

2016 폐기능검사 지침

ISBN: 979-11-953666-6-8

[비매품]

본 지침서의 판권은 대한결핵 및 호흡기학회에 있음.

폐기능검사 지침 편찬위원

위원장: 장중현(이화여대)

폐활량검사, 기관지확장제검사, 기타검사

위원장: 장중현

위 원: 권철석(서울아산병원)

리원연(연세대)

서동인(서울대)

심윤수(한림대)

오연목(울산대)

윤종서(가톨릭대)

이지현(차의대)

이진화(이화여대)

조재화(인하대)

폐확산능 검사

위원장: 유광하(건국대)

위 원: 박성우(순천향대)

송진우(울산대)

엄수정(동아대)

이성순(인제대)

이진국(가톨릭대)

천은미(이화여대)

황용일(한림대)

폐용적 검사

위원장: 김영삼(연세대)

위 원: 김덕겸(서울대)

김상하(연세대)

김정현(차의대)

김현국(인제대)

신종욱(중앙대)

임성용(성균관대)

장유진(충북대)

비특이 기관지유발검사

위원장: 윤형규(가톨릭대)

위 원: 김세원(가톨릭대)

김태형(한양대)

박성주(전북대)

이명규(연세대)

이영민(인제대)

증례제작 위원: 김영삼, 박성주, 유광하, 이지현

출판 위원: 김태형, 송진우, 신종욱, 이지현, 이진화

동영상제작 위원: 권철석, 오연목, 장중현

자문 위원: 김순중(건국대), 김제형(고려대), 김희정(건국대), 박인원(중앙대), 손장원(한양대),
어수택(순천향대), 용석중(연세대), 이상학(가톨릭대), 인광호(고려대), 정지예(연세대)

발간사

폐기능검사는 호흡기관의 가장 기본적인 검사 중 하나로, 검사 대상자의 폐 상태를 객관화된 지표로 표현하는 생리적인 검사수단입니다. 폐기능검사는 폐질환의 진단에 사용되고, 특히 기류폐쇄나 폐용적의 변화를 초래하는 질환에서 치료 전후의 약제 효과를 판별하거나 질병의 경과관찰을 하는데 도움이 되는 검사입니다.

폐기능 정상치는 성별, 나이, 인종, 신체치수에 따라 달라질 수 있으므로, 한국인의 표준화된 폐기능검사 자료가 반영된 정상치가 필요하지만, 지금까지는 주로 외국에서 제시된 검사법과 자료를 바탕으로 검사결과를 해석하는 어려움이 있었습니다. 그 동안 국내 자료에 근거해서 폐기능 정상치를 구한 논문이 발표되었지만, 실제 폐기능검사실에서 그 활용도가 낮았습니다. 이는 아직까지 국내에서 제작된 체계적인 지침서가 없었기 때문입니다. 또한 폐기능검사를 교육하는 교육자, 검사를 수행하는 검사자, 교육받는 학생들에게 우리말로 된 표준화된 지침서가 없었던 것도 본 지침서를 기획하게 된 계기 중 하나였습니다.

대한결핵 및 호흡기학회는 이런 문제점을 반영하여 실제 진료현장에서 사용하기 편한 검사 지침서를 만들기 위하여 2015년부터 준비해 왔습니다. 본 지침서는 국내 여러 대학의 호흡기전문가들이 짜임새 있고 활용도가 높은 지침서가 되도록, 가능한 국내에서 발표된 논문과 정상치 자료를 인용하여 우리에게 맞는 기준을 제시하였으며, 폐기능검사의 국내 실태조사를 반영함으로써 진료현장에서 바로 적용 가능한 지침서가 되도록 노력하였습니다.

그간 본 지침서가 발간되기까지 자료 수집, 정리, 문헌 고찰 등의 모든 과정에 참여해주신 여러 편찬위원들의 노고에 감사 드리며, 또한 자료 검증과 자문을 해 주신 전문가 선생님들과 조언을 주신 유관기관 선생님들께도 감사의 뜻을 전합니다. 이번 지침서가 진료현장과 교육에 실질적으로 많이 활용되고 도움이 되기를 바랍니다.

2016년 7월

대한결핵 및 호흡기학회 회 장 강 경 호

이사장 신 동 호

서문

폐기능검사는 호흡기 영역의 기본 검사 중 하나로, 호흡기질환의 병태생리를 잘 반영해주는 검사입니다. 폐기능검사는 질병의 진단 뿐만 아니라, 경과 관찰, 치료 효과 등을 판정하는데 유용하며, 이외에도 직업성 폐질환이나 호흡기장애 판정 등에 필수적인 검사입니다.

대한결핵 및 호흡기학회는 그간 임상진료를 위한 여러 지침서들을 제작, 보급하여 왔으며, 본 지침서도 그런 작업의 일환으로 준비되어 이번 출간을 맞이하게 되었습니다. 폐기능검사 결과를 해석하기 위해서는 그 기준치를 정하는 것이 중요한데, 그 동안 몇몇 논문에서 우리나라 국민들을 대상으로 한 기준치들이 발표되었으나 그 활용도는 낮았습니다. 이번 지침을 통해 이런 연구 결과를 정리하여 공표하게 되었기에 더욱 의의가 크겠습니다. 또한, 의료기관마다 차이가 있던 폐기능검사 방법을 문헌 고찰과 기관별 설문 조사를 통하여 표준화함으로써, 일선에서 그 적용이 용이하도록 노력하였습니다.

본 지침서는 크게 5개의 검사 단원과 2개의 부록 단원으로 구성되어 있습니다. 1단원에서는 가장 중요하고 기본이 되는 폐활량검사와 기관지확장제검사를 다루었고, 2단원에서는 폐확산능, 3단원에서 폐용적, 4단원에서 비특이 기관지유발검사를, 그리고 5단원에서는 기타 검사들을 포함시켰습니다. 부록에는 장비보정 내용과 본문 내용에 추가되는 표를 수록하였으며, 마지막 단원에서는 폐기능검사가 환자의 진단에 실제로 어떻게 적용되는지를 보여주는 5가지 임상 증례를 제시하였습니다. 또한 본 지침서에서 다루어진 폐기능검사 방법에 대한 동영상 제작하여 유튜브에 올리고 본문에 웹사이트 연결주소를 같이 제시하였습니다.

끝으로 국내에서는 처음 제정되는 폐기능검사 지침 발간을 위해 그간 수고해주신 여러 편찬위원님과 조연과 자문을 해주신 자문위원 선생님들께 깊은 감사를 드리고, 아울러 좋은 지침서가 되도록 많은 지지와 의견을 주신 학회원 여러분, 각 병원 폐기능검사실 기사님과 학회 사무국 여러분께 감사드립니다. 본 지침서가 실무현장에서 많이 활용되고 폐기능검사의 표준화에 기여할 수 있기를 기대합니다.

2016년 7월

대한결핵 및 호흡기학회 진료지침이사 **장중현**

목 차

1단원. 폐활량검사와 기관지확장제검사	1
서론	3
검사방법	6
정도관리	12
검사 정도관리	12
장비 정도관리	16
해석	19
2단원. 폐확산능 검사	35
서론	37
검사방법	40
정도관리	43
해석	45
3단원. 폐용적 검사	49
서론	51
검사방법	54
정도관리	56
해석	57
4단원. 비특이 기관지유발검사	61
서론	63
메타콜린 유발검사	66
만니톨 유발검사	73
운동 유발검사	75

목차

5단원. 기타 검사	81
최대환기량(maximum voluntary ventilation)	83
최고호기기류속도(peak expiratory flow rate)	84
FEV ₆	88
6단원. 부록	91
장비 보정	92
감염 예방	106
부록 표	108
7단원. 증례	115
폐활량검사 증례	116
기관지확장제검사 증례	118
폐확산능 검사 증례	120
폐용적 검사 증례	122
메타콜린 유발검사 증례	125

폐기능검사 동영상



1단원

폐활량검사와 기관지확장제검사

서론	3
검사방법	6
정도관리	12
검사 정도관리	12
장비 정도관리	16
해석	19

- 1단원. 폐활량검사와 기관지확장제검사

1단원. 폐활량검사와 기관지확장제 검사

• 약어표

ACOS	Asthma-COPD overlap syndrome	천식-COPD 중복지후군
BTPS	Body temperature (37°C or 310 K) and ambient pressure, saturated (47 mmHg or 6.2 kPa) with water vapor	
COPD	Chronic obstructive pulmonary disease	만성폐쇄성폐질환
EV	Back extrapolated volume	추정용적
FEF _{25-75%}	Forced expiratory flow during the middle half of the FVC	노력호기중간기류량
FEF _{75%}	Instantaneous flow measured after 75% of the FVC has been exhaled	
FEV ₁	Forced expiratory volume at 1 second	1초노력호기량
FRC	Functional residual capacity	기능잔기용량
FVC	Forced vital capacity	노력폐활량
IC	Inspiratory capacity	흡기용량
LLN	Lower limit of normal	정상하한치
MDI	Metered dose inhaler	계량흡입기
MVV	Maximum voluntary ventilation	최대환기량
PEF	Peak expiratory flow	최고호기기류
RV	Residual volume	잔기량
TLC	Total lung capacity	총폐용량
VC	Vital capacity	폐활량

서론

폐활량검사는 대상자가 최대한 숨을 들이마신 후 내쉴 수 있는 공기량을 측정하는 검사법으로 폐활량검사 및 기관지확장제검사의 목적과 적응증 등을 알아본다.

본문에서는 폐활량검사 및 기관지확장제검사의 목적, 기본적인 동작원리 및 검사방법을 설명하고, 해석에서는 임상 상황에 따른 검사결과에 대한 판독법을 기술한다.

1. 폐활량검사의 목적

폐는 산소를 섭취하고 체내에서 생긴 탄산가스를 배출하는 역할을 한다. 폐기능검사는 폐의 기능적인 측면을 객관화한 지표로 평가하는 도구로써 재현성을 가져야 한다. 그 중 폐활량검사는 환자가 최대한 숨을 들이마신 후 내쉴 수 있는 공기량을 측정하는 검사법이다.¹

폐기능검사에는 여러 종류가 있는데 이 검사들은 어떤 한 질병을 특정하여 진단해주는 것은 아니지만 질환에 따른 고유한 특징적인 양상을 보이므로 질환을 조기에 진단하거나, 임상적 진행을 단계별로 평가하는데 도움을 준다. 또한 측정치의 변화로 질환의 경중의 변화를 반영하여 여러 폐질환에서 임상적 상황들에 대한 해법을 제시해 주고 치료 전후의 효과 판정이나 치료의 가역성 여부를 판단하는데 도움을 줄 수 있다.² 대표적인 예로, 폐기능검사는 천식이나 만성폐쇄성폐질환(chronic obstructive pulmonary disease, COPD) 같은 호흡기질환의 진단에 도움을 주며, 이외에도 호흡기계의 건강상태를 점검하여 이상 유무를 판정하는 방법으로도 활용된다. 여기서 측정하는 주요 지표로는 노력호기 중에 배출되는 유량을 측정하는 노력폐활량(forced vital capacity, FVC)과 FVC 측정 과정 중 처음 1초간에 배출되는 유량을 측정한 1초노력호기량(forced expiratory volume in one second, FEV₁)이 있다. 또한 기관지확장제 흡입 후 측정치의 변동을 관찰하는 기관지확장제검사가 있다.

폐기능검사를 할 때는 적합성과 재현성이 보장되어야 한다.³ 검사자는 대상자가 검사를 원만하게 시행할 수 있도록 해야 하며, 적합성과 재현성을 만족하기 위해서는 검사자에 대한 교육이 필수적이다. 이를 위해서는 일련의 과정에 대해 지침으로 삼을 교재가 필요하며 본 지침서는 이러한 목적을 위해 만들었다. 폐기능검사의 정상예측치는 성별, 나이, 신장 및 인종에 따라 달라지기 때문에 각 나라의 정상예측치를 사용해야 한다.⁴ 하지만 고령에 대한 기준치에 대해서는 데이터가 부족하고, 이민자나 고도비만자에 대한 보정된 자료 또한 부족한 실정이다.²

- 1단원. 폐활량검사와 기관지확장제검사

1) 적응증⁵

- ① 질환의 진단에 보조적으로 사용한다. 즉, 천식이나 COPD 같은 폐쇄 환기장애나, 간질성폐렴과 같은 제한 환기장애를 구분하여 진단에 도움을 준다.
- ② 직업성 요인에 의한 호흡기장애를 조기에 규명하고, 장애가 고착된 경우는 장애 등급과 보상에 대한 객관화된 자료를 제공한다.
- ③ 시간 간격을 두고 검사하여 특정 질환에서의 경과 관찰이나 치료 반응을 평가한다.
- ④ 수술에 따른 호흡기합병증을 예측하기 위한 수술 전 평가로 사용한다.
- ⑤ 국가의 보건관리 목적으로 사용한다.
- ⑥ 흡연자 중에서 폐기능 이상이 있는 환자를 선별할 목적으로 사용한다.

2) 금기증

① 절대 금기

- i. 최근 3달 이내에 안과 수술, 개심술, 개복술, 뇌졸중, 심장마비, 심근경색증, 기흉, 망막박리, 대동맥류가 있었던 경우
- ii. 과호흡 혹은 최대 노력호흡이 문제가 될 수 있는 질환(모야모야병, 반복 자발기흉)
- iii. 현재 결핵 등 호흡기감염을 갖고 있거나 이에 노출된 가족
- iv. 지난 한달 내 대량 객혈이 있었던 경우
- v. 수축기 혈압 200 mmHg 초과 혹은 이완기 혈압 140 mmHg 초과

② 상대 금기

- i. 요실금 경험이 있는 경우
- ii. 흉부 또는 복부 통증
- iii. 마우스피스를 물면 구강 또는 얼굴에 통증이 있는 경우
- iv. 치매 또는 의식 저하 환자

2. 기관지확장제검사의 목적

기관지확장제검사는 기도를 확장시키는 속효 기관지확장제를 흡입한 후 폐활량 변화를 측정하는 검사법이다. 폐쇄 환기장애가 관찰된 경우에 기관지확장제에 의한 가역성을 측정하여, 천식 및 COPD를 진단 및 평가하는데 도움을 준다.⁶

1) 적응증

- ① 천식과 COPD를 구분
- ② 호흡곤란 정도의 객관적 평가
- ③ COPD 중증도 평가
- ④ 수술 전 위험도 평가
- ⑤ 직업성폐질환에서 장애의 판정과 등급 평가
- ⑥ 질환의 경과 관찰을 위하여 시간 간격을 두고 측정

2) 금기증⁶

- ① 베타2 항진제 부작용이 우려되는 경우: 빈맥, 혈압상승, 부정맥, 신경질적임(nervousness), 저칼륨증(hypokalemia) 등
- ② 이노제를 복용중인 경우, 부정맥을 증가시킬 수 있는 monoamine oxidase (MAO) 억제제, 삼환계 항우울제(tricyclic antidepressant)를 복용 중인 경우
- ③ 임신 또는 수유 중인 경우
- ④ 최근 기관지확장제에 심한 부작용이 초래된 경우

- 1단원. 폐활량검사와 기관지확장제검사

검사방법

1. 폐활량검사 방법

- 검사 전 준비사항들을 대상자에게 확인하고 정확한 검사를 위하여 최대한 노력을 해야 함을 설명한다.
- 검사자는 검사 진행과정을 상세하게 시범으로 보여주며 설명한다.
- 검사 단계별로 가능한 최대로 깊게 들이마시도록 격려하고, 기기에 공기를 쏟아 붓도록 큰소리로 유도하며, 적어도 6초 이상 호기를 유지할 수 있도록 격려한다.

1) 검사 전 기기 점검

적절한 정도 관리를 위하여 기류-용적(flow-volume)과 용적-시간(volume-time) 곡선을 확인해야 한다. 기기 자체의 내부 보정과 함께 매일 보정 체크를 권장한다. 보정 체크를 할 때는 3 L 실린지(syringe)를 3회 사용하여야 한다. 폐활량계에서 허용하는 용적은 3 L의 $\pm 3.5\%$, 즉 105 mL 이내로 차이가 나야 한다. 이 범위를 벗어나는 경우에는 유량센서를 교체하고 다시 측정한다. 그럼에도 보정이 이루어지지 않으면 기기 업체에 의뢰한다.^{5,7,8}

2) 검사 전 준비

- ① 대상자에게 검사의 목적을 설명하고 정확한 검사를 위하여 최대한의 노력이 필요함을 설명한다.
“얼마나 세고 빠르게 숨을 쉴 수 있는지 측정하기 위한 검사입니다.”
- ② 대상자는 검사 전 신발을 벗고 키와 몸무게를 측정한다. 흡연 여부, 최근에 앓은 질환, 약물 복용 등을 조사한다. 검사 전 피해야 할 사항들을 지켰는지 확인한다(표 1). 딱 조이는 옷은 느슨하게 하고 의치는 빼고 검사하도록 한다.^{3,9}

표 1. 검사 전 피해야 할 사항

활동	검사 전 중지기간
음주	4시간
식사(중량 이상)	2시간
심한 운동	30분
흡연	>1시간
테오필린	24-48시간
검사에 영향주는 약물 복용	약물 종류와 마지막 복용시간 기록

- ③ 검사는 앉아서 진행한다. 서서 하거나 다른 자세를 취하는 경우에는 기록에 남긴다. 상체를 약 15도 앞으로 기울인다. 턱과 목은 약간 들어 기도가 막히지 않도록 하고 검사가 끝날 때까지 이 자세를 유지하도록 한다.
- ④ 검사자는 검사 진행 과정을 쉽게 설명한다. 마우스피스를 제대로 무는 방법, 최대한 숨을 들이 마시는 방법, 숨을 제대로 내쉬는 방법 등을 시범을 통하여 설명하고 실제 보여준다. 시범을 보일 때는 실제와 마찬가지로 최소한 6초 이상 길게 숨을 내쉬는 모습을 보여준다.

마우스피스는 입 안으로 넣고 입술로 꼭 조여 공기가 새지 않도록 하고 검사 도중 입술이 벌어지지 않게 최대한 오므리도록 설명한다. 혀의 위치는 마우스피스 밑에 위치하도록 하여 마우스피스의 입구를 막지 않도록 한다.

3) 검사 과정

동영상 참조 (<https://www.youtube.com/watch?v=NWohvSZoc9E&t=6s>)

- ① 코를 통하여 공기가 빠져나가는 것을 막기 위하여 코 클립을 거즈에 대고 코에 물리거나 손으로 코를 막고 검사를 한다.
- ② 어깨와 목에 힘을 주지 않도록 하고 가슴을 펴고 마우스피스를 치아로 물고 입안에 위치하도록 한다.
- ③ 입술로 마우스피스 주변을 단단히 물어서 새는 것을 막는다.
- ④ 어깨와 목에 너무 힘을 주지 않도록 하고 최대한 들이마셨을 때 주저하지 않고 곧바로 빠르고 세게 불어내도록 한다.

내쉬기는 적어도 6초간 유지해야 하고 6초 이전에 검사를 끝내지 않도록 설명한다. 6초 이상 불어낸 경우에도 대상자가 더 불어낼 수 있으면 끝까지 불어내도록 한다. 숨을 내실 때, 입을 최대한 오므린 상태인지, 최대한 노력하여 시행하는지 확인한다.

실제 검사 시 아래와 같이 설명하면 좋다.

“최대한 세고 빠르게 마우스피스를 통해 숨을 내주세요.”

“그만할 때까지 계속해서 들이쉬지 말고 처음과 같이 내쉬고, 힘들면 내쉬는 흉내라도 내시고 절대 들이쉬면 안됩니다.”

큰 소리로 “좀 더 내 뱉으세요. 숨을 들이 마시지 말고 계속 내 뱉으세요”

- ⑤ 잠시 동안 쉬 후, 검사를 반복한다. 오류가 없는 적합한 검사가 3회 이상 나올 때까지 검사를 반복하되, 최대 8회까지 시행할 수 있다.
- ⑥ 검사를 진행할 때 가장 중요한 일은 검사 결과가 최대한 재현될 수 있도록 노력을 하는 것이다. 기기가 아무리

- 1단원. 폐활량검사와 기관지확장제검사

정확하여도 대상자가 최대한 노력을 하지 못하면 부정확한 결과가 나온다. 폐활량검사는 대상자가 최대한 노력을 하여야 정확한 결과를 얻을 수 있다.

그림 1처럼 단계별로 지시를 명확하게, 호흡을 잘 하도록 격려해야 한다.

1단계 (Maximal inspiration): 가능한 최대로 깊게 들이마시도록 격려한다.

2단계 (Blast phase): 폐활량계에 공기를 쏟아 붓도록 큰소리로 유도한다.

3단계 (Continuation): 적어도 6초 동안 호기를 유지할 수 있도록 격려한다. (10세 미만 아동은 3초 이상)

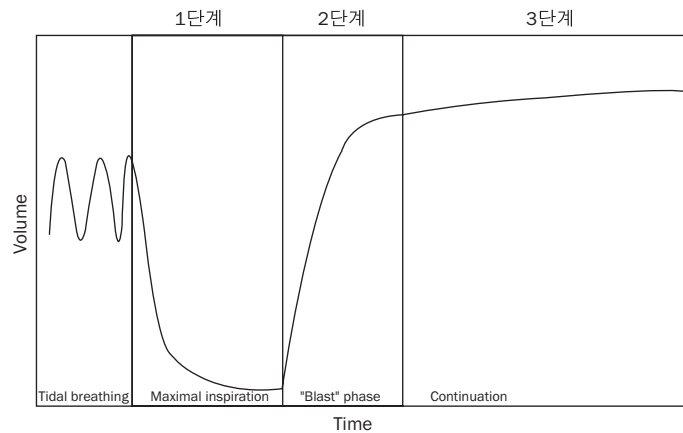


그림 1. 노력호기 시행 방법

4) 기류-용적 곡선(flow-volume curve)

최대한의 노력으로 흡기-호기를 시행하는 중에 용적(x축)과 기류(y축)로 그린 고리 모양의 그림이다. 모양의 변화로 상기도 폐쇄를 찾아낼 수 있다. 대상자는 한번에 총폐용량(total lung capacity, TLC)까지 빠르게 흡기를 한 후, 주저하지 않고 최대한 호기를 하여 더 이상 숨을 뱉어낼 수 없는 때까지 내신다. 곧바로 최대한 빠르게 들이마신다(**그림 2**).

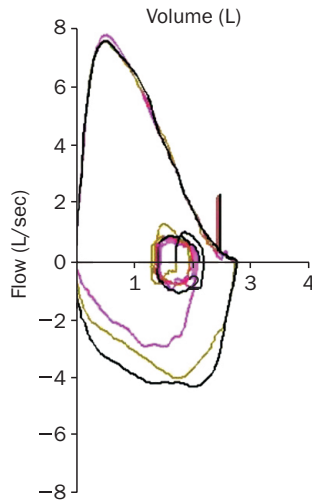


그림 2. 정상인의 기류-용적 곡선

2. 기관지확장제검사 (기도가역성검사)

- 기관지확장제검사는 기관지확장제를 투여 전 후 비교하여 기류제한의 가역성을 평가한다.
- 기존의 약제에 새로운 약제를 추가하여 폐기능의 호전 여부를 예측할 목적으로 시행한다.

