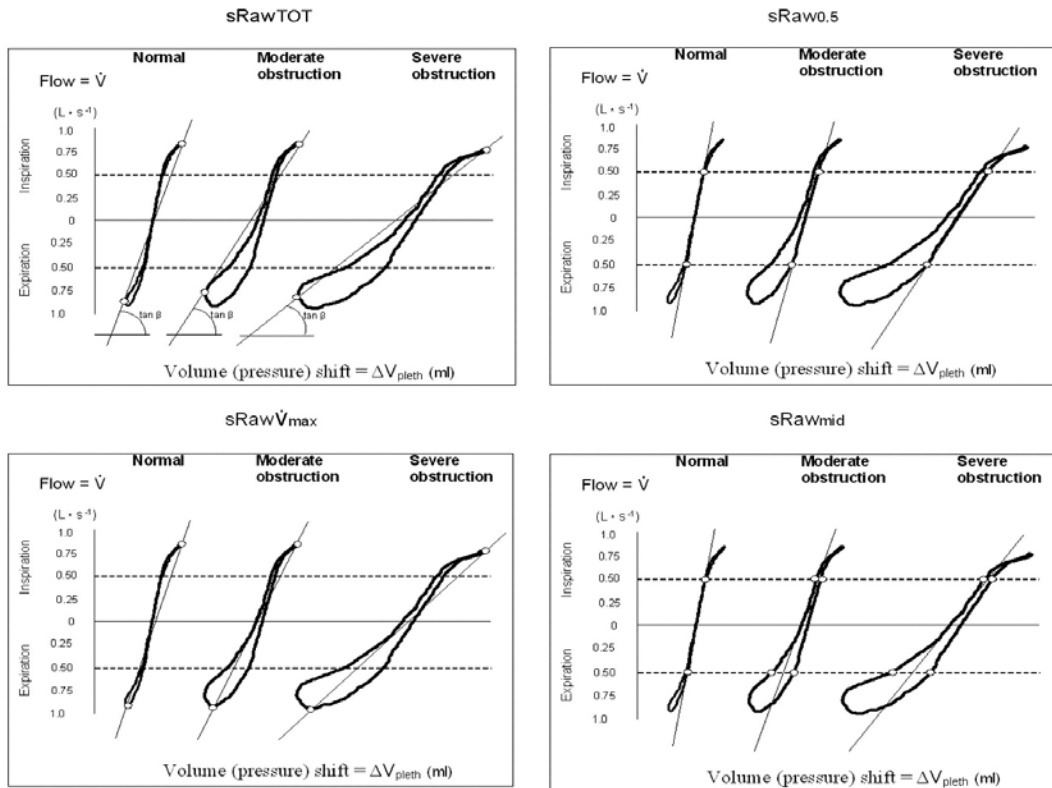


Fig. 3. An illustration of how different estimates of sRaw may be calculated from the specific resistance loop depending on how various parameter lines are applied on the loop and the slope of such lines (sRaw_{TOT}, parameter line connecting the flow points at maximum pressure; sRaw_{0.5}, parameter lines connecting the points where the flow reaches fixed values such as 0.5 L/s; sRaw_{Vmax}, parameter line connecting the maximum flow points; sRaw_{MID}, parameter line through the relevant midpoints of the lines formed by the intersections of the loop at the flow values ± 0.5 L/s) (Adapted from Chest 2005; 128:355-362).

자를 장기간 추적검사하면 지속적으로 비정상적인 sRaw와 FEV₁값을 나타내었다. 또한 남성 섬유증 환자는 천식 환자와는 다르게 기관지확장제와 찬공기 유발시험에 정상이다²⁸⁾.

Interrupter resistance(Rint)를 이용한 기도 저항측정법

Rint를 이용한 기도 저항측정법은 1927년 Von Neergaard에 의하여 처음 소개되었지만²⁹⁾ 최근 10년 이내 휴대가능한 장치(portable Rint)가 개발된 이후 이 방법이 널리 보급되었다. Rint 역시 매우 적은 협조가 필요하며 힘들이지 않고 폐기능을 측정할 수 있는 비침습적인 방법이므로 취학전 소아에서 사용할 수 있다.