1) 검사 전 준비

기관지확장제검사는 폐기능검사의 일부로 약제 투여 후 기류제한의 가역성을 보기 위해 시행되는 검사다. 이때 사용하는 약제의 종류, 용량, 투여 경로의 선택은 기도가역성검사로부터 어떤 것을 얻을 지에 따라 결정된다. 기도가역성검사의 목적이 규칙적인 치료에 새로운 약제를 추가하여 환자의 폐기능의 호전이 될 수 있는지를 보기 위한 것이라면 검사에 앞서 평소 규칙적으로 투여 중이던 치료 약제를 계속해서 투여할 수 있다. 그러나 기류제한의 가역성을 보기 위한다면 약제를 일정 시간 중단하고 검사를 해야 한다. 속효 기관지확장제(베타2 항진제인 albuterol/salbutamol; 항콜린제인 ipratropium bromide)는 검사하기 전 6시간 이내, 테오필린은 12-48시간, 지속 베타2 항진제는 24~48시간 이내에는 사용하면 안 된다. 담배는 최소 검사 한시간 전부터 검사가 끝날때까지 피우지 말아야 한다(표 2).

- 1단원. 폐활량검사와 기관지확장제검사

표 2. 기도 반응성을 감소시키는 인자들

인자	마지막 투약에서 검사까지 최소 시간 간격
약물	
흡입 기관지확장제	
속효 흡입 베타2 항진제 (salbutamol, metaproterenol, terbutaline)	8시간
속효 흡입 항콜린제 (ipratropium)	24시간
지속 흡입 기관지확장제 (salmeterol, formoterol, tiotropium)	48시간(tiotropium인 경우는 1주 예상)
경구 기관지확장제	
액상 테오필린	12시간
중간 지속 테오필린	24시간
지속 테오필린	48시간
경구 베타2 항진제	12시간
지속 경구 베타2 항진제	24시간
Cromolyn sodium	8시간
Nedocromil	48시간
Hydroxyzine, cetirizine	72시간
Leukotriene modifiers	24시간
스테로이드 (경구 또는 흡입)	작용기간은 알 수 없음. 항염증 효과가 없어지기 위해서는 수주간 중단해야 함.
음식물	
커피, 차, 콜라, 초콜릿	검사 당일

2) 검사 과정

동영상 참조 (<https://www.youtube.com/watch?v=pT3Xkbn5DEg>)

검사는 다음의 절차에 따라 진행된다.⁵

- ① 이전에 기술된 것과 동일하게 폐활량검사를 한다.
- ② 기관지확장제를 검사의 목적에 따른 용량과 방법에 따라 투여한다.
각 약물에 따른 절차는 다음과 같다.
 - i. Albuterol (속효 베타2 항진제)⁶
 - ㉠ 천천히 숨을 충분히 내쉬고
 - ㉡ 스페이스(spacer device)를 입에 문 상태에서 salbutamol 계량흡입기(metered dose inhaler, MDI) 100 μ g (1회)을 스페이스에 분무한 후
 - ㉢ 숨을 천천히 깊게 TLC까지 3~5초에 걸쳐 들이마시고
 - ㉣ 5~10초 참은 후 내쉰다.
 - ㉤ 30초 이내의 간격으로 ㉠부터 ㉣의 과정을 네 번 반복한다. 원래 총 400 μ g 약제가 투여되어야 하나, 대상자의

- 심박수에 영향을 미치거나 손 떨림 등이 발생할 우려가 있는 경우 200 μg 으로 용량을 줄일 수 있다.
- ㉔ 마지막 약제 흡입이 끝난 후 10~20분 사이에,¹⁰ 폐활량검사를 다시 시행한다.
 - ii Ipratropium bromide (속효 항콜린제)
 - ㉕ 현재 국내에서 일반적으로 사용³ 가능하지 않지만 임상 시험용으로 사용하는 경우가 있다.
 - ㉖ Ipratropium bromide MDI는 30초 이내 간격으로 위의 ㉕부터 ㉔의 과정을 네 번 반복해서 40 μg 을 4회(총 160 μg) 흡입한다.
 - ㉗ 네 번의 약제 흡입이 끝나고 30분 후 폐활량검사를 다시 시행한다.
 - ㉘ 기록된 기관지확장제 투여 전 후 폐활량검사의 변화에 따라 기도가역성을 평가한다.

3. 기관지확장제 투여방법과 투여량

유의한 기관지확장제 반응의 정의를 표준화하기 위하여 투여하는 기관지확장제 투여의 표준화가 필요하다. 다음은 투여 기구에 따른 흡입제의 폐침착(lung deposition)에 대한 설명이다.

1) MDI

- ① 성인에서 스페이서를 이용하여 salbutamol을 MDI로 100 μg 한번 흡입하면 그 중 10~20%가 폐에 침착할 것으로 예상할 수 있다.^{11,12} 스페이서가 없다면 폐침착은 적어질 것이며 흡입 방법에 따라 결과가 매우 달라질 것이다.
- ② Chlorofluorocarbon (CFC) 대신 hydrofluoroalkane (HFA)을 추진제(propellant)로 사용한 CFC-free MDI는 CFC-MDI에 비해 입자 크기를 작게 만들어 폐의 침착을 50% 까지 높인다.¹³ 이런 관점에서 salbutamol의 용량을 200 μg 으로 줄여서 투여할 수도 있으나⁶ 400 μg 에 비하여 기관지확장 반응이 감소한다는 보고가 있다.¹⁴

2) 분무기(nebulizer)

- ① 분무기를 사용할 경우 일회 호흡에 의한 약제의 폐침착 비율은 약제의 농도, 분무기의 배출 속도, 입자 크기의 분포, 전체 호흡 시간 중 흡입이 차지하는 시간의 비율(Ti/Ttot)에 의해 영향을 받게 된다.¹⁵
- ② 마우스피스를 통해 흡입할 경우, 성인 폐에 침착 될 것이라고 예상되는 직경 5 μm 이하의 에어로졸 입자 분획들을 흡입 가능 분획(respirable fraction) 이라고 정의한다.¹⁶

3) 건조분말흡입제(dry powder inhaler)

· 기구의 특성에 따라 폐침착이 달라지므로, 사용하지 않는다.¹⁷

- 1단원. 폐활량검사와 기관지확장제검사

정도관리

정도관리에는 검사 정도관리와 장비 정도관리가 있다.

• 검사 정도관리

- 오류가 없는 적합한 검사가 3회 이상 나올 때까지 검사를 반복한다. 3개의 검사들이 재현성 기준에 맞아야 한다.
- 가장 높은 FVC와 FEV₁을 결정하고 이 두 합이 최대인 결과를 선정한다.

1. 검사 적합성(acceptability)

적합한 검사는 수용 가능하고 재연 가능한 노력폐활량 방법으로 3회를 시행 한다. 검사자는 검사의 적합성을 확인할 수 있어야 한다. 부적합하게 실시한 방법은 마치 질병이 있는 것으로 해석될 우려가 있다. 기류-용적과 용적-시간 곡선을 직접 확인하여 적합성을 판정할 수 있다(그림 3).

Time	Select	I-Lp	Test	ATS	FVC		FEV1		FEF 25-75%		FEF Max		piratory Time		FEF 75%		FIVC		k Extrap	
					absolute	% p/c	absolute	% p/c	absolute	% p/c	absolute	% p/c	absolute	% p/c	absolute	% p/c	absolute	% p/c	absolute	% p/c
Predicted					3.07		2.44		2.51		6.14									
Pre																				
14:28:15	V	V		end of	2.76	90	2.49	102	3.82	152	7.57	123	4.75	107	2.84	0.10				
14:27:21				end of	2.72	88	2.45	101	4.01	160	7.58	124	3.96	123	2.78	0.10				
14:27:05				end of	2.69	88	2.44	100	4.01	160	7.86	128	3.17	126	2.07	0.13				
Composite			Pre/Ba		2.76	90	2.49	102	3.82	152	7.57	123	4.75	107	2.84	0.10				

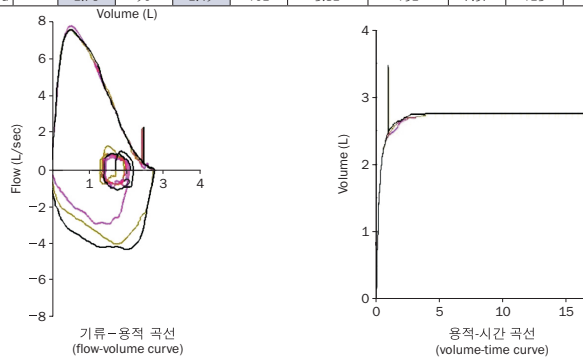


그림 3. 적합성 판정

적합성 기준에 합당하게 나온 검사를 3개 고르고, 이중에서 FVC 수치가 가장 높은 것과 FEV₁ 수치가 가장 높은 것을 선택한다.

폐활량검사 시 노력폐활량의 적합성을 평가하기 위하여 아래와 같은 기준을 만족하여야 한다. 적합성 평가는 검사의 시작, 검사 과정, 검사 종료의 세 부분으로 나뉜다.

1) 검사 시작의 기준: 추정용적의 산출

검사 시작이 만족스러운 지는 추정용적법(back extrapolation method)으로 결정한다.^{5,18} 추정용적법으로 계산한 새로운 '영점시간(time zero)'은 모든 시간 측정의 기준이 된다. 이는 검사 기계에서 자동으로 측정된다. **그림 4**는 용적-시간 곡선에서 가장 경사가 급한 곳의 기울기를 이용하여 추정용적(back extrapolated volume, EV)과 영점시간을 정하는 방법을 보여준다. 추정용적은 FVC의 5%와 150 mL 중에 큰 수치보다 작아야 한다.

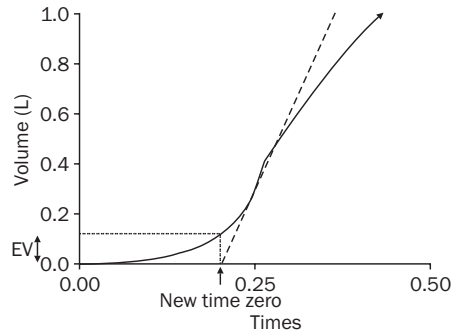


그림 4. 추정용적의 결정

2) 검사 과정

검사자는 대상자가 최대 흡기상태에서 검사를 시작하고, 최대한 노력을 다하여 검사를 하되 부드럽고 지속적인 호기를 하도록 유도해야 하며, 검사의 결과는 다음 조건들을 만족해야 한다.

- ① 불만족스러운 호기의 시작이 없음: 지나친 조급함, 거짓 시작, 추정용적이 FVC의 5% 또는 150 mL 이상일 때, 최고호기유속도에 도달하는 시간이 120 msec를 초과할 때 재검사를 한다.
- ② FEV₁을 측정하는 동안 기류에 방해가 없음: 기침이나 성대 폐쇄는 검사에 영향을 미치므로 검사자의 판단에 따라 측정을 중단한다.
- ③ 호기의 조기 중단 또는 종료 없음: 용적-시간 곡선의 정상 부위를 관찰하여 마지막 호기 최소 1초 동안 또는 적합한 호기 시간 후 용적의 변화가 없을 때를 호기 종료지점으로 간주한다. 젊은 정상인의 경우 6초 이내에 호기가 끝날 수 있다. 폐쇄폐질환을 갖는 환자나 고령에서는 호기 종료를 유지하기에 긴 호기 시간이 필요하므로 6초보다 긴 호기가 여러 번 나타날 수 있는데, 이 경우 검사자가 판단하여 더 이상 호기 할 수 없을 때를 호기 종료로 정한다.
- ④ 검사 도중 발살바조작(Valsalva maneuver) 또는 서두르는 것 없음: 기류의 중단을 야기 시킨다.
- ⑤ 기류가 새지 않음: 입술로 마우스피스를 완전히 감싼다.
- ⑥ 마우스피스 개방: 마우스피스 앞쪽에 치아나 혀가 위치하지 않게 한다.
- ⑦ 검사 도중 숨을 들이 마시지 않음

• 1단원. 폐활량검사와 기관지확장제검사

적합한 방법이란 기류-용적 곡선에서 정점이 날카로워야 하고 용적-시간 곡선에서 호기 시간이 6초를 넘겨야 한다. 두 개 혹은 세 개의 적합성을 만족한 검사 곡선을 분석에 이용한다. 적합한 곡선은 위의 7가지 기준을 모두 만족해야 한다(그림 5).

3) 검사 종료의 기준

- ① 검사 대상자의 적절한 노력을 확인: 추가로 호기를 계속하지 않거나 할 수 없어야 한다. 대상자에게 최대한 노력을 하도록 요청을 하지만 힘들고 불편함을 느낀다면 언제든지 중단시킬 수 있다. 검사자는 대상자가 불편함을 느낄 수 있음을 항상 인지하고 실신을 하려거나 불편해 하면 검사를 중단해야 한다.
- ② 용적-시간 곡선에서 1초 이상 용적 변화가 없는 상태(25 mL미만 변화)를 유지해야 한다. 10세 미만 아동은 3초 이상 그리고 10세 이상인 경우는 6초 이상 호기 상태를 유지하려고 노력한다.

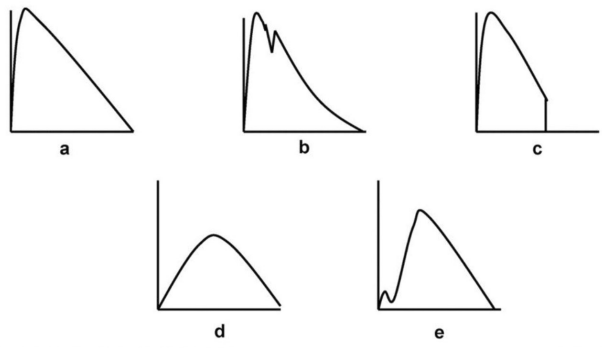


그림 5. 적합한, 부적합한 기류-용적 곡선 예시: (a) 정상, (b) 기침, (c) 조기 중단, (d) 준최대(submaximal)노력, (e) 시작할 때 주저함

하지만 적합성 기준에 맞지 않았다고 하더라도 꼭 부적절한 검사라고 하기 어렵다. 왜냐하면 어떤 환자의 경우 이것이 최선의 상태를 표현한 것이기 때문이다. 미국직업환경건강기구(National Institute for Occupational Safety and Health)에서는 적합한 방법으로 폐활량검사가 이루어지도록, 검사 중 발생한 문제들에 대한 정보를 제공하고 있다.¹⁹

4) 검사 재현성

재현성(reproducibility)은 검사들 간의 FVC와 FEV₁ 수치들을 비교하여 결정한다.

- ① 가장 높은 2개 FVC 수치들의 차이가 5%이내 또는 150 mL 이내여야 한다.
- ② FVC가 1.0L 미만인 경우에는, 가장 높은 2개 수치들의 차이가 100 mL 이내여야 한다.

- ③ 가장 높은 2개 FEV₁ 수치들의 차이도 150 mL 이내이어야 한다.
- ④ 가장 높은 FVC와 FEV₁은 각기 다른 검사 결과에서 얻을 수 있다.^{5,7,8}

3개의 검사들이 재현성 기준에 맞지 않는 경우에는 여덟 번까지 검사를 반복한다. 대상자가 검사를 지속할 수 없거나, 더이상 검사를 하지 않기를 원할 때, 검사를 더하더라도 좋은 결과가 어렵다고 판단할 때는 가장 좋은 검사 3개를 선택한다.

검사 횟수가 많아질수록 폐질환이 있는 경우 기도 폐쇄의 악화로 인하여 대상자가 불편할 수 있으므로 연기하거나 충분한 휴식이 필요하다. 반복 검사 중에 FVC와 FEV₁이 점점 감소하는 경우가 있는데 최초 검사치 보다 20% 이상 감소하는 경우에는 검사를 중단해야 한다.^{5,7,8} 재현성이 부족한 검사 수치를 저장한 경우에는 검사 해석 시 판단할 수 있도록 기록에 남겨야 한다(그림 6).

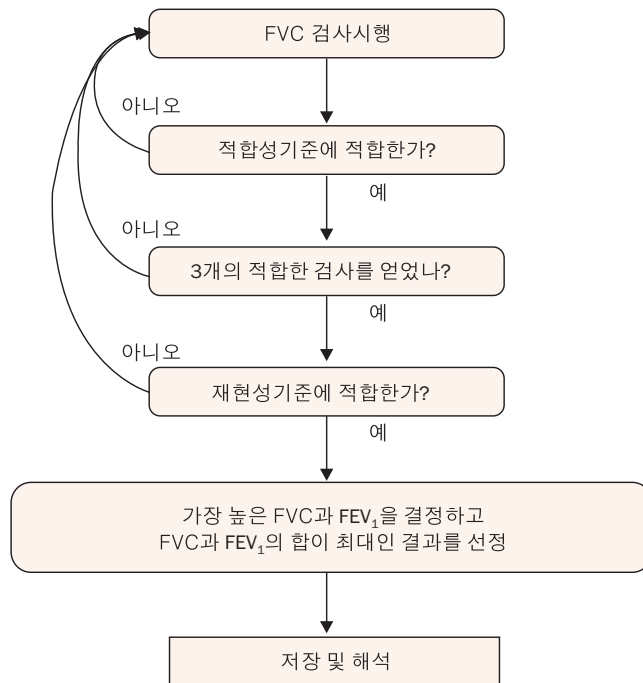


그림 6. 적합성과 재현성 흐름도

- 1단원. 폐활량검사와 기관지확장제검사

5) 검사 값의 선택

위에서 기술한 방법에 따라 적합성과 재현성을 바탕으로 점수(ABCDF)를 평가한다.
점수의 기준은 다음과 같다(표 3).

표 3. 폐활량검사 값의 선택

점수	적합한 곡선 수		재현성 (가장 큰 값 - 둘째 값)
A	3	and	<100 ml
B	3	and	<150 ml
C	2	and	<250 ml
D	1		
F	0		

A, B는 판독가능; C, D는 판독주의; F는 판독불가

‘판독가능’으로 판정한 경우 FEV₁값과 FVC 값을 가장 큰 값으로 확정한다. 두 값은 서로 다른 커브에서 얻어져도 무방하다.

• 장비 정도관리

- 폐활량검사가 정확히 되려면 검사자의 노력과 숙련이 가장 중요하다.
- 검사장비의 정도관리는 정기적으로 수행하는 것이 필수적이다.
- 매일 검사장비의 용적 또는 기류를 3 L 실린지로 검사한다.
- 검사장비의 부품은 정기적인 소독과 살균이 필요하고 마우스피스에는 1회용을 사용한다.

1. 서론

폐기능검사의 결과에 영향을 미칠 수 있는 환경적(온도, 기압, 습도) 요인을 보정하고, 장비에 문제를 일으킬 수 있는 요인들을 제거하여 정확한 검사 결과를 얻기 위함이다.

폐활량검사가 정확히 수행되려면 검사자(기사나 의료진)의 노력과 숙련이 가장 중요하며, 특히 숙련된 경험자에게 일정 기간 잘 배우는 것이 필요하다. 또한 검사자는 검사의 전 과정을 적절히 수행해야 하며, 검사장비의 정도관리를 정기적으로 수행하는 것이 필수적이다.

2. 검사 방법^{5,7}

1) 정도관리 절차

① 정도관리의 최소 요구조건

- i. 보정결과는 유지되어야 한다.
- ii. 수리 내역과 장비 교체 내역을 문서화한다.
- iii. 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어 업데이트 날짜를 기록하여 둔다.
- iv. 장비가 교체되거나 위치 조정되었을 때 검사를 시행하지 말고 보정과 정도관리 절차를 먼저 시행해야 한다.

② 정도관리의 주요 관점

- i. 보정 확인 시 보정하는 값들의 차이는 참값의 $\pm 3\%$ 이내여야 한다.
- ii. 실린지는 주기적으로 누출검사(leak test)를 거쳐야 한다.
- iii. 떨어뜨리거나 손상된 실린지는 확인이 될 때까지 보정 하는데 사용하지 안 된다.



그림 7. 3 L 실린지

③ 용적 측정 장비를 위한 정도관리

i. 정도관리 시행 시점

폐활량계 용적(volume)의 정확성은 3 L 실린지(그림 7)를 가지고 매일 보정검사를 해야 한다. 매일 매일의 정도 관리 측정은 하루에 발생할 수 있는 문제를 미리 파악하는 것과 검사실의 일일 변화에 대한 파악을 하는데 도움을 줄 수 있다. 다음과 같은 경우에 좀 더 자주 측정하는 것을 권장한다.

- ㉠ 많은 수의 환자를 검사하거나, 산업적인 조사과정에 있을 경우
- ㉡ 대기 온도에 변화가 있을 때 - BTPS를 올바르게 수정하고 용적 보정을 자주 실시한다.

Body Temperature (37°C or 310 K) and ambient pressure, Saturated (47 mmHg or 6.2 kPa)

● 1단원. 폐활량검사와 기관지확장제검사

ii. 정도관리 특이사항

㉠ 측정치가 허용범위(acceptable range)에 있을지라도 실린지 용량의 정확성은 항상 점검되어야 한다.

㉡ 보정용 실린지는 검사실 동일 장소에 동일한 온도, 습도 하에서 보관하며, 직접적인 태양광과 열은 피해야 한다.

④ 기류 측정장비의 정도관리 시점

i. 기류가 정확해도 매일 보정을 해야 한다.

ii. 제조사가 권장하는 방법으로 3L 실린지를 이용하여 보정한다.

iii. 대기 온도가 3°C 이상 변할 때 다시 보정 한다.

iv. 센서 교체 시 다시 보정한다.

해석

1. 폐활량검사의 해석

- 폐활량검사 결과를 판독 할 때에는 환자의 임상적 소견들을 함께 고려하여야 한다.
- 국내 폐활량검사 정상예측식은 최정근 식과 Morris 아시아인 퀴저식이 주로 사용된다.
- 폐쇄 환기장애는 FEV₁/FVC가 0.7 미만인 경우이다. 다만, 젊은 연령에서는 FEV₁/FVC가 0.75~0.80이더라도 임상 증상과 병력이 있다면 폐쇄 환기장애를 의심해야 한다.
- 제한 환기장애는 FVC가 80% 미만으로 감소한 경우 의심할 수 있으며, 확진을 위해서는 TLC가 감소하는 것을 확인해야 한다.
- 폐쇄 및 제한 환기장애가 함께 있는 혼합 환기장애는 FEV₁/FVC가 0.7 미만으로 감소하고 FVC가 80% 미만으로 감소한 경우에 의심하며, 정확한 제한 환기장애의 동반여부는 TLC 감소로 확인해야 한다.
- 폐쇄 환기장애의 중증도는 FEV₁의 정상예측치에 대한 퍼센트가 이용된다.
- 상기도 및 중심기도 협착은 최대 흡기-호기과정을 통해 얻어진 기류-용적 곡선에서 흡기 혹은 호기에 고원(plateau)이 형성되었는지 확인을 통해 평가한다.