1. 원리와 방법

앞에서 언급한 체적변동기록기로 직접 기도 저항(Raw)을 측정할 수 있다. 이때 발생하는 폐포압(Palv)과 Raw의 변화가 기계에 의해서 측정된 후 구강 부위에서 측정되는 기체 유량과의 비율을 계산하여 Rint 값을 산출한다³⁰⁾.

$$Rint(kPa/Ls) = \text{change in mouth pressure}(kPa) / \text{air flow at mouth}(L/s)$$

차단기법(interrupter technique)을 이용하여 구강부위의 호흡을 차단하면 그 순간 구강압력과 폐포압력이 평형상태(equilibrium)가 된다는 가정하에 Rint를 산출할 수 있다. 기도를 차단하면서 Rint를 측정하는 동안 압력-시간 곡선을 구할 수 있다(Fig. 4). 기도를 차단하자마자 구강압력이 가파르게 상승하다가 일정기간 진동과를 그리면서 서서히 상승하는 모양을 나타낸다. Raw를 간접적으로 측정하는 다른 검사법과는 달리 Rint 값은 폐실질과 흉벽 뿐만 아니라 기도내부 상태에 영향을 받는다.

Rint는 체적변동기록기나 휴대용 장치인 MicroRint(Micro Medical Ltd, Rochester, Kent, UK)(Fig. 5) 등을 이용하여 측정할 수 있다. 체적변동기록기로 Rint를 측정하려면 피검자는 박스내로 들어가서 차단된 밸브에 숨을 내쉬어야 하는데 이 작업이 어린 소아들에게는 매우 어렵고 협조가 잘 되지 않는다. 따라서 MicroRint를 이용하면 비록 차단 밸브가 동일하게 필요하

지만 박스내에 혼자 들어가지 않아도 되며 검사하기에 보다 수월하다. 다른 기도 측정법과 마찬가지로 Rint 역시 상기도 부위의 유순도(compliance)에 영향을 많이 받는다. 피검자의 목을 뒤로 젖히고 양쪽 뺨을 고정하는 식의 표준화된 방법을 이용하면 상기도 부위의 유순도를 최소화할 수는 있지만 완전히 제거할 수는 없다. 코 부위의 저항이 전체 기도 저항에 영향을 미칠 수 있으므로 비호흡은 코 클립이나 마우스피스를 이용하여 완전히 차단하여야 한다.

호흡하는 동안 Rint를 측정할 때 흡기 때와 호기 때의 차이가 4% 이하로 안정적으로 호흡하여야 한다³¹⁾. 기도 저항은 기도 유량에 영향을 받기 때문에 Rint 값은 환자의 임상적인 상태보다 검사할 때 피검자의 호흡패턴에 상당히 좌우된다는 점이 이

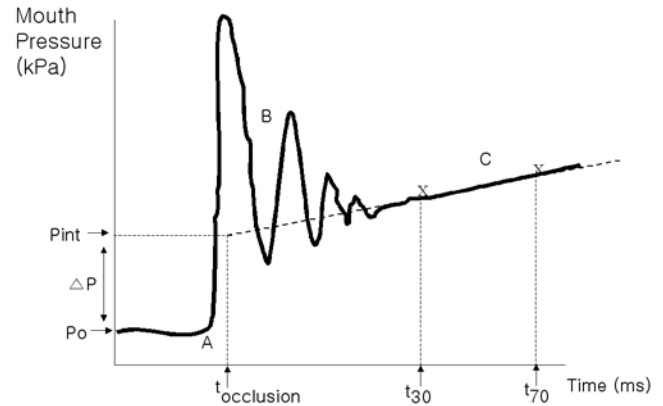


Fig. 4. Optimal Pm (t) curve showing back extrapolation RintL. An optimal Pm (t) curve should display a sharp increase in pressure immediately following occlusion (A), a series of high frequency oscillations (B) and a smooth increase in pressure (C). 3, 4 and 5 RintL measurements are obtained by linear back extrapolation of two points from the curve 30 and 70 ms post-occlusion (t30 and t70) to an arbitrary point 15 s post-occlusion at which total valve closure is thought to have occurred (tooclusion). Mouth pressure measurements are taken pre-occlusion (P0) and at time tooclusion (Pint). ΔPint is calculated from the difference between these two measurements. The ratio of this measurement to the expiratory flow at the mouth at the time of occlusion gives the Rint measurement.

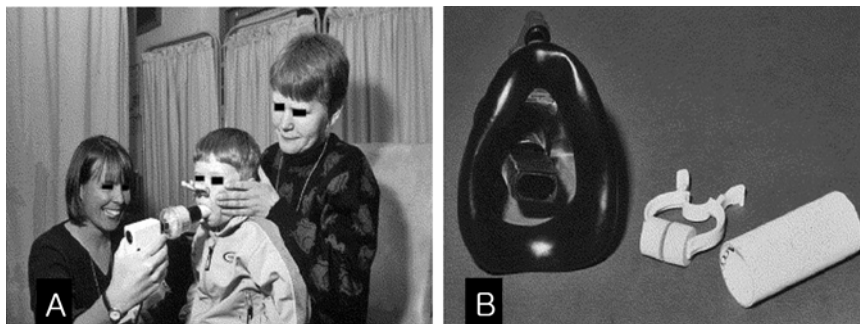


Fig. 5. (A) Child performing MicroRint measurements. (B) Face mask and mouthpiece and nose-clip used to obtain MicroRint measurements (Adapted from Paediatr Respir Rev 2005;6:273-7).

검사법의 단점이다. 따라서 Rint는 편안한 가운데 호흡을 하고 있는 상태(tidal breathing)에서 측정하여야 한다. 만일 측정된 곡선이 Fig. 4와 같은 표준화된 곡선으로 나타나지 않을 때에는 재검사를 시행하여야 한다. 예를 들어 진동과가 나온 후 구강압력곡선이 평행선을 이루거나 감소한 경우는 마우스피스나 다른 부위에서 공기가 새고 있는 것을 의미한다. 환자가 숨을 일정하게 쉬지 않거나 목을 구부린 경우 또는 말을 한 경우 역시 곡선이 제대로 나오지 않는다³²⁾. 그러므로 신뢰도가 높은 수치를 얻으려면 차단기법은 20 msec 이내로 시행하여야 하고 수시로 영점준준(calibration)을 하여서 사각(dead space)이 150 mL 미만이어야 하고 공기 유출은 없어야 한다.

2. 정도관리(Quality control)와 제한점

비록 어린 소아일수록 Rint를 측정할 때 분산계수(coefficient of variation)가 증가하지만 이 검사법의 재현성은 4세 이상의 소아에서 95% 이상이며 이보다 어린 소아에서는 재현성이 약간 떨어진다³³⁾. Rint의 분산계수는 8-15%정도인데¹⁸⁾ 이는 FEV₁(5%) 보다는 높지만 체적변동기록기를 이용한 폐기능검사(11-13%)나 IOS(10-11%)와는 비슷하다²⁰⁾.

이러한 성공률은 검사를 반복적으로 시행하면서 개선될 수 있고 검사사간의 차이는 매우 적다³⁴⁾. 성별에 따른 차이는 발견되지 않았지만 앞서 언급한 바와 같이 호흡패턴에 의하여 상당히 좌우된다.