폐활량검사의 판독은 명확하고 간결하면서도 정보를 제공할 수 있어야 하며, 단지 정상 또는 비정상만을 기술하는 것은 도움이 되지 않는다. 또한, 폐활량검사를 판독하기 전에 검사가 기술적으로 적절하게 이루어졌는지에 대한 판단이 먼저 필요하다. 비록 검사의 결과가 적절치 못할 경우에도 환자와 연관된 유용한 정보를 제공할 수는 있으나, 판독자는 수행된 검사의 문제점과 판독이 정확하지 않을 가능성에 대해 알고 있어야 한다. 폐활량검사 수행이 적절하지 못한 경우 대부분이 검사 대상자 요인이므로, 검사 중 대상자를 잘 관찰하고 용적-시간 곡선과 기류-용적 곡선을 관찰하면 적절한 수행 여부를 확인할 수 있다. 이외에도 폐활량검사 결과를 판독할 때에는 기침, 호흡곤란 등의 호흡기 증상을 포함한 대상자의 증상, 과거력, 흡연력, 진찰 결과 및 흉부 영상 결과 등의 임상적 소견들을 함께 고려해야 한다.

일반적으로 폐활량검사는 다음의 중요한 정보를 제공한다.

- FVC: 최대 노력호기 중 한 호흡으로 나간 총 호기량
- FEV₁: 최대 노력호기 중 첫 1초간의 배출된 호기량
- 일초율(FEV₁/FVC): FEV₁과 FVC의 비율, 퍼센트로도 표시됨
- 노력호기중간기류량(forced expiratory flow during the middle half of the FVC, FEF_{25-75%}): FVC의 초기 및 말기 25%를 제외한 중간 50%의 평균 노력호기 속도
- 최고호기기류(peak expiratory flow, PEF): 노력호기 중 최고 속도
- 최대환기량(maximal voluntary volume, MVV): 환자가 자발적으로 최대한 노력으로 1분간 호흡할 수 있는

- 1단원. 폐활량검사와 기관지확장제검사

호흡량으로 12초 또는 15초간 검사하여 1분간의 양으로 환산한 값

1) 정상예측식

폐활량검사를 판독하기 위해서는 대상자에서 측정된 수치와 건강한 정상인 군에서 측정된 수치 간의 비교가 필요하다. 폐활량검사의 정상치는 인종, 성별, 연령, 키와 체중 등의 신체적인 요건과 측정 조건, 통계적 방법 및 사회 경제적 또는 역학적 요건에 따라 달라질 수 있다. 여러 나라에서 많은 수의 건강한 성인을 대상으로 폐활량 정상예측치들이 보고되었다. 우리나라에서는 1971년 Morris 등이 제안한 'Morris 아시아인 퀴저식'(부록 표 1)²⁰과 2001년 국민건강영양조사 표본에서 최 등이 개발한 '한국인의 폐활량 정상예측식'을 사용하고 있다(부록 표 2).²¹

2) 고려사항

① 진단 기준의 결정

측정된 FEV₁, FVC는 측정치와 함께, 정상예측치의 백분율로 표시된다. 환기장애를 진단하는 기준치에 대해서는 지침마다 제시하는 값들이 다양하다(표 4). 몇몇 지침에서는 고정값을 기준치로 제시하고 있는데, 이 경우 임상 적용이 간편하고 독립적인 기준지표가 될 수 있다.

GOLD (Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease) 지침은 COPD를 기관지확장제 흡입 후 검사에서 FEV₁/FVC가 0.7보다 낮은 경우로 정의하고 있다.²²

하지만 FEV₁/FVC가 0.7 미만을 폐쇄 환기장애의 기준으로 삼는 경우, 연령이 증가할수록 FEV₁/FVC가 감소하므로 위험에 노출된 적이 없는 정상 고령에서 폐쇄 환기장애가 있다고 잘못 진단되는 위양성율이 높아질 수 있다.²³

반면 같은 기준을 젊은 연령에게 적용하였을 때에는 오히려 폐쇄 환기장애가 있으나 정상이라고 진단할 우려가 있다.²⁴ 그러므로 젊은 연령에서는 임상 증상과 병력이 있다면 폐쇄 환기장애의 기준점을 FEV₁/FVC < 0.7 보다 높은 FEV₁/FVC < 0.75~0.80로 상향할 수 있다.²⁴

이러한 문제들을 극복하기 위하여 미국흉부학회 및 유럽호흡기학회에서는 환기장애의 기준으로 95 백분위수 방법, 즉 동 연령대 정상인 폐활량검사의 하위 5 백분위수에 해당되는 값을 정상하한치(lower limit of normal, LLN)로 정의하고, 이를 사용할 것을 권하였다.²⁵ 우리나라에서도 '최정근'식에 근거한 정상예측식 연구에서 95 백분위수(95 percentile)와 95% 신뢰구간(confidence interval)의 정상하한치를 제시한 바 있다(부록 표 3).²¹

표 4. COPD 진단 기준

Organization	Year	Criterion
ECCS ²⁶	1983	FEV ₁ /VC or FEV ₁ /FVC < LLN
ATS ²⁷	1987	FEV ₁ /FVC < 0.75
ATS ²⁸	1991	FEV ₁ /FVC < LLN
ERS ²⁸	1995	FEV ₁ /VC < 88% predicted (males) or 89% (females)
BTS ²⁹	1997	FEV ₁ /FVC < 0.70 and FEV ₁ < 80% predicted
NLHEP ³⁰	2000	FEV ₁ /FVC or FEV ₁ /FEV ₆ < LLN and FEV ₁ < LLN
NICE ³¹	2004	FEV ₁ /FVC < 0.70 and FEV ₁ < 80% predicted
ATS/ERS ³²	2004	FEV ₁ /FVC < 0.7 post-bronchodilator
ATS/ERS ²⁴	2005	FEV ₁ /VC < LLN
GOLD ²¹	2007	FEV ₁ /FVC < 0.7 post-bronchodilator
SEPAR/ALAT ³³	2007	FEV ₁ /FVC < 0.7 post-bronchodilator (or < LLN in those > 60 years)

COPD, chronic obstructive pulmonary disease; ECCS, European Community for Coal and Steel; ATS, American Thoracic Society; ERS, European Respiratory Society; BTS, British Thoracic Society; NLHEP, National Lung Health Education Program; NICE, National Institute for Health and Clinical Excellence; GOLD, Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease; ALAT, Latin American Thoracic Society; SEPAR, Spanish Society of pulmonology and Thoracic Surgery; FEV₁/FVC, forced expiratory volume in 1 s/forced vital capacity; LLN, lower limit of normal; VC, vital capacity.

② VC대신 FVC의 사용

미국흉부학회 및 유럽호흡기학회에서는 폐활량검사 해석에서 FVC 대신 폐활량(vital capacity, VC)을 사용할 것을 권고한다.²⁵ VC는 일반적으로 FVC보다 크게 측정되며 폐기종처럼 기도가 유연할 경우 FVC보다 정확하여 좀 더 확실하게 기도 폐쇄를 진단할 수 있다. 하지만, 폐활량계로는 VC 측정이 불가능하므로 대부분의 다른 지침에서는 VC대신 FVC를 사용하여 해석하는 것을 권한다.

③ FEF_{25~75%}

FEF_{25~75%}는 대상자의 노력에 비존적인 지표로 말초 소기도 병변의 조기 진단에 도움을 주지만 정상인에서도 많은 변이성을 보일 수 있어 해석에 주의가 필요하다.

④ PEF

PEF는 대상자의 노력에 매우 예민한 검사 지표로 정상인에서도 호기 노력 여부에 따라 많은 차이를 보일 수 있어, 천식의 진단 및 추적관리에 사용되나 COPD에서는 추천되지 않는다. 또한 폐활량계를 부는 법과 최대호기속도계를 부는 방법이 다르므로 폐활량계를 이용하여 노력호기 중 측정된 PEF 값과 최대호기속도계로 측정한 PEF 값을 직접 비교하기는 어렵다. (5단원 기타검사 참조)

- 1단원. 폐활량검사와 기관지확장제검사

⑤ 본 지침의 권고 사항

본 지침서에서는 편의상 LLN이 아닌 고정값을 사용하고 FVC를 사용하여 그림 8의 흐름도에 따라 폐활량검사 결과를 해석하기로 한다. 다만 젊은 연령에서는 FEV₁/FVC가 0.75~0.80이더라도 임상 증상과 병력이 있다면 폐쇄 환기장애를 의심해야 한다.

결과가 정상외 경계치 부근(borderline normal)으로 측정된 경우 예측치가 정확하지 않아 진단이 불확실할 수 있으므로 수개월 이내에 다시 폐활량검사를 받거나 기관지확장제 흡입 전-후 폐활량검사, 폐확산능 또는 폐용적 검사 등의 다른 검사를 시행해 보도록 한다.

3) 환기장애의 종류

① 폐쇄 환기장애

폐쇄 환기장애는 기도 폐쇄로 인해 노력호기 시 최대용적인 FVC 대비 최대 유속이 감소한 것을 의미한다. 폐활량검사 결과에서 FEV₁/FVC가 0.7 미만인 경우 폐쇄 환기장애가 있다고 해석한다(그림 8). 초기 폐쇄폐질환의 경우 노력호기 초기 유속은 정상으로 유지되고 후기 유속이 감소하는 소견을 보이므로 FEV₁/FVC가 정상으로 유지될 수 있으나, FVC의 75% 시점의 값(FEF_{75%}) 또는 FVC의 25%~75%(FEF_{25%-75%})의 값이 감소할 수 있다. 폐쇄폐질환이 더 진행하여 기도 폐쇄가 심해지면 FEV₁이 감소하는 소견을 관찰할 수 있다. 대표적인 질환으로는 천식이나 COPD가 있다.

FEV₁과 FVC가 모두 감소하고 그 비가 거의 정상인 경우라면 특별히 주의하여 결과를 판독해야 하는데, 이는 대상자가 흡기와 호기를 제대로 완료하지 못한 경우에 흔히 관찰된다. 예를 들면 유속이 너무 느려 대상자가 완전히 호기를 마쳤으나 잔기량(residual volume, RV)까지 폐용적이 감소하지 않은 경우로, 이때는 FVC 대신 VC를 사용하면 좀 더 정확하게 기도 폐쇄를 확인 할 수 있다. 또 다른 경우는 호기 초반에 소기도의 폐쇄로 인해 RV가 증가하는 경우인데, 이 경우 대상자가 충분히 폐활량검사를 수행했다면 기관지확장제를 흡입하고 나서 다시 검사를 해 보는 것이 도움이 된다.

② 제한 환기장애

제한 환기장애는 TLC가 감소하고 FEV₁/FVC가 정상인 것이 특징이다(그림 8). 폐활량검사에서는 FVC가 감소되는 것으로 확인할 수 있으며, FEV₁은 FVC 감소로 인해 이차적으로 감소될 수는 있으나 비교적 정상을 유지하기 때문에 FEV₁/FVC는 정상이거나 약간 증가할 수 있다. FVC는 대상자가 충분한 흡기-호기 노력을 하지 않은 경우에도 감소될 수 있는데, 이 경우 TLC는 정상인 것으로 구분할 수 있다. 그러므로 폐활량검사서 FVC가 감소하여 제한 환기장애가 의심되는 경우에는, 정확한 진단을 위해서 TLC의 측정이 필요하다.²⁵

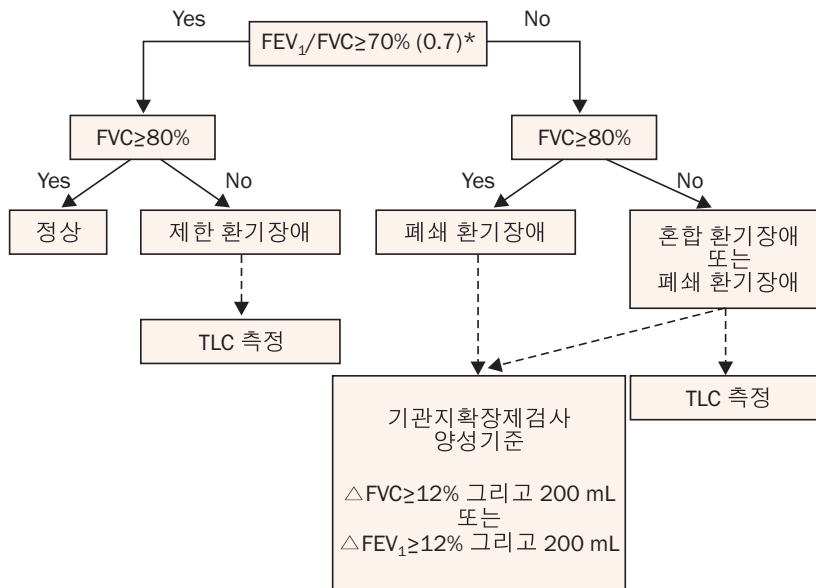
제한 환기장애를 보일 수 있는 질환으로는 폐섬유증, 흉벽 질환 또는 신경-근 질환 등이 있으며 폐실질 질환과 흉벽 질환 및 신경-근 질환을 감별하기 위해서는 폐확산능 검사가 필요하다.

③ 혼합 환기장애

혼합 환기장애는 폐쇄 및 제한 환기장애가 함께 있는 경우로 FEV₁/FVC가 감소하고 TLC가 감소한다. 폐활량검사에서는 폐쇄 및 제한 환기장애 둘 다 FVC가 감소할 수 있으므로 정확한 제한 환기장애 동반 여부를 확인하기 위해서는 TLC의 측정이 필요하다(그림 8).

혼합 환기장애는 결핵 후유증으로 인해 기도 폐쇄가 동반된 섬유흉(fibrothorax)이나 흡연가에서 COPD와 폐 섬유증이 동반된 경우 등에 관찰된다.

혼합 환기장애에서 폐쇄와 제한 환기장애를 각각 구분하여 평가하기는 힘들다. FEV₁만으로 폐쇄 환기장애의 중증도를 평가하는 경우 제한 환기장애로 인한 용적 감소를 고려하지 않으면 중증도가 실제보다 과장될 수 있다.



*젊은 연령에서는 0.75~0.8 정도로 상향가능
 △FVC: FVC 변화량, △FEV₁: FEV₁ 변화량

그림 8. 폐활량검사 해석 흐름도

4) 중증도 분류

① 폐활량검사 수치는 호흡기 질환 환자의 일상생활 수행능력, 질환의 중증도, 예후 등과 연관을 보이지만, 개개인의 정확한 증상이나 예후를 예측하지는 못한다. 폐쇄폐질환에서 RV가 증가되어 FVC가 감소된 경우에는 FEV₁/FVC가 그다지 감소되지 않을 수도 있으므로 FEV₁/FVC는 기도 폐쇄 여부를 판단하는 데는 도움을 주나

• 1단원. 폐활량검사와 기관지확장제검사

폐쇄 환기장애의 중증도를 파악하는 데는 적절치 않다.

- ② 기도 폐쇄의 중증도를 파악하기 위해서는 FEV₁의 정상예측치에 대한 퍼센트가 이용되는데, 부록 표 4에 각 지침에 따른 폐쇄폐질환의 중증도를 제시하였다. 이처럼 FEV₁은 폐쇄 및 혼합 환기장애 환자에서 중증도의 분류에 일반적으로 이용되지만, 기관 폐쇄 등의 생명을 위협할 만한 상기도 폐쇄의 경우에도 약간의 감소만 보일 수 있어 상기도 폐쇄의 중증도 분류에는 사용하기 어렵다.
- ③ 제한 환기장애의 중증도는 폐실질 및 신경-근 질환의 정도에 비례하여 감소하지만 환자의 상태를 정확히 반영하지는 못한다. 제한 환기장애의 중증도 분류에는 VC 및 TLC가 사용되지만,³⁴ 2005년 미국흉부학회 및 유럽호흡기학회에서는 제한환기장애를 포함한 모든 환기장애의 중증도 분류에 FEV₁을 사용하도록 권하였다(부록 표 5). 하지만 이 방법은 일부 환자에서 제한 환기장애의 정도가 저평가될 가능성이 있다.³⁵
- ④ 중증의 만성폐질환에서 호흡기장애는 원인 폐질환의 최초 진단 이후 1년 이상 경과하고, 최근 2개월 이상의 충분한 치료에도 장애가 고착된 경우에 진단할 수 있다. 표 5은 2013년 보건복지부에서 고시한 국내 호흡기 장애 등급 기준표이다.

표 5. 국내 호흡기장애 등급 판정 기준

장애등급	장애 정도
1급1호	폐나 기관지 등 호흡기관의 만성적 기능부전으로 안정 시에도 산소요법을 받아야 할 정도의 호흡곤란 환자에서 ① 평상시 FEV ₁ 또는 폐확산능(DLco)이 정상예측치의 ≤25%이거나, ② 평상시 대기 중에서 안정시의 동맥혈 산소분압 ≤55 mmHg인 사람
1급2호	만성호흡기 질환으로 인하여 기관절개관을 유지하고 24시간 인공호흡기로 생활하는 사람
2급	폐나 기관지 등 호흡기관의 만성적인 기능부전으로 집안에서의 이동시에도 호흡곤란이 있는 환자에서 ① 평상시의 FEV ₁ 또는 DLco가 정상예측치의 >25~≤30%이거나, ② 평상시 대기 중에서 안정시의 동맥혈 산소분압 >55~≤60 mmHg인 사람
3급	폐나 기관지 등 호흡기관의 만성적인 기능부전으로 평지보행시에도 호흡곤란이 있는 환자에서 ① 평상시의 FEV ₁ 또는 DLco가 정상예측치의 >30~≤40%이거나, ② 평상시 대기 중에서 안정시의 동맥혈 산소분압 ≤65 mmHg인 사람
5급1호	폐를 이식 받은 사람
5급2호	늑막루가 있는 사람

(참고) 장애 등급 판정 기준 개정안(보건복지부 고시 제2013-174호) 중 호흡기장애 부분 발취함[부록 표 6].

5) 기류-용적 곡선의 해석

① 폐쇄 환기장애

정상인의 기류-용적 곡선은 정점 이후 하강곡선이 비교적 직선을 이루지만 폐쇄폐질환에서는 최고호기기류속도가 감소하고 정점 이후 하강곡선이 하방으로 급격히 치우쳐 하방으로 오목함이 증가하게 된다(그림 9A). 기관지확장제 투여에 반응이 있는 경우에는 기관지확장제 흡입 후 하방으로 치우친 곡선의 경사가 약간 완만해지고 오목함이 둔화된다(그림 9B).

② 제한 환기장애

제한 환기장애에서는 폐활량이 주로 감소하고 기류 속도는 별로 감소하지 않기 때문에 기류-용적 곡선은 키가 크고 폭이 좁은 모양을 한다. 최대호기기류속도는 비교적 유지되며 하강곡선은 급격한 경사를 이루는 직선을 보인다(그림 9C).

③ 혼합 환기장애

혼합 환기장애는 폐쇄와 제한 환기장애의 특징을 모두 가지고 있어 하방으로 오목한 경사가 나타나면서 폭이 좁아진다(그림 9D).

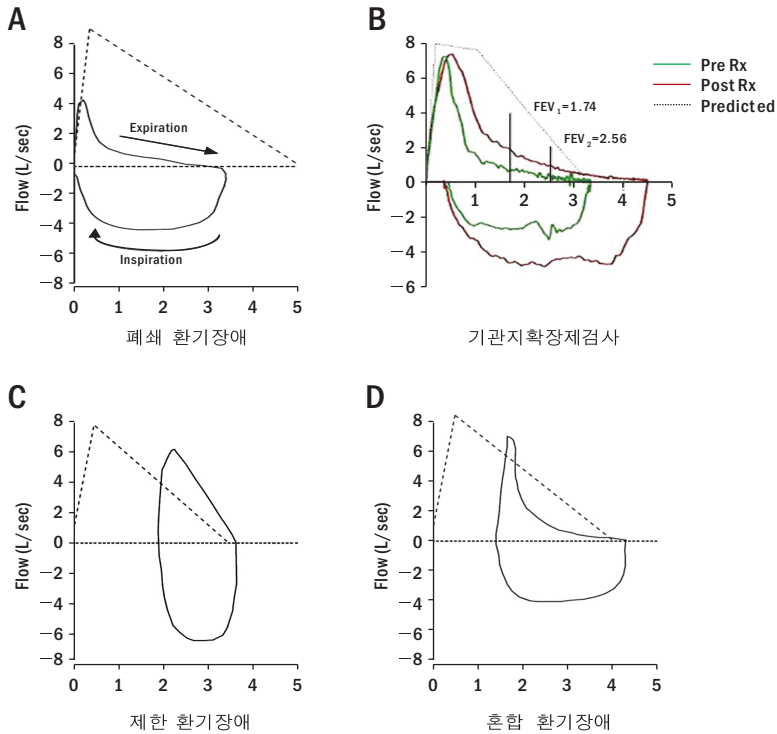


그림 9. 환기장애의 구분에 따른 기류-용적 곡선

④ 상기도 및 중심기도 협착의 소견

- i. 상기도 및 중심기도의 협착은 흉강 외 기도(인두, 후두, 기관의 흉강 외 부분) 및 흉강 내 기도(기관의 흉강 내 부분과 주기관지) 모두에서 발생할 수 있다.
- ii. 상기도 및 중심기도의 협착을 평가하려면 적어도 세 개 이상의 제대로 된 최대 흡기-호기과정을 통해 얻어진 기류-용적 곡선이 있어야 한다. 그러므로 검사 수행자는 먼저 대상자가 흡기-호기 과정을 최대한의 노력을 들여서 제대로 수행하도록 독려하고 적절성을 확인해야 한다. 만약 이 과정이 제대로 이루어졌음에도 흡기 또는 호기 과정에서 고원(plateau)이 형성되었다면 기도 협착 여부를 의심해야 한다.
- iii. 흡기와 호기 모두에서 기류 제한을 시사하는 고원이 같은 정도에서 형성되어 있다면, 이는 상기도 또는 중심기도에 고정형 기도 협착이 있다고 해석한다(그림 10A). 한편, 흡기 시에 고원이 뚜렷이 형성되나 호기 시에 없다면 상기도 또는 흉강 외 기도에 변이형 협착이 있다고 해석한다(그림 10B). 호기 시에는 고원이 뚜렷이 형성되나 흡기 시에 없다면 흉강 내 기도에 변이형 협착이 있다고 해석한다(그림 10C). 한편, 드물기는 하나 주기관지 중 한 쪽만 좁아진 경우, 노력흡기 초기에는 높은 유속이 형성되나 흡기 후반부에 유속이 급격히 감소하는 모양을 보인다(그림 10D).
- iv. 대체로 고정형 기도 협착은 산이나 염기로 인한 기도 화상 후의 협착 등에서 나타날 수 있고 흉강 외 협착 소견은 감압선이나 림프 종양 등 기도 외 종양 형성 시에 나타날 수 있다. 흉강 내 협착은 장기간의 인공 삽관 후 기도 협착, 한쪽 주기관지 폐쇄는 주기관지 내에 발생한 기관지결핵, 폐암 또는 이물질 등에 의해 나타날 수 있다.
- v. 폐용적이 커진 상태에서 측정된 최고호기 기류속도는 흉강 내 외 병변에서 모두 눈에 띄게 감소한다. 반면 성대마비처럼 변이형 기도 협착이 발생한 경우는 최고기류속도가 정상인 경우도 있다. 기류-용적 곡선에서 흡기 또는 호기 시 곡선이 마치 툇니처럼 흔들리는 경우도 있는데, 이는 기도 벽의 안정성이 떨어져 있음을 시사한다.
- vi. 기도의 구조적 또는 기능적 이상이 최대 호기 및 흡기 유속에 영향을 미치는 정도는 협착의 발생 부위, 협착의 고정 또는 변이성 여부 그리고 협착의 정도에 따라 다르다. 그러나 기류-용적 곡선에서 전형적 이상소견이 관찰되지 않는다고 하여 중심기도의 협착이 없을 거라고 단정하기는 어렵다. 따라서 임상적으로 의심될 경우에는 경과를 관찰하고 기도를 직접 관찰할 필요가 있다. 영상 검사와 기관지내시경을 통해 이상 여부를 확인하는 것이 바람직하다.

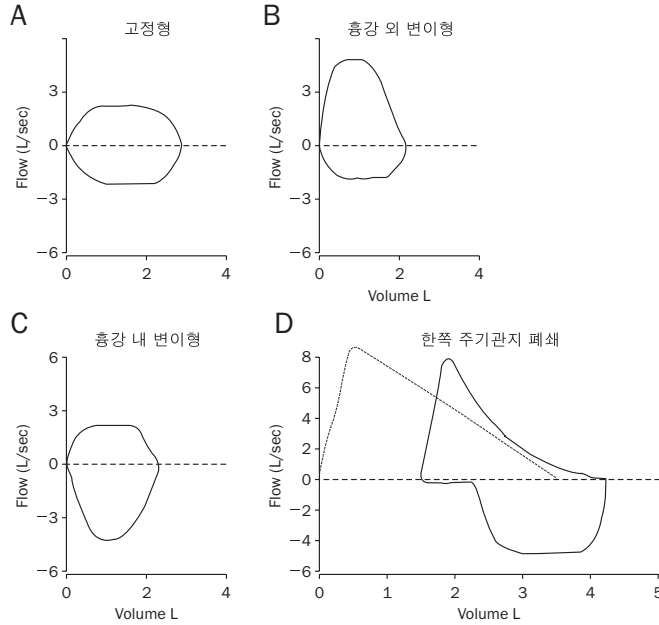


그림 10. 상기도 폐쇄시 기류-용적 곡선

2. 기관지확장제검사의 해석

기관지확장제에 대한 양성 반응은 FVC 또는 FEV₁이 기저치 대비 12% 이상 증가하며, 동시에 200 mL 이상 증가한 경우로 정의한다.

1) 기관지확장제 반응의 특징

① 기도 상피, 신경, 매개물질 및 기관지 근육에 걸쳐 종합적으로 야기된다.

② 동일 개체 내에서도 변이가 있다.

일회의 측정 만으로 해당 대상자의 기관지확장제 반응의 유무나 특정 기관지확장제에 대한 치료 효과를 정확히 판단하기는 어렵다.

③ 주로 폐기능검사실에서 속효 기관지확장제를 투여 후 평가한다.

치료 효과 판정의 목적으로는, 약제를 2~8주 정도 투여한 뒤 재측정하여 평가한다.²⁵

④ 기관지수축제에 대한 반응과 상관성이 크지 않다.

- 1단원. 폐활량검사와 기관지확장제검사

2) 기관지확장제검사 해석 시 고려할 점

① 반복 검사에 따른 단순 변이와 구분해야 한다.

- 정상인의 5%에서는 기관지확장제 흡입 후의 FEV₁ 증가폭이 10.1% 이상이다.³⁶
- 천식환자의 5%에서는 위약 흡입 후에도 FEV₁이 12.3% 이상 증가한다.³⁷
- 일회 검사로 '의미있는 반응'이 있다고 하려면, 기관지확장제 투여 전후의 변화량이 적어도 투여 전 FEV₁ 혹은 FVC 대비 12~15% 이상 증가하는 경우로 한정하는 것이 적절하다.²⁵

② 기관지확장제 반응을 표현 하는 방식이 다양함을 고려해야 한다.

- FEV₁ 또는 FVC 변화의 절대값
- FEV₁ 또는 FVC 변화의 정상예측치 대비 비율
- FEV₁ 또는 FVC 변화의 기관지확장제 흡입 전 각 지표에 대한 비율: 가장 흔히 사용됨

③ 기관지확장제 '양성' 반응의 정의는 다음과 같다.

- 일반적으로 FEV₁ 또는 FVC의 증가량이 기저치 대비 12%이상이면서, 동시에 절대값으로 200 mL 이상인 경우를 '양성' 반응으로 정의한다.
- 기관지확장제 반응을 흡입 전 지표에 대한 비율로 표현하는 경우, 변화량의 크기가 동일하다 하더라도 폐활량의 기저치가 작을수록 더 크게 계산되는 경향이 있다.
- 기관지확장제 반응이 양성인 경우 일반적으로 천식을 시사한다. 이는 천식 환자가 COPD 환자보다 기관지확장제 흡입 후 유속 및 용적이 더 크게 증가하기 때문이다.

3) COPD 환자에서의 기관지확장제검사 해석

- ① 기관지확장제 반응 양성 소견만으로 COPD를 배제하기는 어렵다.
- ② 천식-COPD 중복 증후군(Asthma-COPD Overlap Syndrome, ACOS): 최근 GINA (Global Initiative for Asthma)-GOLD 지침에서는 기관지확장제 흡입 후 FEV₁이 12% 이상이면서 400 mL 이상 크게 증가하는 경우, COPD의 가능성은 낮고 천식이나 ACOS에 해당하다고 하였다.³⁸
- ③ 기관지확장제 반응 정도가 작더라도 기관지확장제 치료의 유효성을 배제할 수 없다. 폐활량검사 지표가 12% 이상 호전되지 않더라도 호흡곤란이 좋아지거나 환자의 운동 능력이 좋아지는 경우가 드물지 않다.
- ④ 기도 폐쇄 환자에서 기관지확장제 흡입 후 기능잔기용량(functional residual capacity, FRC)이 감소하거나, 흡기용량(inspiratory capacity, IC)이 증가하는데, 이런 지표의 개선이 호흡곤란의 개선을 더 반영할 수 있다.
- ⑤ 기관지확장제 흡입 이후에 호기 시간의 증가와 무관하게 FVC만 증가(기저치의 $\geq 12\%$ and ≥ 200 mL)하는 경

우도 기관지확장의 징후로 간주할 수 있다.

3. 반복 측정시 관찰되는 폐활량 지표의 변화

폐활량검사를 반복 측정하며 추적 관찰함은 치료에 대한 반응 평가와 질병의 경과에 중요한 정보를 제공한다.

한번의 검사로 정상치와 대조하는 것도 중요하지만, 특정 개인에게 어떠한 치료를 하거나 또는 시간을 두고 관찰하면서 폐활량검사를 반복하여 추적 관찰하면 임상적으로 중요한 정보를 얻을 수 있다. 다만 해석할 때 관찰되는 차이가 진정한 호흡기 상태의 변화인지 아니면 단순한 측정치의 변이인지 구분하는 것이 가장 중요하다.

- 1) 측정 주기에 따라 관찰되는 변이는, 주 단위 또는 월 단위로 되풀이 할 때가 날마다 또는 당일 다른 시기에 되풀이할 때보다 더 크다. 유의한 변화의 기준은 지표, 대상군, 시간 간격 별로 다르며, 표 6에 제시되었다.
- 2) 변동성이 큰 항목의 경우, '의미있는 변화'가 있다고 하려면 큰 폭의 변화가 필요하다.
예를 들면, 폐활량검사 결과가 상대적으로 정상인 사람에서 1년 간격으로 측정한 FEV₁이나 FVC의 차이가 15% 이상은 되어야 1년 사이에 임상적으로 유의한 변화가 나타났다고 말할 수 있다.
- 3) FEV₁은 재현성이 가장 좋은 폐기능 지표이기에 폐쇄 환기장애를 추적하는 데에 적합하다.
 - ① 임상적으로 유의한 변화의 기준으로는, 단기간의 두 시점의 경우, FEV₁이 기저치 대비 12% 이상이고 절대치가 200 mL 이상인 경우이다.
 - ② 이 기준에 조금 못 미치는 변화라 하더라도, 경우에 따라 기관지확장제 흡입 전, 후 각각 값의 재현성이 있다면 의미 있다고 해석할 수 있다.
- 4) 질환에 따라서 FEV₁ 외에도 VC, IC 및 TLC 등의 지표도 추적 관찰할 수 있는데, 동시에 추적 관찰하는 지표가 많아질수록 위양성으로 판독하게 될 위험이 증가한다.

폐기능을 꾸준히 측정하는 것은 폐기능이 급감하는 특정 대상 군을 찾기 위해 사용될 수 있지만, 개인을 대상으로 폐기능 급감을 확정하기란 쉽지 않고, 수년간 엄격히 통제된 방식으로 꼼꼼히 자료를 수집해야만 가능하다. 그럼에도 환자를 보는 임상 의사로서 시간 간격을 두고 시행된 검사를 해석할 때에는 알고리즘을 기계적으로 적용하는 것 보다는 임상적 해석이 더 중요하다. 폐기능 지표의 변화 경향이 비록 통계적으로 유의하지 않아도 임상적으로는 매우 중요할 수 있다는 점은 잊지 않아야 한다.

- 1단원. 폐활량검사와 기관지확장제검사

표 6. 노력폐활량, 1초노력호기량, 노력호기중간기류량의 시간 간격에 따른 유의한 변화치²⁵

	FVC (%)	FEV ₁ (%)	FEF _{25-75%} (%)
일중 변동			
정상인	≥5	≥5	≥13
COPD 환자	≥11	≥13	≥23
주간 변동			
정상인	≥11	≥12	≥21
COPD 환자	≥20	≥20	≥30
연간 변동			
	≥15	≥15	

FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in 1 s; FEF_{25-75%}, forced expiratory flow during the middle half of the FVC; COPD, chronic obstructive pulmonary disease.

참고문헌

1. The BTS COPD consortium. Spirometry in practice. A practical guide to using spirometry in primary care. Available at: <https://www.brit-thoracic.org.uk/document-library/delivery-of-respiratory-care/spirometry/spirometry-in-practice>
2. Gold WM, Koth LL. In: Murray JF, editor. Murray and Nadel's Textbook of Respiratory Medicine Saunders, Elsevier; 2010.
3. Miller MR, Crapo R, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, et al. General considerations for lung function testing. Eur Respir J 2005;26:153-61.
4. American Thoracic Society. Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. American Thoracic Society. Am Rev Respir Dis 1991;144:1202-18.
5. Miller MR, et al. Standardisation of spirometry. Eur Respir J 2005;26:319-38.
6. National Center for Health Statistics. National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES): Respiratory Health Bronchodilator Procedure Manual. 2008. Available at: http://www.cdc.gov/nchs/data/nhanes/nhanes_07_08/Bronchodilator.pdf.
7. 질병관리본부 & 대한결핵 및 호흡기학회 및 국민건강영양조사 제5기(2010-2012) 지침서. 2011. Available at: <http://cdc.go.kr/CDC/contents/CdcKrContentView.jsp?cid=60948&menuIds=HOME001-MNU1130-MNU1639-MNU1749-MNU1760>
8. National Center for Health Statistics. 2011-2012 National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES): Respiratory Health Spirometry Procedures Manual. 2011. Available at: http://www.cdc.gov/nchs/data/nhanes/nhanes_11_12/Spirometry_Procedures_Manual.pdf
9. Moore VC. Spirometry: step by step. Breathe 2012;8:232-40.
10. van Schalkwyk EM, Schultz C, Joubert JR, White NW; South African Thoracic Society Standards of Spirometry Committee. Guideline for office spirometry in adults, 2004. S Afr Med J 2004;94:576-87.
11. Newman SP, Clark AR, Talaei N, Clarke SW. Pressurised aerosol deposition in the human lung with and without an "open" spacer device. Thorax 1989;44:706-10.
12. Tal A, Golan H, Grauer N, Aviram M, Albin D, Quastel MR. Deposition pattern of radiolabeled salbutamol inhaled from a metered-dose inhaler by means of a spacer with mask in young children with airway obstruction. J Pediatr 1996;128:479-84.
13. Leach CL, Davidson PJ, Hasselquist BE, Boudreau RJ. Lung deposition of hydrofluoroalkane-134a beclomethasone is greater than that of chlorofluorocarbon fluticasone and chlorofluorocarbon beclomethasone : a cross-over study in healthy volunteers. Chest 2002;122:510-6.

● 1단원. 폐활량검사와 기관지확장제검사

14. Visser R, Kelderman S, de Jongh FH, van der Palen J, Thio BJ. Reversibility of pulmonary function after inhaling salbutamol in different doses and body postures in asthmatic children. *Respir Med* 2015;109:1274-9.
15. Coates AL, Allen PD, MacNeish CF, Ho SL, Lands LC. Effect of size and disease on estimated deposition of drugs administered using jet nebulization in children with cystic fibrosis. *Chest* 2001;119:1123-30.
16. Coates AL, Ho SL. Drug administration by jet nebulization. *Pediatr Pulmonol* 1998;26:412-23.
17. Demoly P, Hagedoorn P, de Boer AH, Frijlink HW, Thorsson L, et al. The clinical relevance of dry powder inhaler performance for drug delivery. *Respir Med*. 2014;108:1195-203.
18. Lange NE, Mulholland M, Kreider ME. Spirometry: don't blow it. *Chest* 2009;136:608-14.
19. National Institute for Occupational Safety and Health. Get valid spirometry results every time. Available at: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-135/pdfs/2011-135.pdf>
20. Morris JF, Koski A, Johnson LC. Spirometric standards for healthy nonsmoking adults. *Am Rev Respir Dis* 1971;103:57-67.
21. Choi JK, Paek D, Lee JO. Normal predictive values of spirometry in Korean population. *Tuberc Respir Dis* 2005;58:230-42.
22. Rabe KF, Hurd S, Anzueto A, Barnes PJ, Buist SA, Calverley P, et al. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: GOLD executive summary. *Am J Respir Crit Care Med* 2007;176:532-55.
23. Swanney MP, Ruppel G, Enright PL, Pedersen OF, Crapo RO, Miller MR, et al. Using the lower limit of normal for the FEV1/FVC ratio reduces the misclassification of airway obstruction. *Thorax* 2008;63:1046-51.
24. Cerveri I, Corsico AG, Accordini S, Niniano R, Ansaldo E, Antó JM, et al. Underestimation of airflow obstruction among young adults using FEV1/FVC <70% as a fixed cut-off: a longitudinal evaluation of clinical and functional outcomes. *Thorax* 2008;63:1040-5.
25. Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo RO, Burgos F, Casaburi R, et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur Respir J* 2005;26:948-68.
26. Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. Lung volumes and forced ventilatory flows. *Eur Respir J* 1993;6 Suppl 16:5-40.
27. American Thoracic Society. Standards for the diagnosis and care of patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and asthma. This official statement of the American Thoracic Society was adopted by the ATS Board of Directors, November 1986. *Am Rev Respir Dis* 1987;136:225-44.
28. Siafakas NM, Vermeire P, Pride NB, Paoletti P, Gibson J, Howard P, et al. Optimal assessment

- and management of chronic obstructive pulmonary disease (COPD). The European Respiratory Society Task Force. *Eur Respir J* 1995;8:1398-420.
29. British Thoracic Society. BTS guidelines for the management of chronic obstructive pulmonary disease. The COPD Guidelines Group of the Standards of Care Committee of the BTS. *Thorax* 1997;52 Suppl 5:S1-28.
 30. Ferguson GT, Enright PL, Buist AS, Higgins MW. Office spirometry for lung health assessment in adults: A consensus statement from the National Lung Health Education Program. *Chest* 2000;117:1146-61.
 31. National Institute for Health and Care Excellence. Chronic obstructive pulmonary disease: Management of chronic obstructive pulmonary disease in adults in primary and secondary care. 2004. Available at: <http://www.nice.org.uk/guidance/cg12>
 32. Celli BR, MacNee W; ATS/ERS Task Force. Standards for the diagnosis and treatment of patients with COPD: a summary of the ATS/ERS position paper. *Eur Respir J* 2004;23:932-46.
 33. Peces-Barba G, Barberà JA, Agustí A, Casanova C, Casas A, Izquierdo JL, et al. [Diagnosis and management of chronic obstructive pulmonary disease: joint guidelines of the Spanish Society of Pulmonology and Thoracic Surgery (SEPAR) and the Latin American Thoracic Society (ALAT)]. *Arch Bronconeumol* 2008;44:271-81.
 34. American Thoracic Society. Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. *Am Rev Respir Dis* 1991;144:1202-18.
 35. Aggarwal AN, Agarwal R. The new ATS/ERS guidelines for assessing the spirometric severity of restrictive lung disease differ from previous standards. *Respirology* 2007; 12: 759-62.
 36. Watanabe S, Renzetti AD Jr, Begin R, Bigler AH. Airway responsiveness to a bronchodilator aerosol. I. Normal human subjects. *Am Rev Respir Dis* 1974;109:530-7.
 37. Sourk RL, Nugent KM. Bronchodilator testing: confidence intervals derived from placebo inhalations. *Am Rev Respir Dis* 1983;128:153-7.
 38. Global Initiative for Asthma. Diagnosis of Diseases of Chronic Airflow Limitation: Asthma, COPD and Asthma-COPD Overlap Syndrome (ACOS). 2015. Available at: http://www.ginasthma.org/local/uploads/files/ACOS_2015.pdf

2단원

폐확산능 검사

서론	37
검사방법	40
정도관리	43
해석	45

2단원. 폐확산능 검사

• 약어표

BTPS	Body temperature (37°C or 310 K) and ambient pressure, saturated (47 mmHg or 6.2 kPa) with water vapor	
CO	Carbon monoxide	일산화탄소
COP	Cryptogenic organizing pneumonia	원인불명경결폐렴
DLco	Diffusing capacity of the lung for carbon monoxide	폐확산능
DM	Membrane conductivity	폐포막전도
FEV ₁	Forced expiratory volume in 1 second	1초노력호기량
FVC	Forced vital capacity	노력폐활량
Hb	Hemoglobin	헤모글로빈
IPF	Idiopathic pulmonary fibrosis	특발폐섬유화증
RA	Rheumatoid arthritis	류마티스관절염
SLE	Systemic lupus erythematosus	전신홍반루푸스
TLC	Total lung capacity	총폐용량
V _A	Alveolar volume	폐포용적
VC	Vital capacity	폐활량
Vd	Dead space	사강

서론

폐확산능 검사는 일산화탄소(carbon monoxide, CO)를 흡입하여 폐포 모세혈관까지의 전달능을 측정하는 방법이다.

1. 정의

일산화탄소(carbon monoxide, CO)를 흡입하여 폐포 모세혈관까지의 전달능을 측정하는 방법이다.

2. CO 전달능의 과정 및 관련 요소

폐포- 폐포 모세혈관의 가스교환능은 구조적, 기능적인 요소들에 의해 결정된다.

구조적인 요소는 폐내 가스 양, 폐포 모세혈관 막의 두께 및 면적이 있으며, 기능적인 요소는 폐의 환기 및 관류상태, 폐포 모세혈관 내 헤모글로빈 등이 있다. 이를 단순화하면 첫째는 폐포막전도 (membrane conductivity, DM), 이는 폐포 모세혈관막의 확산능이며, 둘째는 일산화탄소와 헤모글로빈 간의 (Hb-CO) 화학적 반응률 (chemical reaction rate, θ), 셋째는 폐포 모세혈관 혈액 내 헤모글로빈의 양(V_c)이다. 이들의 연관성은 $1/DL_{CO} = (1/DM) + (1/\theta V_c)$ 로 표시될 수 있으며, 각 요소들에 영향을 미치는 생리적인 변화들은 다음과 같다.

폐 팽창이 되면 폐포막 전도양(DM)이 증가되고, 운동, 복와위(prone position), 물러 조작(müller maneuver) 등은 폐포 모세혈관을 확장, 혈류량을 증가시켜 V_c 를 증가시킨다. 또한 검사에서 일산화탄소 섭취는 폐의 환기분포에 따라 영향을 받을 수 있다. 예를 들면, 폐기종과 같은 질환에서는 일산화탄소 섭취는 주로 환기가 잘되는 부위에서 이루어지므로, DL_{CO} 값이 전체 폐 중 환기가 비교적 잘 되는 부위를 반영하는 것을 고려해야 한다. 그 외에 폐확산능에 변화를 주는 인자들은 아래와 같다(표 1).

● 2단원. 폐확산능 검사

표 1. 폐확산능(DLco) 검사에 영향을 줄 수 있는 인자들

1) 폐 팽창 감소(reduced V_A)로 인한 DLco 감소 호흡근 약화나 흉강 변형
2) 혈액양이나 Hb-CO 반응 감소를 유발하는 질환이나 상태로 인한 DL _{co} 감소 빈혈 폐색전증 발살바 조작 (Valsalva maneuver) Hb 결합능 변화 (예: Hb-CO, FiO ₂ 증가)
3) 폐포막 이상과 Hb-CO 반응 감소를 유발하는 질환들로 인한 DLco감소 폐기종 간질성폐질환 폐혈관염 폐고혈압
4) Hb-CO 반응, 혈액양 증가로 인한 DLco 증가 질환들 적혈구증가증 (polycythemia) 오른왼쪽선트 폐출혈 천식
5) 기타 DLco 증가 상태 Hb 결합능 이상 (FiO ₂ 감소) 물러 조작 (Müller maneuver) 복와위 비만

3. 목적

폐포-폐포 모세혈관의 CO 전달능을 측정하여 이에 관련된 질환의 진단에 도움을 주고 치료에 대한 반응, 중증도 및 예후를 평가함이다.

1) 적응증

- ① 간질성폐질환의 진행정도
- ② 폐기종의 평가 및 타 폐질환과의 감별
- ③ 심혈관계 질환-폐부종, 원발 폐고혈압, 급성 폐색전증
- ④ 전신질환의 폐침범(RA, SLE)
- ⑤ 폐손상 유발가능 약물 사용 시(amiodarone, bleomycin)

⑥ 폐출혈

⑦ 폐절제 수술전 평가

2) 급기증

절대금기는 일산화탄소 중독상태, 산화헤모글로빈(oxyhemoglobin)이 매우 낮은 상태이고 상대금기는 검사 24시간 내의 과도한 흡연이다.

검사방법

- 잔기량부터 총폐용량까지 혼합가스를 흡입시킨 후 약 10초 동안 숨을 참도록 하여 그 동안 흡수된 일산화탄소(CO)의 양을 측정하는 방법이다.
- 가스 조성은 Nitrogen 78.2%, Oxygen 20.9%, CO 0.3%, CH₄ 0.3%, C₂H₂ 0.3%이다.
- 검사 시작 후 4초 이내에 최대 폐활량의 85%를 초과하여 흡입한다.
- 검사 중 호흡중지 기간은 10±2초간 안정적으로 유지되어야 하고, 누수나 발살바 혹은 물러 조작이 되지 않도록 힘은 주지 않으면서 끝까지 흡입한 상태를 유지한다.
- 호기는 4초 이내, 표본채취는 3초 이내 시행하여 적절한 사강세척 및 폐포내 표본 채취가 이루어지도록 한다.
- 검사 간격은 최소 4분이 되도록 하고 5회를 초과하여 검사하지 않는다.