최근에는 여러 연구를 통해서 Rint의 정상치가 표준화되었고 유럽에서는 이를 모든 연령층의 소아들에게 적용하고 있다³⁵⁾. 예를 들어 휴대용 MicroRint로 측정하였을 때 정상치는 아래 공식과 같다.

$$\text{Expiratory Rint(kPa/Ls)} = 1.972 - 0.00992 \times \text{height(cm)}$$

3. 임상에서의 적용

다른 폐기능 검사법과 마찬가지로 Rint 역시 환자의 기초자료 뿐만 아니라 약물 치료 후의 효과 판정에도 이용할 수 있다. 일반적으로 천명이 있는 소아에서 단순 기침만 있는 소아보다 Rint 값이 높고 정상인에서 가장 낮다³⁶⁾. 그러나 어린 소아에서는 분산계수가 상당히 크기 때문에 기초자료만으로는 천명군과 정상인을 구분할 수 없다. 또한 일정기간 동안 천명이 있을 때마다 Rint를 측정하였을 때 재현성이 53%로 현저하게 떨어진다³⁷⁾. 이와 같은 제한점 때문에 천명 환자에서의 장기간 흡입용 스테로이드제 효과 등과 같은 연구를 시행할 수 없다.

하지만 앞서 언급한 바와 같이 Rint는 다른 폐기능 검사법과 비교하여 낮은 분산계수를 보이고 있는데, 이는 단기간 동안 기관지확장제 등과 같은 약물을 사용한 후 그 효과를 평가하는 데는 좋은 검사법임을 의미한다³⁸⁾. 또한 취학전 소아에서 가역적 기도질환 유무를 판정하는데도 도움이 된다³⁹⁾.

Forced oscillation technique, 체적변동 특이 기도저항 측정법, Interrupter resistance (Rint)를 이용한 폐기능 검사법 비교

R_{FOT}, sRaw, Rint 모두 측정 원리적인 면에서 약간의 차이가 있지만 모두 기도내 저항을 측정하여 환자의 폐기능 상태를 알아보는 방법들이다. 이 세 가지 검사법은 기도 개존성(patency)을 파악하는데 유용한 정보를 제공한다. 그러나 FOT에 의해 측정된 저항과 Rint 값이 폐와 흉벽에 대한 정보를 제공하는 반면, sRaw는 기도와 폐용적과 연관되어 있다.

Rint, R_{FOT}, sRaw 측정법 모두 정상인 보다 천식 환자에서 증가하나 비정상을 구분할 수 있는 역치값을 산출하기에는 한계가 있다²³⁾. 또한 세 가지 방법 모두 기관지확장제에 대한 반응을 평가할 수 있다. 기관지확장제에 대한 반응이 sRaw는 25% 이상, Rint는 35% 이상⁴⁰⁾ 감소하였을 때 천식 환자로 판정할 수 있고 R_{FOT}의 경우는 1 표준편차 차이가 발생하였을 때를 천식으로 간주하는데 민감도는 R_{FOT} 측정법이 Rint 측정법 보다 높다⁴¹⁾. 한편 취학전 소아에서 메타콜린 유발시험을 시행한 경우 sRaw와 R_{FOT}가 Rint보다 높은 민감도를 나타낸다⁴²⁾. 찬공기 유발시험은 sRaw, Rint, R_{FOT} 순으로 민감도가 높다²²⁾.

결 론

지금까지 취학전 소아에서 최근에 가장 많이 사용하고 있는 세 가지 폐기능 검사법에 대해서 알아보았다. 이들 방법 모두 각각의 장단점들이 있지만 많은 연구들을 통해서 정도관리가 이루어지고 있으며 해당 나이의 정상치까지 어느 정도 발표되고 있다. 향후 지속적인 연구를 통해서 정상과 비정상을 구분할 수 있는 역치값이 산출되어야 하고 보다 쉽고 빠르게 검사할 수 있는 기계가 개발되어야 할 것이다.