대상자에게 잔기량부터 총폐용량까지 혼합가스를(0.3% 일산화탄소, tracer gas: 0.3% 메탄[CH₄] 혹은 10~20% 헬륨[He], 산소 21%, 질소:나머지) 흡입 시킨 후 약 10초 동안 숨을 참도록 하여 그 동안 흡수된 일산화탄소의 양을 측정하는 방법이다. 폐확산능 측정법의 문제는 실험실간 변이도가 높다는 것이며 이 같은 실험실간 오차는 측정방법의 표준화를 통해 줄일 수 있다.

1. 검사전 준비

- 1) 검사 방법에 대해 전반적으로 설명을 하여 환자가 검사방법을 이해한 후 시작한다.
- 2) 검사는 안정상태에서 시행하며 검사 직전 심한 운동은 삼가한다.
- 3) 금식 혹은 가벼운 식사 2시간 이상 경과 후 검사한다.
- 4) 앉은 자세에서 시행하도록 하며 검사 시행 전 5분 이상 앉은 상태로 휴식 후 검사한다.

· 고려사항:

폐포 모세혈관 내 혈액량(Vc)에 영향을 미치는 검사 전 운동 여부, 검사 자세, 일산화탄소에 대한 혈색소의 친화도(폐포 내 산소분압[P_AO₂], 일산화탄소 혈색소 [COHb]) 등을 표준화해야 한다.

가능하면 산소 투여는 최소한 10분 이상 중지 후 검사한다.

흡연은 일산화탄소 혈색소(COHb)의 농도를 증가시키므로 검사 당일 금연하도록 하고 직업적으로 일산화탄소 접촉력이 있는 경우 검사당일은 일산화탄소 노출을 피한다.

2. 검사과정

동영상 참조 (https://www.youtube.com/watch?v=S_u1TRFaNEk)

1) 흡기 방법 (inspiratory maneuver)

- ① 마우스피스(mouthpiece)를 물게하고 상시호흡(tidal breathing)을 시킨다.
- ② 호흡이 안정되면 피험자는 잔기량(residual volume)까지 천천히 숨을 내쉰다. 숨을 내쉬는 과정은 6초까지로 제한하는데 특히 기도 폐쇄가 있는 환자에서 호기 시간이 지나치게 길어지는 것을 방지하기 위함이다.
- ③ 잔기량에 도달하면 마우스피스를 테스트용 gas (0.3% carbon monoxide [CO], 10% helium, oxygen and nitrogen)에 연결시키고 재빨리 총폐용량 (total lung capacity, TLC)까지 숨을 들이 마신다.
- ④ 흡기는 빠른 속도로 해야 하는데 4초를 초과하지 않도록 하고 폐활량(vital capacity, VC)의 85% 이상 흡입하도록 한다.

2) 숨 참기 및 호기 방법 (condition of breath-hold and expiratory maneuver)

- ① 흡기가 완료 되면 10±2초 동안 숨을 참는다. 숨참기를 할 때 발살바 조작(기도가 폐쇄된 상태에서 숨을 내쉬려고 하는 것)이나 물러 조작(기도가 폐쇄된 상태에서 숨을 들이쉬려고 하는 것)을 하면 안된다. 발살바 조작은 흉곽 내 혈류량을 감소시켜 폐확산능을 감소시키고 물러 조작은 흉곽 내 혈류량을 증가시켜 폐확산능을 증가시킬 수 있다.
- ② 숨 참기 후 빠른 속도로 숨을 내쉬게 하는데 호기는 부드럽게 머뭇거리지 않고 바로 시행되도록 하고 시간은 4초를 넘기지 않는다.
- ③ 흡기, 숨참기 및 호기동안 발생할 수 있는 방법의 오류들을 그림 1에 제시하였다.

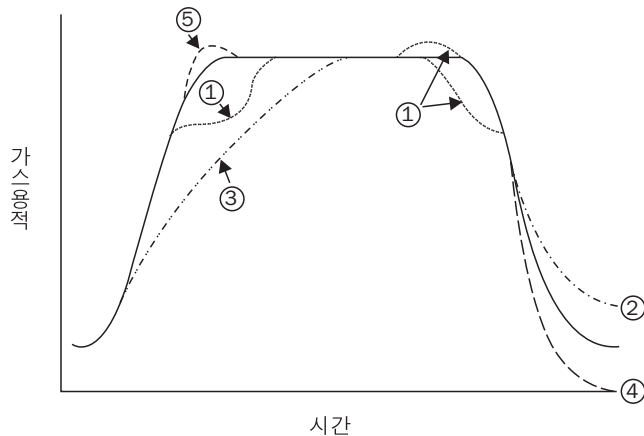


그림 1. 단위 호흡 폐확산능 측정법 시행 중 발생할 수 있는 방법의 오류¹⁾

- ①: 흡기나 호기가 지속적으로 시행되지 않고 단계적으로 시행된 경우
- ② ----: 호기 가스 누수(leak)
- ③ - · - · -: 흡기속도가 느린 경우
- ④ - - - -: 호기량이 흡기량 보다 많은 경우
- ⑤ -----: 일시적으로 지나치게 흡입하거나 가스 온도 변화

• 2단원. 폐확산능 검사

3) 사강 내 공기의 배출 및 샘플 수집 (washout and sample volume collection)

- ① 폐확산능 측정을 위해서는 샘플 폐포 가스를 수집해야 하는데 우선 사강 (dead space, V_d) 안에 있는 공기를 호기 중 완전히 제거해야 한다. 일반적으로 검사가스는 0.75 - 1 L 정도 제거하지만, 폐활량이 2 L 미만이면 0.5 L를 제거한다. 최신 기계들은 도식화된 그래프 모양을 보고 사강의 공기가 포함되지 않았다는 것을 확인할 수 있다 (그림 2).
- ② 샘플 가스 용적 (sample gas volume)은 일반적으로 0.5~1.0 L를 수집하는데, 폐활량이 1 L 미만인 환자에서는 샘플 가스 용적을 0.5 L 미만을 수집할 수 있다. 이때 사강의 공기가 포함되면 안된다.

4) 검사 간격 (interval between tests)

- ① 검사 간격은 최소 4분이 되도록 하여 이전 검사에서 흡입된 가스가 다 빠져나간 후 다음 검사를 시행한다
- ② 5회를 초과 하여 검사하지는 않는다

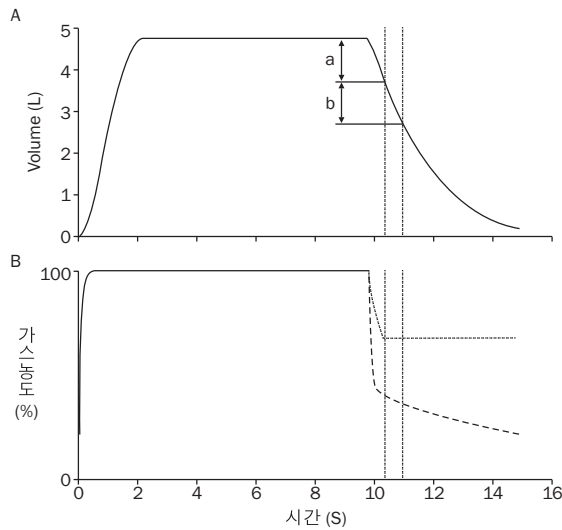


그림 2. 폐용적(A)과 가스 농도(B).¹⁾
 샘플 가스 수집은 두 점선 사이의 시간에 이루어 진다. -----: tracer gas,
 ----: 일산화탄소, a:사강 공기 배출, b:샘플 가스 수집

3. 흡기 가스의 조성 (inspired gas composition):

- 1) tracer gas로 메탄(CH_4) 혹은 헬륨(He) 사용
- 2) 조성: Nitrogen 78.2%, Oxygen 20.9%, CO 0.3%, CH_4 0.3%, C_2H_2 0.3%.

정도관리

- 측정기기의 정도관리는 장비 점검 기준에 따라 시행한다.
- 검사의 재현성은 반복시행 시 그 차이가 3 mL/min/mmHg 혹은 최대치의 10% 이내여야 한다.
- 적합성과 재현성을 만족하는 최소 2회의 측정치의 평균값을 보고한다.

1. 측정기기의 표준화

폐확산능 측정의 문제점은 변이도가 매우 심한 것으로서 이 같은 측정상의 변이도를 줄이기 위해 미흉부학회 및 유럽호흡기학회(ATS/ERS)에서는 폐확산능 측정 표준화 방법을 발표 하였다.¹⁾

1) 측정기구의 승인기준

- ① 용적정확도: 8L 측정시 오차가 3% 이내(시험주사기의 오차를 감안하면 3.5% 이내).
- ② 가스분석기: 측정 범위 내 일관성(linearity)이 중요하며 오차가 최고치의 $\pm 0.5\%$ 이내. 측정 중 안정적이며 측정가스의 $\pm 0.5\%$ 내 변이를 보임.
- ③ 기기내 저항이 6 L/sec 유속에서 1.5 cmH₂O/L/sec 이내
- ④ 밸브 민감도: 압축가스 사용시 6 L/sec 유속을 위한 밸브 예민도가 10 cmH₂O 이내
- ⑤ 시간 측정기: 10 초 측정시 $\pm 1\%$ (100 msec) 이내
- ⑥ 측정기기(밸브, 필터, 마우스피스)내 사강이 0.35 L 미만
- ⑦ CO₂와 H₂O가 가스분석기 작동에 영향을 줄 경우, 가스분석기 통과 전 시험가스로부터 CO₂와 H₂O를 제거하거나 이로 인한 측정치의 영향을 계산하여 보정함.
- ⑧ 누수(leak)가 없어야 함.

2) 측정기기의 정도관리

- ① 매 검사 전후: 가스분석기 영점조정(zeroing)
- ② 매일: 용적 정확도, 누수검사
- ③ 매주: 표준 피검자(건강 비흡연자) 혹은 simulator 검사
- ④ 매 분기: 가스분석기 일관성, 시간측정기 검사
- ⑤ 장비점검과 표준 피검자에 대한 검사기록을 작성한다. 폐확산능 검사전 점검표 **부록 표 7** 참조.

- 2단원. 폐확산능 검사

2. 검사의 적합성

- 1) 표준화 조건을 만족하는 적절히 관리된 기기를 사용
- 2) 검사 시작 후 4초 이내에 최대 폐활량의 85% 를 초과하여 흡입
- 3) 검사중 호흡중지 시간이 10 ± 2 초간 안정적으로 이루어져야 하고, 누수나 발살바 혹은 물러 수기가 되지 않도록 힘은 주지 않으면서 끝까지 흡입한 상태를 유지
- 4) 호기는 4초 이내, 표본채취는 3초 이내 시행하여 적절한 사강세척 및 폐포내 표본채취가 이루어지도록 함.

3. 검사의 재현성

- 1) 반복시행시 그 차이가 3 mL/min/mmHg 혹은 최대치의 10% 이내
- 2) 적합성과 재현성을 만족하는 최소 2회의 측정치의 평균값을 보고
- 3) 반복측정시 적어도 4분 휴식 후 같은 조건으로 시행. 폐쇄폐질환이 동반된 경우는 10분 이상 휴식
- 4) 최대 5회까지 반복 시행. 5회까지 시행시는 혈중 COHb이 3.5%까지 증가하여 DLco가 실제보다 3~3.5% 감소될 수 있음.

해석

- 폐확산능 결과 판독시, 폐확산능 값만 단독으로 보지 않고, 다른 폐기능 검사 결과와 연관하여 해석한다.
- 빈혈이 있으면 폐확산능 값이 저하되므로 이를 보정한다.
- 폐확산능 값과 폐확산능 값을 폐포 부피로 보정한 값 둘 중 어느 것이 더 좋은 지표인지 아직 결론이 내려지지 않았다.

1. 해석시 고려 사항

폐확산능은 다양한 생리적 요인에 의존하며 나이, 성별, 키 인종 등의 요인 뿐 아니라 혈색소, 폐용적, COHb, 고도, 운동, 몸의 위치 등에 의해서도 변화한다. 특히 혈색소, COHb, 흡입산소압의 3가지 요인에 대해서는 폐확산능 해석 전에 적절한 교정이 되어야 한다.

1) 폐활량 정상예측식

- ① 폐확산능 결과는 성별과 나이, 키, 몸무게, 인종, 흡연력, 혈색소 수치 등에 따라 달라지므로, 국가나 인종 별로 정상예측식을 개발하는 것이 필요하다.
- ② 국내는 1985년 박 등이 한국인이 표본인 한 폐확산능 정상예측식을 발표하였으나,² 널리 사용되고 있지 않는 실정이다. 2006년 송 등의 연구에서 박 식은 타 외국식과 비교하여 국내 환자에게 가장 적합한 식이라고 보고 하였다.³
- ③ 현재 정상예측식으로 외국식을 그대로 차용하여 사용하고 있는데, 외국의 대표적인 폐확산능 정상예측식은 Burrows 식, ECSC (European Community for Steel and Coal) 식, Crapo/Morris 식, Paoletti 식과 Roca 식 등이 있다.

2) 폐확산능 해석

- ① 폐확산능 값 판정시 경증, 중등증, 중증으로 나누어 구분한다 (표 2).
- ② 폐확산능 결과 판독시, 폐확산능 값만 단독으로 보지 않고, 다른 폐기능 검사 결과와 연관하여 해석하도록 한다. 일초노력호기량(forced expiratory volume in 1 second, FEV₁)/노력폐활량(forced vital capacity, FVC) 값이 정상이고, FVC 값이 정상인데 폐확산능만 떨어져 있는 경우에는 빈혈, 폐혈관 질환, 초기 간질성폐질환, 초기 폐기종을 의심한다. FEV₁/FVC 값이 정상이나 FVC 값이 떨어져 있고, TLC 값이 떨어져 있는 경우 폐확산능이 저하되어 있으면 간질성폐질환을 의심해 보아야 한다. 만약 FEV₁/FVC 값이 저하되어 있고, FVC 값은 정상

● 2단원. 폐확산능 검사

이면서 폐확산능이 떨어져 있으면 폐기종, 림프관평활근종증 (lymphangioleiomyomatosis)을 의심해 본다.

- ③ 상기 질환 이외에도 폐확산능이 떨어져 있으면 유육종증, 만성 폐색전증, 원발 폐고혈압 등을 의심해 본다. 폐확산능 값이 증가된 경우는 천식, 비만, 폐출혈 등을 감별해 본다.
- ④ 폐기능검사에 따른 폐확산능 값의 해석은 표 3에 기술되어 있다.

표 2. 폐확산능 중증도

중증도	폐확산능 (% of predicted value)
정상	80% 이상
경증	61~79%
중등증	40~60%
중증	40% 미만

표 3. 폐기능검사에 따른 폐확산능 값의 해석¹⁰

폐확산능 값	감별 진단
폐확산능 높음	천식, 오른왼쪽선트, 적혈구증가증, 폐출혈
폐확산능 정상, 제한장애	척추후만증, 고도 비만, 신경근육 질환, 흉수
폐확산능 정상, 폐쇄장애	천식, 기관지확장증, 만성기관지염
폐확산능 낮음, 제한장애	석면증, 베릴륨증, 과민폐렴, 특발폐섬유화증, 랑게르한스세포조직구증(Langerhans cell histiocytosis), 속립결핵, 사르코이드증, 규폐증 (후기)
폐확산능 낮음, 폐쇄장애	낭성섬유증, 폐기종, 규폐증(초기)
폐확산능 낮음, 정상폐기능	만성폐색전증, 자가면역질환의 폐침범, 초기 간질성폐질환, 원발 폐고혈압

3) 폐확산능 보정

- ① 빈혈이 있는 경우 폐확산능 값이 떨어지기 때문에 혈색소 값이 떨어져 있으면 이를 보정해야 한다.

성인 남성: $Hb \text{ adjusted } DL_{CO} = \text{measured } DL_{CO} \left(\frac{[10.22 + Hb \text{ g/dL}]/[1.7 Hb]}{1.0} \right)$

15세 이하 소아 및 여성: $Hb \text{ adjusted } DL_{CO} = \text{measured } DL_{CO} \left(\frac{[9.38 + Hb \text{ g/dL}]/[1.7 Hb]}{1.0} \right)$

- ② 폐확산능 값은 또한 폐포용적에 따라 달라질 수 있어, 폐확산능 값을 폐포용적(alveolar volume, V_A)로 교정해야 한다. 하지만 폐확산능 값과 폐포용적으로 보정한 값 사이에 선형 관계가 있지 않아 해석에 주의를 요한다.
- ③ 현재까지 폐확산능 (DL_{CO})과 폐확산능 값을 폐포용적으로 보정한 (DL_{CO}/V_A) 값 둘 중 어느 것이 더 좋은 지표인지에 대한 결론은 내려지지 않았다. 다만 V_A 값의 변화가 다양하고, V_A 의 변화와 DL_{CO} 의 변화가 비례하지 않는 점을 고려하여 진료 시 DL_{CO}/V_A 를 참조하는 것은 필요하나, DL_{CO} 를 평가 지표로 사용하는 것이 더 적절한 것으로 예상된다.

2. 폐확산능 측정의 임상적 유용성

- 1) 간질성폐질환의 진단: 초기 간질성폐질환의 경우 FVC가 정상인 경우에도 폐확산능이 감소하므로 조기 진단에 도움이 된다.⁴
- 2) 간질성폐질환의 중증도 판정: 진단시 폐확산능이 35-40% 미만인 경우 진행된 상태로 폐이식을 고려한다.
- 3) 간질성폐질환의 경과 판정: 경과 중 폐확산능이 진단시에 비해 15% 이상 감소시 의미있게 진행된 것으로 여겨지며 사망위험도가 증가한다.⁵
- 4) 간질성폐질환의 합병증 진단: 간질성폐질환 환자에서 FVC 감소량보다 폐확산능 감소량이 큰 경우 폐동맥고혈압, 폐기종 등의 합병증 발생을 의심한다.
- 5) 폐기종의 진단 및 중증도 판단: 폐확산능의 저하 정도는 폐기종의 진행 정도와 유의한 상관관계를 보임. 이들 상관관계는 조직학적 소견 및 흉부 전산화단층촬영 각각에서 유의한 상호 관련성이 있었다.⁶⁻⁸
- 6) COPD와 천식의 감별에 유용: 폐쇄성 장애를 보이는 환자에서 폐확산능이 떨어져 있는 경우 COPD일 가능성이 높고 폐확산능이 증가되어 있는 경우 천식일 가능성이 높다.
- 7) 수술 후 합병증 예측: 폐확산능이 정상예측치의 50% 미만일 경우 폐절제술 후 호흡부전의 발생위험이 높다.⁹
- 8) 폐확산능 관련 호흡기장애등급은 DLco 값으로 평가하며 기준은 **부록 표6** 참조¹¹

3. 폐확산능 결과에 포함되어야 할 수치

결과보고에는 측정치, 예측치, 예측치 대비 측정치의 퍼센트, 폐포용적으로 보정된 수치 (DL_{CO}/V_A), Hb으로 보정된 수치 (DL_{CO}/Hb) 등이 포함되어야 한다.

참고문헌

1. Macintyre N, Crapo RO, Viegi G, Johnson DC, van der Grinten CP, Brusasco V, et al. Standardisation of the single-breath determination of carbon monoxide uptake in the lung. *Eur Respir J* 2005;26:720-35.
2. Park JO, Choi IS, Park KO. Normal predicted standards of single breath carbon monoxide diffusing capacity of lung in healthy nonsmoking adults. *Korean J Med* 1985;28:176-83.
3. Song EH, Oh YM, Hong SB, Shim TS, Lim CM, Lee SD, et al. Selection of reference equations for lung volumes and diffusing capacity in Korea. *Tuberc Respir Dis* 2006;61:218-26.
4. George TJ, Arnaoutakis GJ, Shah AS. Lung transplant in idiopathic pulmonary fibrosis. *Arch Surg* 2011;146:1204-9.
5. Latsi PI, du Bois RM, Nicholson AG, Colby TV, Bisirtzoglou D, Nikolakopoulou A, et al. Fibrotic idiopathic interstitial pneumonia: the prognostic value of longitudinal functional trends. *Am J Respir Crit Care Med* 2003;168:531-7.
6. Gould GA, Redpath AT, Ryan M, Warren PM, Best JJ, Cameron EJ, et al. Parenchymal emphysema measured by CT lung density correlates with lung function in patients with bullous disease. *Eur Respir J* 1993;6:698-704.
7. McLean A, Warren PM, Gillooly M, MacNee W, Lamb D. Microscopic and macroscopic measurements of emphysema: relation to carbon monoxide gas transfer. *Thorax* 1992;47:144-9.
8. Lee JS, Ra SW, Chae EJ, Seo JB, Lim SY, Kim TH, et al. Validation of the lower limit of normal diffusing capacity for detecting emphysema. *Respiration* 2011;81:287-93.
9. Schuurmans MM, Diacon AH, Bolliger CT. Functional evaluation before lung resection. *Clin Chest Med* 2002;23:159-72.
10. Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo RO, Burgos F, Casaburi R, et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur Respir J* 2005;26:948-68.
11. 장애인복지법에 의한 장애 등급 판정기준, 보건복지부고시 제 2013-56호. Available at: http://www.mohw.go.kr/front_new/jb/sjb0406vw.jsp?PAR_MENU_ID=03&MENU_ID=030406&CONT_SEQ=321775&page=1.

3단원

폐용적 검사

서론	51
검사방법	54
정도관리	56
해석	57

- 3단원. 폐용적 검사

3단원. 폐용적 검사

• 약어표

ERV	Expiratory Reserve Volume	호기에비량
FRC	Functional Residual Capacity	기능잔기용량
IC	Inspiratory Capacity	흡기용량
IRV	Inspiratory Reserve Volume	흡기에비량
RV	Residual Volume	잔기량
TLC	Total Lung Capacity	총폐용량
TV	Tidal Volume	일회호흡량
VC	Vital Capacity	폐활량

서론

- 폐용적 검사는 폐활량검사에 추가적으로 질환의 중증도나 기능적 장애 정도, 질환의 경과나 치료에 대한 반응 등 질환의 정확한 생리학적인 평가를 위해서 필요하다.
- 폐용적은 기능잔기용량, 호기에비량, 흡기용량, 흡기에비량, 잔기량, 일회호흡량, 총폐용량, 폐활량 등을 포함한다.
- 폐용적은 일반적으로 보일의 법칙(Boyle's law)에 기초한 체적변동기록기(body plethysmography)로 측정할 수 있다.

1. 검사의 의의

다양한 폐질환은 폐와 흉곽의 기계적 특성의 변동을 초래하여, 흉부의 크기, 모양 및 환기 양식을 변화시킨다. 폐활량측정법은 간단하고 쉽게 검사할 수 있으나, 소아나 일부 성인에서 질환의 중증도나 기능적 장애 정도, 질환의 경과나 치료에 대한 반응을 평가하는데 한계가 있어 정확한 생리학적인 평가를 위해서 폐용적을 측정하는 것이 필요하다. 폐용적 검사는 호흡기계의 운동생리학적 특성을 평가하는 데 있어 유용하며, 기도저항(airway resistance)이나 폐순응도(lung compliance)을 측정하기 전에 기본적으로 시행하기도 한다.

2. 정의

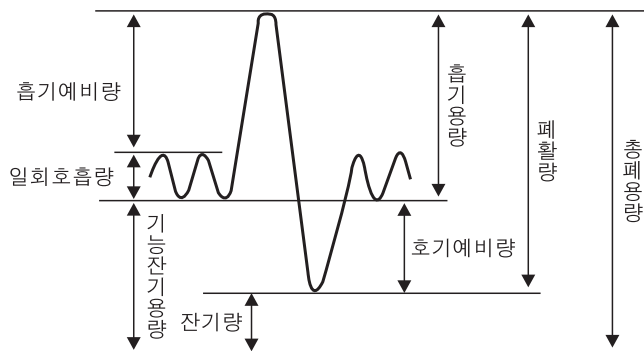


그림 1. 폐용적의 구분

- 기능잔기용량(functional residual capacity, FRC): 일회호흡(tidal breathing)의 호기말에 폐에 존재하는 공기량
- 호기에비량(expiratory reserve volume, ERV): 일회호흡의 호기말(기능잔기용량)부터 최대한 내릴 수 있는 공기량
- 흡기용량(inspiratory capacity, IC): 기능잔기용량부터 최대한 들이마실 수 있는 공기량

● 3단원. 폐용적 검사

- 흡기에비량 (inspiratory reserve volume, IRV): 일회호흡의 흡기말부터 최대한 들이마실 수 있는 공기량
- 잔기량 (residual volume, RV): 최대로 내쉬 후 폐에 남아있는 공기량
- 일회호흡량 (tidal volume, TV): 안정시 호흡주기 동안 들이쉬거나 내쉬는 공기량
- 총폐용량 (total lung capacity, TLC): 최대로 들이마신 후 폐에 있는 공기량
- 폐활량 (vital capacity, VC): 최대로 들이쉬고 내쉬는 동안에 변동된 공기량

3. 검사 원리

폐용적 측정은 일정한 온도에서 가스는 압력의 변동에 반비례하여 부피가 감소하거나 증가하기 때문에 가스의 압력(P)과 부피(V)의 곱이 일정하다는 보일의 법칙(Boyle's law)에 기초한다.

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

V_1 을 기능잔기용량으로 가정하면, P_1 은 기능잔기용량에서 폐내의 공기의 압력이며, 이는 대기압과 동일하다. 검사 중 얇고 빠른 호흡 (panting maneuver) 동안 개폐기(shutter)가 닫히면서 기도가 폐쇄된 상태에서 압력의 변화를(ΔP) 측정한다 (그림 2). 압력의 변화에 따라 기능잔기용량이 변동(ΔV)되므로, 새로운 압력과 부피의 관계가 만들어져 식의 뒷부분에 적용할 수 있다. P_2 는 얇고 빠른 호흡 동안에 흡기 근육에 의해서 감압된 폐내 공기의 압력으로, 처음 압력에서 압력 변화량을 빼서 계산한다($P_2 = P_1 - \Delta P$). 비슷하게 같은 방법으로 V_2 는 감압 후에 폐내 공기의 부피로 처음 부피에 부피 변화량을 더하면 구할 수 있다($V_2 = V_1 + \Delta V$) (그림 2). 이렇게 구한 수치를 위의 식에 대입하면, 다음과 같은 과정을 거쳐 기능잔기용량을 구할 수 있다.

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

$$P_1 \times V_1 = (P_1 - \Delta P) \times (V_1 + \Delta V)$$

$$P_1 \times V_1 = [(P_1 \times V_1) + (P_1 \times \Delta V)] - [(\Delta P \times V_1) + (\Delta P \times \Delta V)]$$

$$\Delta P \times V_1 = (P_1 \times \Delta V) - (\Delta P \times \Delta V)$$

$$V_1 = [\Delta V \times (P_1 - \Delta P)] / \Delta P$$

마지막 식에서 ΔP 는 P_1 과 비교해서 매우 작기 때문에 (P_1 , 대기압인 760 mmHg에 비해서 ΔP 는 20 mmHg 정도임), $P_1 - \Delta P$ 를 P_1 과 거의 같다고 할 수 있다.

식을 단순화하면 $V_1 = (\Delta V \times P_1) / \Delta P$ 즉, 기능잔기용량은 $(\Delta V \times P_1) / \Delta P$ 이다.

P_1 은 대기압이고 ΔP 와 ΔV 는 체적변동기록기로 측정된 값이다. 기능잔기용량이 정해진 후에 잔기량과 총폐용량을 계산할 수 있다. 잔기량은 기능잔기용량에서 호기예비량을 빼면 구할 수 있고 총폐용량은 기능잔기용량에 흡기용량을 더해서 구할 수 있다.

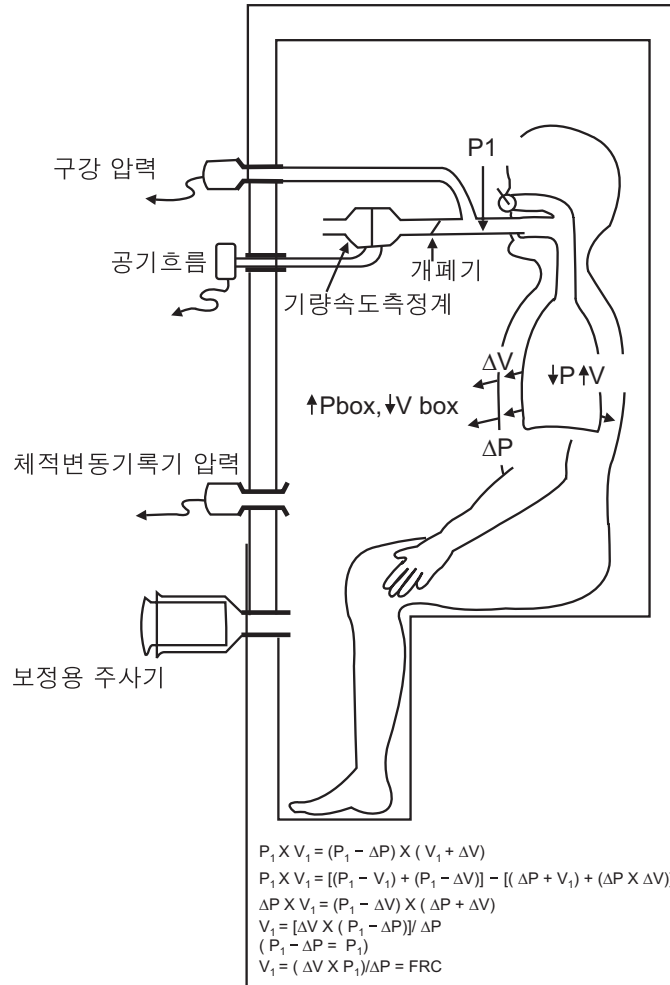


그림 2. 압력 변동형 체적변동기록기에 의한 폐용적 측정¹⁾

- 3단원. 폐용적 검사

검사방법

- 체적변동기록기의 문을 닫은 후, 환자가 편안한 상태에서 체적변동기록기 안의 온도가 변하지 않을 때까지 앉아 있게 한다.
- 기능잔기용량(FRC)이 안정되게 나온 후에 개폐기(shutter)가 닫히는데, 이 때 대상자는 1 kPa (10 cmH₂O)의 음압을 주면서 0.5 Hz에서 1.0 Hz의 빈도로 숨을 헐떡이며 쉬어야 한다.

폐용적은 체적변동기록기, 가스 희석법(gas dilution methods)과 방사선 검사법(radiography)을 이용하여 측정할 수 있다. 본 지침에서는 임상에서 가장 많이 사용하고 정확한 체용적변동기록법에 의한 표준적인 측정 방법에 대해 제시하고자 한다.

1. 체용적변동기록법에 의한 폐용적 측정

1) 체적변동기록기의 구성

기계는 공기가 새지 않는 일정 용적의 상자 (air-tight chamber) 및 기량속도측정계 (pneumotachograph), 압력 변환기 (pressure transducer), 마우스피스 내의 원통코일로 작동되는 셔터 등으로 구성되며 (그림 2) 기계를 구성하는 각 부분은 그 용적 혹은 기능에서 일정한 수준을 만족하여야 한다.

2) 체적변동기록기의 조건 및 보정에 대한 정도관리

- ① 기계의 크기는 측정 대상 용적의 100~300배로, 600~1000 L 크기를 사용한다.
- ② 압력 변환기는 8 Hz 이상의 빈도의 헐떡임 시에는 균일한 빈도 반응 (frequency response)을 보이며, 기도폐쇄 압 (airway occlusion pressure, Pao)의 측정 범위 오차가 최소 5 kPa 범위를 만족해야 한다.
- ③ 보정 (calibration)
 - i. 폐활량 측정기의 보정은 각 요소마다 아래의 시간 간격으로 전 작동 범위 내에서 시행한다.
 - ㉠ 용적 보정: 보정용 주사기 (syringe)를 이용, 매일
 - ㉡ 압력 변환기: 매일 물리적 보정
 - ㉢ 압력 변환기와 체적변동기록기의 상관 관계 (linearity)는 최소 매 6개월마다
 - ii. 체적변동기록기의 보정은 아래의 시간 간격으로 시행한다.
 - ㉠ 용적 신호 (volume signal)의 보정: 매일
 - ㉡ 알려진 용적에 대한 변환기의 조정 (adjustment): 매일 시행

- ㉔ 폐용적 측정의 정확도: 3~4L 용적의 용기를 사용하여 판정한다.
- ㉕ 빈도 반응(frequency response)의 보정은 필터 설치 등 중요한 변화 발생시마다 시행

2. 검사 전 준비

- 1) 기계를 미리 켜 놓고 온도 평형에 도달할 때까지 충분한 시간을 둔다.
- 2) 제조사의 지침에 따라 보정과 검사를 위한 준비를 한다.
- 3) 체적변동기록기 안에서 대상자가 목을 똑바로 한 채 마우스피스를 물고 편한 자세로 앉도록 지도한다.
- 4) 대상자를 앉게 한다. 의치를 제거할 필요는 없다. 검사를 시작하면 문을 닫을 것이며, 양쪽 볼을 손으로 지지하고, 코마개를 사용할 것이라는 미리 설명해 준다.
- 5) 체적변동기록기의 문을 닫은 후, 환자가 편한 상태에서 박스 안의 온도가 변하지 않을 때까지 앉아 있게 한다.

3. 검사과정 (그림 3)

동영상 참조 (<https://www.youtube.com/watch?v=H23ghw2O6RU>)

- 1) 대상자에게 마우스피스를 물고 기능잔기용량이 안정되게 나올 때까지 3~10회 정도 조용히 숨을 쉬게 한다.
- 2) 기능잔기용량이 안정되게 나온 후에 개폐기(shutter)가 호기 말에 2~3초간 닫히는데, 이 때 대상자에게 1 kPa (10 cmH₂O)의 음압을 주면서 0.5 Hz에서 1.0 Hz의 빈도로 숨을 헐떡이며 쉬게 한다. 빈도가 1.5 Hz 이상이 되면 수치에 오류가 생길 수 있고, 0.5 Hz 보다 낮으면 누출에 의한 문제가 생길 수 있다. 박절기 (metronome)를 사용하면 대상자가 정확한 빈도로 숨을 쉬게 하는데 도움이 된다.
- 3) 헐떡거리는 호흡(panting)을 3~5회 정도 시행한 후에 개폐기가 열리면 잔기량까지 천천히 숨을 내쉬 후, 천천히 숨을 들이 쉬게 한다. 반대로 숨을 총폐용량까지 들이 쉰 후 천천히 끝까지 숨을 내 쉴 수도 있다. 필요하면 기능잔기용량과 폐활량 측정을 하는 사이에 마우스피스를 떼고 있을 수도 있다. 환자가 심한 호흡곤란으로 인해 기능잔기용량 측정 후 연달아 잔기량까지 천천히 숨을 내쉬지 못하는 경우에는 일회호흡량으로 약 2-3회 쉬게 한 이후에 잔기량까지 천천히 숨을 내쉬게 한 후, 천천히 숨을 들이 쉬게 할 수도 있다(그림 3).

● 3단원. 폐용적 검사

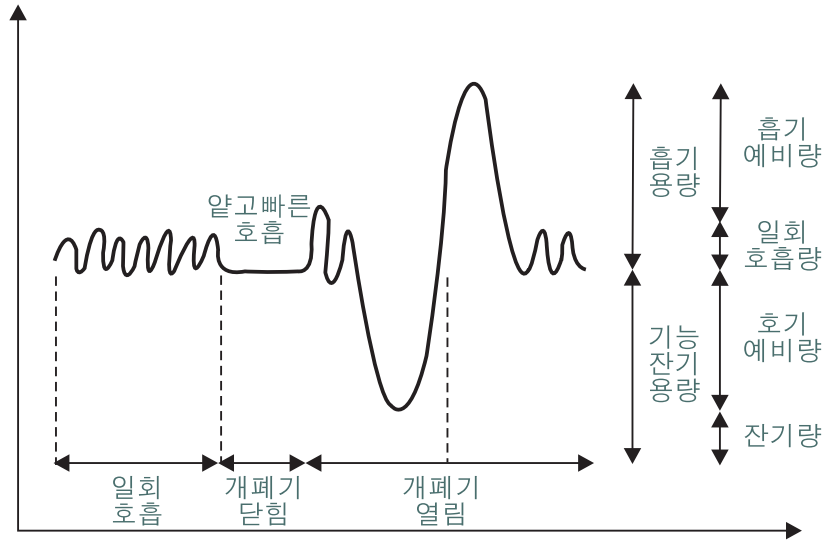


그림 3. 폐용적 측정 과정

정도관리

1. 제대로 시행한 3개의 기능잔기용량의 최대값과 최소값의 차이를 평균값으로 나눈 수치가 0.05 이하인 경우에 재현성의 기준을 만족하는 것으로 정의한다.
2. 기능잔기용량은 재현성의 기준을 만족하는 3개의 기능잔기용량의 평균값으로 보고한다.
3. 재현성의 기준을 만족하지 못할 경우에는 추가검사를 시행한다.²

해석

- 폐용적은 성별과 나이, 키, 몸무게, 체지방, 인종, 흡연력 등에 따라 다르다.
- 국내 성인을 대상으로 적합한 폐용적 정상예측식이 만들어지기 전까지는 European Coal and Steel Community (ECSC) 정상예측식을 사용하는 것을 추천한다.
- 폐용적 검사는 제한 환기장애를 확진하고, 과대팽창(hyperinflation)을 진단할 수 있다.
- 폐활량과 총폐용량이 정상 하한치보다 낮을 경우에 제한 환기장애로 진단하고, 혼합 환기장애는 FEV₁/FVC 비율 및 총폐용량이 모두 정상하한치보다 낮을 경우에 진단한다.
- 폐용적의 변화는 간질성폐질환을 포함하여 비만, 수면장애, 신경-근육질환, 흉막 질환 등 다양한 질환에서 관찰 될 수 있다.

1. 정상예측식

- 1) 폐용적은 성별과 나이, 키, 몸무게, 체지방, 인종, 흡연력 등에 따라 다르다³⁻⁸. 따라서 일부 국가에서는 자국민을 대상으로 구한 정상예측식을 사용하고 있고 국내에서도 소아에서의 폐용적에 대한 정상예측식을 발표한 바 있다⁹.
- 2) 미국과 유럽의 대부분의 기관에서는 총폐용량, 기능잔기용량 및 잔기량에 대하여 1995년 ATS/ERS workshop¹⁰ 및 European Coal and Steel Community (ECSC)¹¹에서 권장한 정상예측식을 사용하고 있다¹² (**부록 표 8**).
- 3) 폐용적은 신체의 크기와 밀접한 연관이 있으며 그 중에서 키가 가장 중요한 연관 요인이다. 키와 폐용적간의 단순한 관계식에 따라 계산을 하면 어린 연령에서는 너무 높은 예측값을 보일 수 있고, 청소년기 후기에는 너무 낮게 예측될 수 있다. 키가 같더라도 남성이 여성보다 폐기능 수치들이 더 크며, 백인이 흑인에 비해서 더 큰 폐기능 수치들을 보인다. 여성에서는 10세, 남성에서는 12세까지의 폐기능 수치는 비교적 직선적으로 증가한다. 키와 폐기능과의 상관 관계는 청소년기 및 급속 성장기를 지나면서 변하기 때문에 단순히 하나의 예측식이나 폐기능-키의 성장표로는 완전히 표현하기 힘들다.
- 4) 성인에서 폐용적이 체지방량에 따라 달라질 수 있는 점을 고려하여¹³⁻¹⁹ 폐용적의 정상 예측치는 호흡기 증상이 없고 흡연한 적이 없으며, 폐기능에 영향을 줄 만한 과거 혹은 현재의 질병이 없으면서 정상적인 체성분을 가지고 있는 사람을 대상으로 도출하는 것이 적절하다¹⁰.
- 5) 현재까지 다양한 정상예측식이 발표되었으나, 폐용적 검사 결과의 해석을 위해 가장 많이 사용되는 ECSC와 ATS/ERS workshop에서 제시한 정상예측식을 소개한다. ECSC 성인의 정상예측식은 대부분 질환이 없는 비흡연자 백인 인종을 대상으로 한 연구에서 만들어졌는데 18에서 70세 사이의 나이와 155cm에서 195cm사이의 남성, 145cm에서 180cm사이의 여성을 대상으로 한 연구이다. 하지만, 이 예측식에서 총폐용량, 잔기량

● 3단원. 폐용적 검사

및 기능잔기용량에 대한 자료는 흡연자 및 과거 흡연자가 포함된 집단으로부터 도출된 것으로 이 예측식이 흡연하지 않는 건강한 집단을 대표하지 못할 수 있고, 같은 이유로 이 집단에 있어서 잔기량의 실제값은 예측치보다 작을 수 있음을 염두에 두어야 한다.

- 6) 건강한 성인에서는 체적변동기록법과 가스희석법에 의한 측정은 일치하는 결과를 보여주었다^{17,20,21}.
- 7) 국내에서도 소아 폐용적 정상예측식을 발표하였으나 널리 사용되지 못하고 외국의 정상예측식을 주로 사용하고 있다. 하지만, 외국의 정상예측식은 다른 인종을 대상으로 추출한 것이므로 우리나라 사람들에게 적용하였을 때 차이를 보일 수 있다. 기존에 보고된 여러 가지 정상예측식 중 Goldman/Becklake 예측식²¹, Crapo/Morris 예측식²² 및 ECSC 예측식¹¹을 사용하여 잔차의 평균을 비교하였을 때, 한 병원의 보고에서 총폐용량은 남자에서는 ECSC 예측식, 여자에서는 Crapo 예측식이 잔차의 평균이 가장 작았고, 잔기량은 남자에서는 ECSC 예측식, 여자에서는 Goldman/Becklake 예측식이 잔차의 평균이 가장 작았다. 또 다른 병원의 검사 결과, 총폐용량은 남자에서는 Goldman/Becklake 예측식이, 여자에서는 ECSC 예측식이 잔차의 평균이 가장 작았고, 잔기량은 남자에서는 Crapo 예측식이 여자에서는 ECSC/Crapo 예측식이 가장 잔차의 평균이 작았다. 이를 근거로 폐용적의 정상예측식으로 ECSC 예측식이 적합할 것이라 제안하였다²³. 해당 연구는 대상자 수가 적고 전국적 표본 추출이 이뤄지지 않았기 때문에 제한점이 있지만, 국내 성인을 대상으로 적합한 폐용적 정상예측식이 만들어지기 전까지는 상기 연구 결과에 따라 ECSC 정상예측식을 사용하는 것을 추천한다.

2. 임상적 활용

- 1) 임상에서 폐용적 검사가 중요한 역할은 제한 환기장애를 진단하는 것이다.
- 2) ATS/ERS에서는 폐활량과 총폐용량이 정상 하한치보다 낮을 경우에 제한 환기장애로 진단하고, 혼합 환기장애는 FEV₁/VC 비율 및 총폐용량이 모두 정상하한치보다 낮을 경우에 진단한다¹².
- 3) 제한 환기장애를 나타내는 대표적인 질환으로는 간질성폐질환, 수면장애, 비만, 늑막질환, 폐 절제술 후 상태, 신경-근육질환, 척추측후만증 같은 흉벽의 이상 등이 있다.
- 4) 폐용적 검사는 폐쇄 환기장애에서 과다팽창(hyperinflation)을 진단하기 위해서도 사용한다. 비록 과다팽창의 정확한 정의는 없지만, 과다팽창 환자에서는 보통 하나 이상의 폐용적(총폐용량, 기능잔기용량, 잔기량)이 증가되어 있다²⁴. 또한 과다팽창 환자에서는 보통 가스희석법에 의하여 측정된 폐용적들이 체적변동기록법으로 측정된 폐용적들보다 작게 측정된다. 또한 잔기량/전폐용량(RV/TLC) 비율이 증가되어 있는 것은 폐용적축소술 후 폐기능의 개선을 예측할 수 있는 인자로 활용되고 있다^{25,26}.
- 5) 폐용적의 변화는 비만, 수면장애, 흉막 질환 등 다양한 질환에서 관찰될 수 있으므로 폐용적 검사 결과를 해석할 때 함께 고려해야 한다²⁷.