References

- 1) Oostveen E, MacLeod D, Lorino H, Farre R, Hantos Z, Desager K, et al. ERS Task Force on Respiratory Impedance Measurements. The forced oscillation technique in clinical practice: methodology, recommendations and future developments. Eur Respir J 2003;22:1026-41.
- 2) Marchal F, Davis M, Ducharme FM, Hall GL, Hantos Z, Oostveen E. The ATS/ERS working group on infant and young children pulmonary function testing: The forced oscillation technique in preschool children; recommendations. Submitted for publication
- 3) Dubois AB, Brody AW, Lewis DH, Burgess BF Jr. Oscillation mechanics of lungs and chest in man. J Appl Physiol 1956;8:587-94.
- 4) Frey U. Forced oscillation technique in infants and young children. Paediatr Respir Rev 2005;6:246-54.

- 5) Williams SP, Fullton JM, Tsai MJ, Pimmel RL, Collier AM. Respiratory impedance and derived parameters in young children by forced random noise. *J Appl Physiol* 1979;47:169-74.
- 6) Duiverman EJ, Clement J, van de Woestijne KP, Neijens HJ, van den Bergh AC, Kerrebijn KF. Forced oscillation technique. Reference values for resistance and reactance over a frequency spectrum of 2.26 Hz in healthy children aged 2.3.12. 5 years. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1985;21:171-8.
- 7) Marchal F, Haouzi P, Peslin R, Duvivier C, Gallina C. Mechanical properties of the upper airway wall in children and their influence on respiratory impedance measurements. *Pediatr Pulmonol* 1992;13:28-33.
- 8) Jackson AC, Tennhoff W, Kraemer R, Frey U. Airway and tissue resistance in wheezy infants: effects of albuterol. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;160:557-63.
- 9) Vogel J, Schmidt U. Analysis of lung mechanics in general practice and the clinic, epidemiological and experimental research. Frankfurt, Pmi Verlagsgruppe GmbH 1994.
- 10) Frey U, Suki B, Kraemer R, Jackson AC. Human respiratory input impedance between 32 and 800 Hz, measured by interrupter technique and forced oscillations. *J Appl Physiol* 1997;82:1018-23.
- 11) Ducharme FM, Davis GM. Measurement of respiratory resistance in the emergency department: feasibility in young children with acute asthma. *Chest* 1997;111:1519-25.
- 12) Delacourt C, Lorino H, Herve-Guillot M, Reinert P, Harf A, Housset B. Use of the forced oscillation technique to assess airway obstruction and reversibility in children. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;161:730-6.
- 13) Loring SH, Ingram RH Jr, Drazen JM. Effects of lung inflation on airway and tissue responses to aerosol histamine. *J Appl Physiol* 1981;51:806-11.
- 14) Hayden MJ, Petak F, Hantos Z, Hall G, Sly PD. Using low-frequency oscillation to detect bronchodilator responsiveness in infants. *Am J Respir Crit Care Med* 1998;157:574-9.
- 15) Nielsen KG, Bisgaard H. Cold air challenge and specific airway resistance in preschool children. *Paediatr Respir Rev* 2005;6:255-66.
- 16) Dubois AB. Airway resistance. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;162:345-6.
- 17) Dab I, Alexander F. On the advantages of specific airway resistance. *Pediatr Res* 1978;12:878-81.
- 18) Klug B, Bisgaard H. Measurement of the specific airway resistance by plethysmography in young children accompanied by an adult. *Eur Respir J* 1997;10:1599-605.
- 19) Lindemann H. Body plethysmographic measurements in children with an accompanying adult. *Respiration* 1979;37:278-81.
- 20) Klug B, Bisgaard H. Specific airway resistance, interrupter resistance, and respiratory impedance in healthy children aged 2-7 years. *Pediatr Pulmonol* 1998;25:322-31.
- 21) Lowe L, Murray CS, Custovic A, Simpson BM, Kissen PM, Woodcock A. Specific airway resistance in 3-year-old children: a prospective cohort study. *Lancet* 2002;359:1904-8.
- 22) Nielsen KG, Bisgaard H. Lung function response to cold air challenge in asthmatic and healthy children of 2.5 years of age. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;161:1805-9.