참고문헌

1. Med 610: Clinical respiratory diseases. Seattle, United States: University of Washington. Available at: https://courses.washington.edu/med610/pft/pft_primer.html.
2. Wanger JI, Clausen JL, Coates A, Pedersen OF, Brusasco V, Burgos F, et al. Standardisation of the measurement of lung volumes. *Eur Respir J*. 2005; 26(3):511-22.
3. Marco M, Minette A. Lung function changes in smokers with normal conventional spirometry. *Am Rev Respir Dis* 1976;114:723-38.
4. Hall AM, Heywood C, Cotes JE. Lung function in healthy British women. *Thorax* 1979;34:359-65.
5. Knudson RJ, Bloom JW, Knudson DE, Kaltenborn WT. Subclinical effects of smoking. Physiologic comparison of healthy middle-aged smokers and nonsmokers and interrelationships of lung function measurements. *Chest* 1984;86:20-9.
6. Yang TS, Peat J, Keena V, Donnelly P, Unger W, Woolcock A. A review of the racial differences in the lung function of normal Caucasian, Chinese and Indian subjects. *Eur Respir J* 1991;4:872-80.
7. Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. Lung volumes and forced ventilatory flows. *Eur Respir J* 1993;6 Suppl 16:5-40.
8. Cordero PJ, Morales P, Benlloch E, Miravet L, Cebrian J. Static lung volumes: reference values from a Latin population of Spanish descent. *Respiration* 1999;66:242-50.
9. Nam SY, Kim KH, Hong YM, Kim GH. Normal predicted values of pulmonary function test in healthy Korean children. *J Korean Pediatr Soc* 1998;41:338-45.
10. Stocks J, Quanjer PH. Reference values for residual volume, functional residual capacity and total lung capacity. *ATS Workshop on Lung Volume Measurements. Official Statement of The European Respiratory Society. Eur Respir J* 1995;8:492-506.
11. Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society. *Eur Respir J Suppl* 1993;16:5-40.
12. Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo RO, Burgos F, Casaburi R, et al. Interpretative strategies for lung function tests. *Eur Respir J* 2005;26:948-68.
13. Bedell GN, Wilson WR, Seebohm PM. Pulmonary function in obese persons. *J Clin Invest* 1958;37:1049-60.
14. Naimark A, Cherniack RM. Compliance of the respiratory system and its components in health

● 3단원. 폐용적 검사

- and obesity. *J Appl Physiol* 1960;15:377-82.
15. Gilbert R, Sipple JH, Auchincloss JH, Jr. Respiratory control and work of breathing in obese subjects. *J Appl Physiol* 1961;16:21-6.
 16. Sharp JT, Henry JP, Sweany SK, Meadows WR, Pietras RJ. Effects of mass loading the respiratory system in Man. *J Appl Physiol* 1964;19:959-66.
 17. Barrera F, Reidenberg MM, Winters WL. Pulmonary function in the obese patient. *Am J Med Sci* 1967;254:785-96.
 18. Emirgil C, Sobol BJ. The effects of weight reduction on pulmonary function and the sensitivity of the respiratory center in obesity. *Am Rev Respir Dis* 1973;108:831-42.
 19. Ray CS, Sue DY, Bray G, Hansen JE, Wasserman K. Effects of obesity on respiratory function. *Am Rev Respir Dis* 1983;128:501-6.
 20. Tierney DF, Nadel JA. Concurrent measurements of functional residual capacity by three methods. *J Appl Physiol* 1962;17:871-3.
 21. Goldman HI, Becklake MR. Respiratory function tests; normal values at median altitudes and the prediction of normal results. *Am Rev Tuberc* 1959;79:457-67.
 22. Crapo RO, Morris AH, Clayton PD, Nixon CR. Lung volumes in healthy nonsmoking adults. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1982;18:419-25.
 23. Song EH, Oh YM, Hong SB, Shim TS, Lim CM, Lee SD, et al. Selection of reference equations for lung volumes and diffusing capacity in Korea. *Tuberc Respir Dis* 2006;61:218-26.
 24. Bancalari E, Clausen J. Pathophysiology of changes in absolute lung volumes. *Eur Respir J* 1998;12:248-58.
 25. Fessler HE, Scharf SM, Permutt S. Improvement in spirometry following lung volume reduction surgery: application of a physiologic model. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;165:34-40.
 26. Criner GJ, Cordova F, Sternberg AL, Martinez FJ. The National Emphysema Treatment Trial (NETT): part I: lessons learned about emphysema. *Am J Respir Crit Care Med* 2011;184:763-70.
 27. Dubois AB, Botelho SY, Bedell GN, Marshall R, Comroe JH, Jr. A rapid plethysmographic method for measuring thoracic gas volume: a comparison with a nitrogen washout method for measuring functional residual capacity in normal subjects. *J Clin Invest* 1956;35:322-6.

4단원

비특이 기관지유발검사

서론	63
메타콜린 유발검사	66
만니톨 유발검사	73
운동 유발검사	75

4단원. 비특이 기관지유발검사

• 약어표

EIA	Exercise-induced asthma	운동유발 천식
EIB	Exercise-induced bronchoconstriction	운동유발 기관지수축
FEV ₁	Forced expiratory volume at 1 second	1초노력호기량
FVC	Forced vital capacity	노력폐활량
PC ₂₀	Provocation concentration causing a 20% fall in FEV ₁	20% 유발 농도
PD ₂₀	Provocation dose causing a 20% fall in FEV ₁	20% 유발 용량
RDR	Response dose ratio	반응 용량 비율

서론

기관지유발검사는 기도과민성을 측정하여 천식을 진단하는 중요한 검사로서, 민감하지만 특이도가 낮은 직접 기관지유발검사와 민감도는 낮지만 특이도가 높은 간접 기관지유발검사가 있다.

1. 천식과 기관지유발검사

기관지천식은 기도 염증 반응과 다양한 유발자극에 의해 기도가 좁아지는 기도과민성을 특징으로 하는 질환이다. 기도과민성은 기도의 염증에 의해 유발되므로, 그 정도는 천식의 중증도와 비례하고, 치료에 의해 줄어든다. 따라서 기도과민성을 측정하는 것은 천식을 진단하고 중증도를 평가하며 치료 반응을 판단하는데 매우 중요하다. 기도과민성을 측정하는 방법은 크게 기관지확장제에 의한 기류제한의 개선을 관찰하는 방법과 약물적 또는 비약물적 자극을 가하여 기류 제한을 유발하는 기관지유발검사로 나눌 수 있다.

2. 기관지유발검사의 적응증과 금기증

표 1. 기관지유발검사의 적응증과 금기증

적응증
천식(기도과민성)의 진단
기도과민성의 중증도 평가
천식이 발생할 상대적 위험도 결정
천식 치료의 반응 평가
절대 금기
중증 기류 제한 ($FEV_1 < \text{정상 예측치의 } 50\%$ 또는 $<1.0 \text{ L}$)
최근 3개월 동안 심근경색이나 뇌경색
진단된 동맥류
상대 금기
중증도의 기류 제한 ($FEV_1 < \text{정상 예측치의 } 60\%$)
천식 급성 악화
최근 2주 이내의 상기도 감염
조절되지 않는 고혈압
임신이나 수유
약물 치료가 필요한 간질
인정할만한 수준의 폐활량 측정을 수행할 수 없을 경우

3. 기관지유발검사의 종류

- 기관지유발검사는 여러가지 유발자극을 이용하여 시행하며, 각각 장단점이 있다.¹
- 히스타민이나 메타콜린을 이용한 직접 기관지유발검사는 직접 기도 평활근 세포를 자극하기 때문에 매우 민감하지만 특이도가 낮은 단점이 있다.
- 운동, 만니톨, 고장식염수, 아데노신, 과호흡을 이용한 간접 기관지유발검사는 기도 평활근 세포 이외의 기도 염증세포, 기도 상피세포, 신경을 자극하여 매개체를 유리시킴으로써 기도 평활근 세포에 반응을 일으키기 때문에 민감도는 떨어지지만 특이도는 높은 장점이 있다.
- 직접 자극과 간접 자극의 유발요인은 아래 표 2와 같다.

표 2. 기도 직접 자극과 간접 자극 유발요인

직접자극 유발요인	간접자극 유발요인
Cholinergic agonist (methacholine 등)	물리적 자극
Histamine	운동
Prostaglandin D ₂	비등장성 분무 (고장성 또는 저장성 증류수, 만니톨)
Leukotriene C ₄ /D ₄ /E ₄	건조 대기 하에서의 과호흡
	약물 자극
	Adenosine
	Tachykinins
	Bradykinin
	Metabisulphite/SO ₂
	Propranolol
	내독소 (LPS)
	Platelet activating factor
	Ozone
	특정 약물
	Aspirin, NSAIDs
	Allergen

SO₂: Sulphur dioxide, LPS: lipopolysaccharides, NSAIDs: nonsteroidal anti-inflammatory drugs

1) 직접 기관지유발검사

직접 기관지유발검사는 민감도가 높아서 천식 진단을 배제하는 데 특히 유용하다. 반면에 특이도가 낮은 단점이 있기 때문에 검사가 양성으로 나와도 임상적 중요성을 평가하는데 어려움이 있다. 메타콜린은 무스카린 작용제로서 검사 전 천식 가능성이 높은 환자에서 진단적 가치가 높다.

2) 간접 기관지유발검사

간접 기관지유발검사는 특이도가 높고 민감도는 떨어지기 때문에 치료에 대한 반응을 평가하는데 적당하다. 잘 조절되는 상태에서는 천식 환자에서도 음성으로 나올 수 있으며 천식을 배제하는 검사로는 적당하지 않다.

메타콜린 유발검사

- 메타콜린 유발검사는 기도과민성을 측정하는 한 가지 방법이며, 직업성 천식을 평가하는데 유용한 도구이다.
- 메타콜린 유발검사는 천식이 발생할 상대적 위험도를 결정하는데 사용되기도 하며 천식 치료의 반응 평가에 이용된다.
- 폐기능이 기저치의 20%가 저하되는 시점의 메타콜린의 농도를 PC₂₀이라 하며, PD₂₀를 사용하기도 한다.

1. 서론

메타콜린 유발검사는 기도과민성을 측정하는 한 가지 방법이며, 기도과민성은 천식의 진단에 도움이 되는 특징 중의 하나이다. 이는 시간에 따라 변할 수 있지만, 대개는 악화 시에 증가하고 항염증약제를 이용한 치료 시 감소된다. 메타콜린 유발검사는 천식의 가능성이 클 경우 가장 자주 고려되는 전통적인 방법으로서, 천식을 진단하는 것보다 천식의 진단을 배제하는 데 더 유용하다.² 이는 음성 예측력이 양성 예측력보다 더 높기 때문이다.

1) 적응증

- ① 메타콜린 유발검사는 직업성 천식을 평가하는데 유용한 도구이다. 이외에도 천식 발생의 상대적 위험도를 판정하는데 사용되기도 하며, 아직 임상적 의의가 명확하게 확립되지 않았지만 천식 치료에 대한 반응을 평가하는데 사용되기도 한다.
- ② 천식의 가능성이 중간정도인 환자에서는 천식 전문가라 하더라도 메타콜린 유발검사 결과를 정확하게 예측할 수 없다. 메타콜린 유발검사는 천식에 대해 민감도는 매우 좋으나, 양성 예측력은 썩 좋지 않다.
- ③ 천식 증상이 있는 대부분의 사람들은 기관지 과민성을 가지고 있다. 하지만, 기관지 과민성은 만성폐쇄성폐질환(COPD), 울혈심부전, 낭성섬유증, 기관지염 또는 알레르기 비염과 같은 다양한 타 질환에서도 관찰될 수 있다.
- ④ 천식의 임상적 호전은 기도과민성의 개선과 관련되어 있기 때문에, 천식 치료의 임상 연구들은 자주 기도과민성의 변화를 객관적인 결과 지표로 사용한다. 하지만, 임상에서 메타콜린 유발검사를 천식환자의 평가에 사용하는 것은 검사의 유용성에 대한 추가적인 연구 결과를 기다려야 할 것이다.

2) 금기증

메타콜린 유발검사의 금기는 서론에서 언급한 일반적인 기관지유발검사의 금기와 같으며 특이적으로 현재 cholinesterase 억제제를 사용중인 경우(중증 근무력증의 경우)가 금기에 포함된다. 다시 말해서 검사의 질을 낮

출 수 있거나 환자의 위험과 불편을 증가시킬 수 있는 모든 상황이 포함되는데, 이러한 점들은 검사 전 질문지나 인터뷰를 통해서 확인해야 한다. 만일 금기가 있음이 확인되면, 검사를 진행하기 전에 의사나 검사실의 책임자와 의논하는 것이 필요하다.

때때로 메타콜린 유발검사 중에 1초노력호기량(forced expiratory volume at 1 second, FEV₁)의 급격한 감소가 일어날 수 있으며, 이러한 일이 일어날 위험은 낮은 기저 폐기능을 가지고 있는 사람에게서 자주 발생한다. 하지만 폐기능이 나쁘다 하더라도 심각한 부작용의 위험은 낮기 때문에, 낮은 폐기능은 메타콜린 유발검사의 상대적 금기이다. 메타콜린 유발검사의 금기가 되는 폐기능의 수준에는 논란이 있다. 일반적으로 성인에서 기저 FEV₁이 <1.5 L 또는 정상예측치의 <60%를 상대적 금기로 사용하며, National Asthma Expert Panel Report 2판에서는 FEV₁ <65%를 상대적 금기로 권고하였다.

- ① 기도 폐쇄: 기도 반응성은 만성폐쇄성폐질환에서 기저 기도 폐쇄의 정도와 강한 상관관계를 보이기 때문에, 양성 메타콜린 유발검사 해석에 어려움이 있을 수 있다. 천식에 부합하는 임상 양상이 있고, 만일 기저 폐활량 측정에서 기도 폐쇄를 보이며 유의한 기관지확장제 반응이 있다면 (FEV₁ 또는 노력폐활량(forced vital capacity, FVC)의 >12% 그리고 >0.2L 증가), 천식으로 확진할 수 있으며 메타콜린 유발검사는 필요하지 않다.
- ② 폐활량검사의 질: 인정할만한 수준의 메타콜린 유발검사는 적절한 폐활량검사를 수행하는 환자의 능력에 달려있다. 기저 단계에서 적절한 폐활량검사를 수행할 수 없는 환자는 다시 검사 일정을 잡거나 다른 진단 방법을 고려해야 한다.
- ③ 심혈관 질환: 심혈관 질환의 병력 역시 금기가 될 수 있다. 유발된 기도수축에 의한 추가적인 심혈관 스트레스는 조절되지 않는 고혈압 환자나 최근의 심장 발작과 뇌경색이 있던 환자에게서 심혈관 문제를 악화시킬 수 있다. 기도수축이 유발되면 동맥 저산소증과 혈압, 심박출량 그리고 심박수의 변화를 가져올 수 있는 환기-관류 불균형의 원인이 된다.
- ④ 임신과 수유: 메타콜린은 임신부 카테고리 C의 약물이다. 메타콜린이 모유로 배출되는지는 아직 알려지지 않았다.

2. 검사방법

1) 검사 예약시 점검

검사 일정을 잡을 때, 환자는 검사 전 아래 표 3에 있는 약품이나 항목을 피해야 한다. 아래 표 3에 있는 약물들은 기도 반응성을 감소시키기 때문에, 검사 전에 각각의 시간 간격을 지켜 중단해야 한다. 표 4는 기도 반응성을 증가시킬 수 있는 인자들이다.

- 4단원. 비특이 기관지유발검사

표 3. 기도 반응성을 감소시키는 인자들

인자	마지막 투약에서 검사까지 최소 시간 간격
약물	
속효 흡입 베타2 항진제 (isoproterenol, metaproterenol, albuterol, terbutaline)	8시간
속효 흡입 항콜린제 (ipratropium)	24시간
지속 흡입 기관지확장제 (salmeterol, formoterol, tiotropium)	48시간(tiotropium인 경우는 1주 이상)
경구 기관지확장제	
중간 지속 테오필린	24시간
지속 테오필린	48시간
경구 베타2 항진제	12시간
지속 경구 베타2 항진제	24시간
Cromolyn sodium	8시간
Nedocromil	48시간
Hydroxyzine, cetirizine	3일
Leukotriene modifiers	24시간
스테로이드 (경구 또는 흡입)	작용기간은 알 수 없음. 항염증 효과가 없어지기 위해서는 수주간 중단 해야 함.
음식물	
커피, 차, 콜라, 초콜릿	검사 당일

표 4. 기도 반응성을 증가시키는 인자들

인자	작용 시간
환경성 항원에 노출	1~3주
직업적 원인에 폭로	수개월
호흡기 감염	3~6주
대기 오염	1주
흡연	확실하지 않음
화학적 자극	수일에서 수개월

2) 검사 전 준비

- ① 환자에게 검사에 대해 설명한다. 기침이나 가슴 답답함 같은 가벼운 증상을 경험할 수 있음에 대해 설명하여야 한다. 검사 전 증상이 없는 환자들도 때때로 검사에 의해 심한 증상들을 겪을 수도 있음을 경고해야 한다. 메타콜린 기관지유발검사에 대하여 심각한 부작용이 보고된 경우는 없었으나, 다기관 연구에서 검사 후에 기침 (25%), 호흡곤란 (21%), 천명 (10%), 어지러움 (6%), 두통 (2%) 등을 보고하였다.
- ② 검사 전에 소변을 보고 싶은지 환자에게 물어본다.
- ③ 금기증에 해당하는 사항이 없는 지 확인하고 사용 중인 약물에 대해 검토한다. 사전질문지가 이러한 목적에 유용하다.
- ④ 메타콜린의 흡입은 기도수축을 일으킬 수 있으므로, 피검사자와 검사자 모두 이에 대한 고려가 필요하다. 검사 사실에는 심한 기도수축 발생에 대비하여 에피네프린 주사제와 속효 흡입 기관지확장제(albuterol)가 준비되어 있어야 하며, 산소투여가 가능해야 한다.

3) 검사시 주의사항

- ① 검사 대상자는 검사 과정을 이해하고, 신뢰할 수 있는 폐활량검사를 수행해야만 한다.
- ② 검사 대상자는 검사 동안 편하게 앉아 있어야 한다.
- ③ 흉부와 폐에 관한 간단한 신체 검사가 유용하지만, 꼭 요구되는 것은 아니다.
- ④ 검사자가 메타콜린에 노출되는 것을 줄일 수 있도록 적절한 환기가 되는 공간에서 검사가 진행되도록 한다.

4) 메타콜린의 선택과 준비

건조 결정성(crystalline) 파우더로 이용 가능한, 메타콜린(acetyl- β -methylcholine chloride)은 비특이 기관지유발검사에 사용되는 약제이다. FDA에서 승인된 메타콜린(Provocholine)은 100 mg 바이알로 봉인, 포장되어 있다. 봉인되어 미리 포장된 바이알은 건조하거나 냉동할 필요가 없다. 멸균된 식염수가 희석제로 사용되며 0.4% phenol을 첨가하기도 한다. 메타콜린 용액은 약사나 잘 훈련된 사람이 멸균된 방법을 이용하여 혼합하여야 한다. 메타콜린 용액은 검사 전 실내 온도 정도로 따뜻하게 유지되어야 하며, 검사 후 분무기(nebulizer)에 남아있는 메타콜린 용액은 버려야 한다.

5) 투여량 프로토콜

다양한 투여량 프로토콜이 사용되고 있다. 각각 장점과 단점을 가지고 있어서 한가지를 정하여 권고하기는 어렵다. 이 중 대표적인 방법은 2분 상시호흡 방법(2 minute tidal breathing method)와 5회 호흡 유량계 방법(5

breath dosimeter method)이다. 검사결과 보고서는 **부록 표 9**을 참조한다

① 2분 일회호흡 방법 용량조절 프로토콜(2 minute tidal breathing dosing protocol)

캐나다 흉부학회에 의해 제안된 프로토콜을 기반으로 하고 있다.

- i. 멸균된 바이알에 있는 10개의 2배수 농도의 메타콜린을 준비하여(희석액: 0.03, 0.06, 0.125, 0.25, 0.50, 1, 2, 4, 8, 16 mg/ml) 사용 전까지 냉장 보관한다. 희석액 단계의 사용은 선택적이며, 간소화된 투여량 방식을 사용할 수도 있다.
- ii. 검사 전에 혼합액이 실내 온도까지 따뜻해질 수 있도록, 검사 시작 30분전에 냉장고에서 바이알을 꺼낸다. 멸균된 주사기를 이용하여, 처음 농도(희석액 또는 최저)의 3 ml를 분무기에 넣는다.
- iii. 기저 폐활량을 측정하고, FEV₁의 20% 감소를 나타내는 목표 FEV₁을 계산한다. (기저 FEV₁ × 0.8)
- iv. 건조 압축 공기를 분무기에 사용하고, 압력 조절을 50 lb/in²에 맞춘다. 유량계의 정확도는 로터미터(rotameter)로 확인해야 한다.
- v. 2분 동안 환자가 긴장을 풀고 조용히 숨쉬 수 있도록 한다. 코집계를 해주고 타이머를 2분에 맞춰 놓는다.
- vi. 환자가 마우스피스에 입을 물고, 분무기를 똑바로 잡을 수 있게 해준다. 마우스피스를 사용하지 못하는 경우 코집계와 안면 마스크는 유효한 대안이 될 수 있으며 일부 사람들에게서는 더 쉬울 수 있다. 타이머를 맞추고 분무기를 시작한다.
- vii. 환자를 보면서 숨을 조용히 편하게 쉬고 있는지, 분무기가 기울어지지 않았는지를 확인한다. 정확히 2분이 지나면, 유량계를 끄고, 환자에게서 분무기를 떼낸다.
- viii. 분무기를 끝낸지 30~90초 이후 FEV₁을 측정한다. 제대로 측정된 FEV₁을 각각의 시점에서 얻어야 한다. 반복적으로 측정할 필요는 없다. 각각의 농도에서 3~4번 이상의 검사를 시행하지 않도록 하고, 3분 이상 걸리지 않도록 한다. 메타콜린의 누적 효과를 상대적으로 일정하게 유지하기 위해서는 두 연속된 농도의 시작점 사이의 시간간격이 5분으로 유지되어야 한다.
- ix. 각각의 농도에서, 제대로 측정된 가장 높은 FEV₁을 보고한다.
- x. 만일 FEV₁이 20% 이하로 감소한다면, 분무기의 약품을 비우고, 3 ml의 다음 농도를 넣어주고, v~viii 과정을 반복한다.
- xi. 만일 FEV₁이 기저치보다 20% 이상 감소한다면(또는 가장 높은 농도까지 검사하였다면), 더 이상의 메타콜린은 주지 말고, 환자의 증상을 기록하고, 흡입 속효 기관지확장제를 주고, 10분을 기다린 뒤에, 폐활량검사를 다시 한다. 만일 성대 기능 이상이 의심된다면, 전체 흡기 및 호기 기류 용적 루프 검사(full inspiratory and expiratory flow volume loop)를 기관지확장제를 주기 전에 시행될 수 있다.

② 5회 호흡 유량계 프로토콜(5 breath dosimeter protocol)

동영상 참조 (<https://www.youtube.com/watch?v=UAQtwHFf-eQ>)

이 방법은 1975년 NIH, Institute of Allergic and Infectious Diseases에 의해 처음으로 표준화되었고, 유럽 호흡 기학회에서 대안 방법으로 제시되었다. 이는 연구에서 많이 사용되는 방법이다.