- 23) Nielsen KG, Bisgaard H. Discriminative capacity of bronchodilator response measured with three different lung function techniques in asthmatic and healthy children aged 2 to 5 years. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;164:554-9.
- 24) Nielsen KG, Bisgaard H. Bronchodilation and bronchoprotection in asthmatic preschool children from formoterol administered by mechanically actuated dry-powder inhaler and spacer. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;164:256-9.
- 25) Bisgaard H, Nielsen KG. Bronchoprotection with a leukotriene receptor antagonist in asthmatic preschool children. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;162:187-190.
- 26) Nielsen KG, Bisgaard H. The effect of inhaled budesonide on symptoms, lung function, and cold air and methacholine responsiveness in 2- to 5-year-old asthmatic children. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;162:1500-6.
- 27) Aurora P, Bush A, Gustafsson P, Oliver C, Wallis C, Price J, Stroobant J, Carr S, Stocks J. Multiple-breath washout as a marker of lung disease in preschool children with cystic fibrosis. *Am J Respir Crit Care Med* 2005;171:249-56.
- 28) Nielsen KG, Pressler T, Klug B, Koch C, Bisgaard H. Serial lung function and responsiveness in cystic fibrosis during early childhood. *Am J Respir Crit Care Med* 2004;169:1209-16.
- 29) Von Neergaard K, Wirz K. Die messung des stromungswiderstandes in den atemwegen des menschen, insbesondere bei asthma and emphysema. *Z Klein Med* 1927;105:51-82.
- 30) Chowiecnyk PJ, Lawson CP, Lane S et al. A flow interruption device for measurement of airway resistance. *Eur Respir J* 1991;4:623.628.
- 31) Bridge PD, McKenzie S. Airway resistance measured by the interrupter technique: expiration or inspiration, mean or median? *Eur Respir J* 2001;17:495-8.
- 32) Sly PD, Lombardi E. Measurement of lung function in preschool children using the interrupter technique. *Thorax* 2003;58:742-4.
- 33) Child F, Clayton S, Davies S, Fryer AA, Jones PW, Lenney W. How should airways resistance be measured in young children: mask or mouthpiece? *Eur Respir J* 2001;17:1244-9.
- 34) Kannisto S, Vanninen E, Remes K, Korppi M. Interrupter technique for evaluation of exercise-induced bronchospasm in children. *Pediatr Pulmonol* 1999;7:203-7.
- 35) Merkus PJ, Arets HG, Joosten T, Siero A, Brouha M, Mijnsbergen JY, et al. Measurements of interrupter resistance: reference values for children 3.13 yrs of age. *Eur Respir J* 2002;20:907.911.
- 36) McKenzie S, Mylonopoulou M, Bridge PD. Bronchodilator responsiveness and atopy in 5-10 yr old coughers. *Eur Respir J* 2001;18:977-81.
- 37) Chan EY, Bridge PD, Dundas I, Pao CS, Healy MJR, McKenzie SA. Repeatability of airway resistance measurements made using the interrupter technique. *Thorax* 2003;58:344-7.
- 38) Bridge PD, Lee H, Silverman M. A portable device based on the interrupter technique to measure bronchodilator response in schoolchildren. *Eur Respir J* 1996;9:1368-73.
- 39) Bridge PD, Ranganathan S, McKenzie SA. Measurement of airway resistance using the interrupter technique in preschool children in the ambulatory setting. *Eur Respir J* 1999;13:792-6.
- 40) Beydon N, Pin I, Matran R et al. Pulmonary function tests

- in preschool children with asthma. *Am J Respir Crit Care Med* 2003;168:640-4.
- 41) Delacourt C, Lorino H, Fuhrman C et al. Comparison of the forced oscillation technique and the interrupter technique for assessing airway obstruction and its reversibility in children. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;164:965-72.
- 42) Klug B, Bisgaard H. Measurement of lung function in awake 24-year-old asthmatic children during methacholine challenge and acute asthma: a comparison of the impulse oscillation technique, the interrupter technique and transcutaneous measurement of oxygen versus whole-body plethysmography. *Pediatr Pulmonol* 1996;21:290-300.