- i. 유량계(dosimeter)를 설정하고 확인한다.
- ii. 다섯 가지 농도의 메타콜린을 멸균된 바이얼에 준비하여 (희석액 : 0.0625, 0.25, 1, 4, 16 mg/ml) 홀더에 위치시키고, 냉장 보관한다. 32 mg/ml은 선택적으로 사용하도록 하며, 이는 연구나 역학 연구 등에 주로 사용된다.
- iii. 검사 시작 30분전에 냉장고에서 바이얼을 꺼내어, 사용 전 실내온도에 맞춰 따뜻해지도록 한다. 멸균 주사기를 이용하여, 2.0 ml의 첫 농도를 분무기에 넣어준다. (일부 분무기는 적절한 에어로졸을 만들기 위하여 2.0 ml보다 더 많은 양을 요구할 수도 있다.)
- iv. 환자는 검사 중 앉아 있어야 한다.
- v. 기저 폐활량검사를 시행한다.
- vi. 분무기가 잘 작동하고 있는지를 확인하기 위하여 유량계 원통코일(dosimeter solenoid)을 열어준다.
- vii. 환자에게 분무기를 입에 물고 똑바로 들고 있도록 한다. 환자가 흡입과 숨을 참는 것을 잘 하고 있는지 그리고 분무기가 기울어지지 않는지를 확인한다. 환자는 분무기 흡입 중에는 코집계를 하고 있어야 한다.
- viii. 상시호흡을 반복하며 호기 마지막에 기능잔기용량에 도달하면 환자가 천천히 깊게 분무기로부터 흡입할 수 있도록 한다. 흡입이 시작되면 유량계를 작동시키는데, 유량계가 이 과정을 자동으로 행할 수도 있다. 환자가 천천히 흡입을 할 수 있도록 격려하고 (흡입을 완료하기까지 약 5초), 다음 5초간 숨을 참도록 하여 총폐용량에 도달하게 한다.
- ix. 단계를 다섯 번 흡기용량까지 흡입하는 동안 다섯 번의 흡입을 시행하는데 총 2분 이상 걸리지 않도록 한다.
- x. 분무기로부터 5번의 흡입 이후 30초와 90초에 FEV₁을 측정한다. 각각의 시점에 용인될 수 있는 수준의 FEV₁을 얻도록 한다. 이는 반복적인 시도를 필요로 할 수 있다. 각각의 농도에서 3~4번 이상의 검사를 시행하지는 않도록 하고, 3분 이상 걸리지 않도록 한다. 메타콜린의 누적 효과를 상대적으로 일정하게 유지하기 위해서는 두 연속 농도의 시작점 사이의 시간간격이 5분으로 유지되어야 한다.
- xi. 각각의 농도에서, 인정할만한 방법으로 시행된 가장 높은 FEV₁을 보고한다.
- xii. 만일 FEV₁이 20%보다 낮게 떨어진다면, 분무기를 비우고 건조한 다음, 분무기 노즐을 건조하기 위하여 유량계를 한번 작동시킨다. 2 ml의 다음 높은 농도를 넣어주고, vii~x 과정을 반복한다.

xiii. 만일 FEV₁이 기저치보다 20% 이상 감소한다면 (또는 가장 높은 농도가 주어졌다면), 더 이상의 메타콜린은 주지 말고, 증상과 징후를 기록하고, 흡입 알부테롤(albuterol)을 주고, 10분을 기다린 뒤에, 폐활량검사를 반복한다.

3. 해석

- 1) 검사결과로 가장 많이 사용되는 것은 FEV₁으로, 검사가 쉽고 재현성이 뛰어나다. 흡입 약제 농도와 FEV₁으로 용량-반응곡선을 구할 때는 X축에 흡입약제 농도를 log scale로, Y축은 FEV₁의 감소 비율을 숫자로 표현한다. 용량-반응 곡선에서 FEV₁이 기저치의 20%가 저하되는 시점의 메타콜린의 농도를 PC₂₀ (provocation concentration causing a 20% fall in FEV₁)이라 하며 이를 기관지 과민성의 지표로 삼는다.
- 2) PC₂₀가 1.0 mg/mL 미만인 경우 특이도와 양성 예측도가 거의 100%에 가까우므로 천식을 확진할 수 있다. PC₂₀가 8~16 mg/mL 미만인 경우에는 기도과민성이 있는 것으로 간주한다. PC₂₀가 16 mg/mL 이상인 경우 현증 천식은 없을 가능성이 매우 높다.
- 3) 메타콜린 유발검사에서 흡입 시작부터의 모든 양이 축적되어 효과가 나타나므로, 농도 대신에 축적 용량을 이용하여 표현하기도 하며 이 때 기관지수축이 유발된 시점까지의 축적된 메타콜린용량을 PD₂₀ (provocation dose causing a 20% decline in FEV₁)으로 표시하기도 한다.³

만니톨 유발검사

- 만니톨 유발검사는 간접 유발검사의 일종으로 특이도가 높으며 간편하고 안전하다는 장점이 있으나 민감도는 낮다.
- 만니톨 635 mg 이하에서 FEV₁이 기저치에 비해 15%이상 감소하였을 때 만니톨에 대한 기도과민성을 보인다고 판단한다.

1. 서론

- ① 간접 유발검사 중 하나인 만니톨 유발검사는 염증세포를 자극하여 매개체를 유리시켜 기도 평활근 세포에 작용한 반응을 평가하는 간접 기관지유발검사의 일종이다.
- ② 천식을 진단함에 있어 메타콜린을 이용한 검사보다 특이도가 높으며 호산구 증가나 기도 염증 상태를 반영하는 호기산화질소(exhaled nitric oxide, eNO) 수치의 증가와 밀접한 관계가 있다. 따라서 천식의 의심할만한 증상이 있는 환자에게서 만니톨 유발검사 결과 검사 양성 나왔다면 진행중인 기도 염증을 동반하는 천식이 있음을 의미하며 항염증 치료가 필요하다고 판단할 수 있다.⁴
- ③ 만니톨 유발검사는 특이도가 높으며 간편하고 안전하다는 장점이 있는 반면 비교적 민감도가 낮아서 천식환자의 약 60% 정도만을 발견할 수 있다는 단점이 있다. 그러므로, 만니톨 유발검사서 음성으로 나왔다고 해서 천식이 아니라고 단정지을 수 없다.⁴
- ④ 메타콜린, 히스타민 등은 기관지 평활근 수용체를 직접 자극하여 기관지수축을 유도하지만 고장 식염수, 운동부하, 아테노신, 만니톨과 같은 간접 자극제는 비만 세포 등을 자극하여 염증 매개체들을 분비하고 이들 물질들이 강력한 기관지 수축제로 작용하여 기관지 평활근의 수축을 일으켜 기관지 내경의 감소를 유발한다.^{5,6} 만니톨은 당알콜(C₆H₈(OH)₆)로써 체내에 흡수되지 않으며 따라서 기도로 흡입되었을 때 기도표면에 남아있어 삼투압을 증가시킨다. 삼투압 차이에 의해 세포 안의 물은 세포 밖으로 이동하게 되며 결과적으로는 세포 수축을 일으킨다.

2. 검사방법

1) 검사 전 준비

① 중단 약제

천식의 치료에 사용되고 있는 여러 약제가 기관지유발검사에 영향을 주므로 검사 전에 이러한 약물을 중단하여야

- 4단원. 비특이 기관지유발검사

한다. 중단해야 하는 약물은 메타콜린 유발검사의 경우와 같으며, 검사 전에 각각의 시간 간격을 지켜 끊어야 한다.

② 19개의 만니톨이 들어있는 캡슐과 흡입용 장치가 들어있는 흡입용 만니톨 키트를 준비한다.

2) 검사 과정과 기록지 준비(부록 표 10)

- ① FEV₁을 측정하여 정상예측치의 70%를 초과한 사람에게 한하여 검사를 진행한다.
- ② 0mg 캡슐을 흡입한 후 FEV₁을 측정한다. 두 번 측정하여 더 높은 수치를 기저 FEV₁으로 정한다.
- ③ 만니톨 캡슐 흡입 후 5초 동안 숨을 참도록 교육하고 60초 후에 FEV₁을 두 번 측정하여 높은 값을 결과값으로 취한다.
- ④ 측정된 FEV₁이 기저 FEV₁에 비해 15% 감소하거나 또는 연속 측정된 FEV₁이 10% 이상 감소할 때까지 만니톨의 양을 5, 10, 20, 40, 2×40, 4×40, 4×40, 4×40 mg으로 증량하면서 투여한다. (단, 총 누적 만니톨 용량은 635 mg이 넘지 않도록 한다.)
- ⑤ 최대 검사 시간은 35분을 넘기지 않도록 한다.

3. 해석

- 1) 반복검사 시 측정된 만니톨 용량 635 mg 이하에서 FEV₁이 기저치에 비해 15%이상 감소하였을 때 만니톨에 대한 기도과민성을 보인다고 판단한다.
- 2) PD₁₅: FEV₁이 기저치의 15%만큼 감소되는 시점에서 그 때까지 흡입된 만니톨 용량(mg)을 PD₁₅라고 정의한다.
- 3) 반응 용량 비율 (Response dose ratio: RDR)
FEV₁이 기저치의 15%만큼 감소되는 시점의 FEV₁/만니톨 용량(mg)을 RDR로 정의한다.
예시) 만니톨 635 mg 사용 후 FEV₁이 기저치에 비해 15% 감소했다면 PD₁₅=635mg, RDR=0.024%/mg (15%/635 mg)으로 표기한다.
- 4) 만니톨 유발검사는 호산구성 기도염증에 의한 천식을 의미하고 중등도의 민감도(60%)를 보이기 때문에 잘 치료되는 천식, 경증 천식, 비 호산구성 천식에서는 음성결과를 보일 수 있다. 또한 검사시간이 35분을 초과하거나 검사 전 무리한 운동을 한다면 위음성 결과가 나올 수 있고 흡연과 만성기침은 만니톨에 대한 반응을 높인다고 알려져 있다. 정상군에서 만니톨 유발검사를 시행한 경우 FEV₁ 감소량이 보통 10%를 넘지 않는다.
- 5) 부작용: 약 83%의 피검사자들이 검사 도중 기침을 경험하나, 검사를 중단해야 할 정도의 심한 기침은 1.3% 정도로 일어난다. 이 외 부작용으로 두통(6.1%), 인후통(2.6%) 등이 나타날 수 있다.

운동 유발검사

- 운동 유발검사는 기도 냉각과 건조의 발생에 의한 비특이 기도과민성 발생을 확인할 수 있는 간접 유발검사방법이다.
- 운동 유발검사의 금기증 및 사전 중단 약물은 기존의 기관지유발검사와 동일하다.
- 운동 유발검사는 트레드밀 혹은 자전거 에르고미터를 이용하여 진행될 수 있으며, 적절한 프로토콜에 따라, 안전한 시설과 인력 조건에서 시행되어야 한다.
- 기저 FEV₁의 15%이상의 감소가 유발되는 경우 양성으로 판정한다.

1. 서론

- 운동은 대다수의 천식환자에서 기도 수축을 유발하며, 운동으로 유발되는 기도 수축은 운동유발 천식(exercise-induced asthma: EIA) 또는 운동유발 기관지수축(exercise-induced bronchoconstriction, EIB)이라고 불린다.
- EIB의 중증도를 결정하는 주된 인자들로 운동으로 인한 폐환기 및 흡입된 공기의 수분함량과 온도가 있는데, 운동으로 인해 다량의 공기가 짧은 시간 동안에 수분을 손실하면, 온도 변화(냉각과 재가열) 및 탈수에 의한 삼투성 영향으로 기도 수축이 발생한다.
- 기도 냉각과 건조는 히스타민(histamine)과 류코트리엔(leukotriene) 등 염증매개체의 유리를 자극하는 것으로 여겨지며, 결국 운동 자체도 항염증제 및 기타 천식 처방의 효과를 평가하는 중요한 유발 방법이다.⁴

1) 적응증

- ① 운동 중 혹은 운동 후에 숨가쁨의 병력이 있는 천식환자들에서 EIB의 진단을 위한 유발검사로 이용된다.
- ② 특정 직업군(군대, 경찰, 소방서 등 위급상황에 대처하는 직종)에서 운동과 관련한 천식 의심 증상으로 인해 작업 능력이 저해된다면 EIB 검사가 필요하다.
- ③ EIB를 예방하기 위해 처방된 약물의 효과를 판단하고 최적 용량을 결정하고, 급성(예: cromolyn sodium 및 nedocromil sodium) 혹은 만성(steroid 및 류코트리엔 길항제) 항염증 치료의 효과를 평가하기 위해 사용된다.

2) 금기증

금기는 서론에서 언급한 일반적인 기관지유발검사와 같다. 이에 더하여, 불안정한 허혈성 심장 질환 혹은 악성 부정맥의 경우 검사를 시행하면 안 된다. 정형외과적 문제가 있는 경우 기도 수축이 유발될 정도의 적절한 운동을

못할 가능성이 있다. 60세 이상 환자에서는 최근 1년 이내 기록된 12극 심전도를 확인해야 한다.

2. 검사방법

1) 검사 전 준비

환자는 편한 복장과 운동화를 갖추고 가벼운 식사를 해야한다. 기도 반응성을 감소시키기 때문에 중단해야 하는 약물은 메타콜린 유발검사의 경우와 같으며, 검사 전에 각각의 시간 간격을 지켜 끊어야 한다. 이외의 항히스타민 약제는 48시간 동안 중단되어야 한다. 직전의 운동이 운동 시 기도수축에 예방적 효과를 가져올 수 있으므로, 심한 운동은 적어도 검사 4시간 전부터는 금지되어야 한다. 반복 검사간의 간격도 최소한 4시간을 넘겨야 한다.

2) 검사과정

① 운동 양식

선호되는 운동 양식은 모터로 작동되는 속도 및 운동 강도의 조절이 가능한 트레드밀 혹은 전자기형식의 제동이 가능한 자전거 에르고미터이다. 최소 3극 심전도 기록을 통해 심박수를 측정하며, 이를 대체하여 맥박 산소측정기(pulse oximeter) 혹은 기타 장비를 사용하기도 한다. 관상동맥질환의 고위험군에 대해서는 12극 심전도의 기록이 필요하다.

② 흡입 공기

코로나를 쉬면 기도의 수분손실이 덜하므로, 코집계를 한 후 섭씨 25도 미만의 건조한 공기를 흡입한다. 적절한 흡입 공기의 수분함량은 10 mg/L 미만이어야 한다.

에어컨이 설치된 방에서 실내 온도를 섭씨 20~25도, 상대 습도를 50% 미만으로 설정한다. 또는 의료용 압축 가스 공급원에서 탈크가 없는 기상풍선(meteorological balloon)을 이용하여, 마우스피스와 쌍방 호흡밸브를 통해 흡입하면 된다. 흡입된 가스의 온도와 습도는 측정 이후 기록한다.

③ 트레드밀 프로토콜⁷

- i. 트레드밀 속도와 등급(grade)은 총 6~8분 동안 운동하는 것을 목표로, 거의 최대치에서 4~6분을 유지하도록 선택하며, 12세 미만 아동에서는 6분 동안, 12세 이상 아동 및 성인에서는 통상적으로 8분 동안 운동을 지속한다.
- ii. 낮은 속도와 등급에서 시작해서 점진적으로 증가시키며, 처음 2~3분에 예상 최대심박수(220-연령)의 80~90%에 도달하도록 한다.
- iii. 운동 등급의 모니터링에는 심박수보다는 환기량을 이용하는 것이 좋으며, 환기량은 예측 최대환기량

- (maximal voluntary ventilation : FEV₁의 35배수로 계산됨)의 40~60%에 도달해야 한다. 신체 적합성 (physical fitness)과 체중이 트레드밀의 속도와 등급에 강력한 영향을 미친다.
- iv. 빠르지만 편안한 속도로 재빨리 시작하여 목표 심박수 혹은 환기량에 도달할 때까지 트레드밀 속도와 경사를 증가시키며, 이를 목표 환기량(혹은 심박수) 달성 이후 최소 4분간 유지한다.
 - v. 검사는 환자가 목표 환기량 혹은 심박수에서 최소 4분 간 운동을 진행했을 때 종결하는데, 대개 6~8분의 운동이 필요하며, 환자에 의해 언제라도 종결될 수 있다.
- ④ 자전거 에르고미터 프로토콜⁷
- i. 자전거 운동에 있어 목표 환기량을 달성하기 위한 목표 운동속도는 운동량(work rate)과 산소 소비량, 그리고 환기량과 산소 소비량을 잇는 계산식에서 결정할 수 있다. 목표 운동량(work rate)은 $(53.76 \times \text{measured FEV}_1) - 11.07$ 로 계산할 수 있으며, 단위는 와트(watts)로 표시한다.
 - ii. 첫 1분에 목표의 60%, 2분째에 75%, 3분째에 90%, 4분째 100%에 도달하도록 한다.
 - iii. 목표 분당 환기량이 유지되도록 하기 위해 운동량은 운동의 마지막 수분간 감소시키며, EIB를 초래하는 결정적 인자는 수분손실의 속도이므로, 최대 운동 강도에 미달되는 운동 강도에서 운동시간이 길어질 경우 불응성이 발생할 수 있으므로 환자가 목표 심박수 혹은 환기량에 4분내에 도달해야 한다.
 - iv. 검사는 환자가 목표 운동량에서 6분간 운동했을 때 종결되며 환자는 언제라도 검사를 중단시킬 수 있다.
- ⑤ 폐 가스 교환
- 운동 중 폐가스 교환의 측정은 필수는 아니다. 분당 환기량을 이용하여 기도 수축의 자극 정도를 평가할 수 있으며, 산소 섭취량의 측정으로 운동 강도를 예측 최대 산소 섭취량에 대한 분획의 형태로 정량화 할 수 있는데, 이는 특히 결과가 음성일 경우 중요하다.
- ⑥ 안정성
- i. 의사 혹은 경험이 많은 기사가 운동 중 및 회복기에 환자를 관찰하여야 하며 심한 쉼썩거림, 흉통, 균형을 잃는 등의 지나친 스트레스 여부 및 심전도 이상, 혈압 감소, 산소포화도의 심각한 저하 등의 위험 징후 유무를 확인하여야 한다. 누가, 어떠한 변수를 모니터링할 것인지에 대한 선택은 유해 반응 발생의 위험성 정도에 달려 있다.
 - ii. 저위험군 환자에서는 문제 발생 시 면허가 있는 의사가 즉각적으로 달려올 수 있다는 조건하에서 경험 많은 기사가 검사를 담당할 수 있다. 이때 기사는 호흡곤란의 여러 징후를 감지할 수 있어야 하며 중요 부정맥의 발생을 확인할 수 있어야 한다.
 - iii. 고위험군 환자에서는 의사가 직접 검사 전체를 감시해야 한다. 어떤 경우라도 응급카트는 즉각 사용할 수 있어야 한다. 맥박산소측정기에 의한 동맥혈 산소포화도의 측정이 운동 검사 내내 필요하며, 혈압계를 통한 혈

● 4단원. 비특이 기관지유발검사

압의 측정은 필수는 아니지만 유용하다.

- iv. 모든 환자의 심전도 모니터링이 정확한 심박수 측정을 위하여 필요하며, 고위험군에서는 12극 심전도 모니터링이 필요하다.
- v. 중증 기관지수축이 발생하는 경우 빠른 산소 공급 및 기관지확장제 분무 투여로 빠르고 성공적으로 치료된다. 이를 위해 적절한 장비가 신속히 사용할 수 있도록 갖춰져야 하며, 맥박산소측정기를 환자에게 장치해야 한다.
- vi. 정상보다 낮은 폐기능을 가진 경우 중증 반응이 발생할 수 있으므로 검사가 허용되는 최소한의 FEV₁을 확실하게 정해야 한다. 전반적으로 FEV₁이 정상예측치 75% 이상인 경우 비교적 안전하게 검사를 시행할 수 있다.
- vii. 적절한 운동 후 검사 시점은 운동 중단 후 5, 10, 15, 20 및 30분째이다. 운동 후 1분 또는 3분째 측정처럼 좀 더 조기에 측정하기도 하는데 중증 EIB는 간혹 운동 중단 직후에도 존재하기 때문이다. FEV₁이 최저점에서 기저수준 이상으로 회복되면 폐활량검사는 운동 후 20분째 종결한다. 환자가 호흡곤란을 호소하는 경우 혹은 환자가 검사실을 떠날 때까지도 FEV₁이 기저수준의 10% 이내까지 회복되지 않는 경우 속효 기관지확장제를 투여할 수 있다.

3. 해석

- ① FEV₁이 반응성 평가의 일차 결과 변수이며, 이의 측정을 위한 폐활량검사는 운동 전후 연속적으로 앉은 자세에서 진행되어야 한다.
- ② 최소 2번, 가능한 3번의 타당한 측정값을 각각의 검사 시기에 얻어야 하며 최고 및 두번째로 높은 FEV₁간의 차이는 0.2L 이내여야 한다. 타당한 FEV₁의 최고수치를 각 검사 시점의 대표값으로 선택한다.
- ③ 호기 시간은 2-3초로 제한해야 하며, 모든 경우에 있어 환자들을 매우 적극적으로 끝까지 숨을 들이마시도록 지도하는 것이 매우 중요하다.
- ④ EIB는 운동 후 각각의 시점에 측정되는 FEV₁을 운동 전 기저 FEV₁의 %로 변환해서 판정하는데, 기저 FEV₁의 90%수준으로 감소하는 경우에는 일반적인 비정상 반응으로 간주한다. 15% 감소가 EIB에 좀더 진단적인 수치로 간주되기도 하는데, 특히 야외에서 운동검사가 행해지는 경우 그렇다.
- ⑤ 검사결과는 적절한 보고양식으로 표기할 수 있다(부록 표 11).

참고문헌

1. Guidelines for methacholine and exercise challenge testing, 1999. This official statement of the American Thoracic Society was adopted by the ATS Board of Directors, July 1999. Am J Respir Crit Care Med 2000;161:309-29.
2. Popa V. ATS guidelines for methacholine and exercise challenge testing. Am J Respir Crit Care Med 2001;163:292-3.
3. Cockcroft DW. Methacholine Challenge PD₂₀ versus PC₂₀. Ann Am Thorac Soc 2015;12(3): 291-2.
4. Porsbjerg C, Sverrild A, Backer V. The usefulness of mannitol challenge test for asthma. Expert Rev Respir Med 2013;7:655-63.
5. Sverrild A, Porsbjerg C, Backer V. The use of inhaled mannitol in the diagnosis and management of asthma. Expert Opin Pharmacother 2012;13:115-23.
6. Beckert L, Jones K. Bronchial Challenge Testing. In: Sapey E editor. Bronchial Asthma - Emerging Therapeutic Strategies. Rijeka: InTech; 2012. p. 19-36. Available at: <http://www.intechopen.com/books/bronchial-asthma-emerging-therapeutic-strategies/challenge-testing-in-the-diagnosis-of-asthma>.
7. Crapo RO, Casaburi R, Coates AL, Enright PL, Hankinson JL, Irvin CG, et al. Guidelines for methacholine and exercise challenge testing-1999. This official statement of the American Thoracic Society was adopted by the ATS Board of Directors, July 1999. Am J Respir Crit Care Med 2000;161:309-29.

5단원

기타 검사

최대환기량(maximum voluntary ventilation) ·····	83
최고호기기류속도(peak expiratory flow rate) ·····	84
FEV ₆ ·····	88

- 5단원. 기타 검사

5단원. 기타 검사

- 약어표

FEV ₆	Forced expiratory volume at 6 seconds	6초간노력호기량
MVV	Maximum voluntary ventilation	최대환기량
PEF	Peak expiratory flow	최고호기기류
PEFR	Peak expiratory flow rate	최고호기기류속도
TLC	Total lung capacity	총폐용량
VC	Vital capacity	폐활량

최대환기량(maximum voluntary ventilation, MVV)

최대환기량은 자발적으로 최대한 노력으로 1분간 호흡할 수 있는 호흡량으로, 운동능력 및 신경근육질화에 의한 폐기능 변화를 평가하는 데 유용하다.

1. 서론

자발적으로 최대한 노력하여 1분간 호흡할 수 있는 호흡량으로, 12초 또는 15초간 검사하여 1분 간의 양으로 환산한 값을 의미한다.

2. 검사방법

- 1) 검사자는 대상자에게 적절한 설명을 해 주고, 직접 시연해 보이는 것이 좋다. 대상자는 코클립을 낀 상태로 앉아서 검사를 받게 된다.
- 2) 대상자에게 최소 3회의 안정 상시호흡(resting tidal breath)을 측정된 후, 최대한 깊게, 폐활량(vital capacity, VC)의 50% 정도로 빠르게(분당 90~110회) 숨을 쉬게 한다.
- 3) MVV를 제대로 측정하려면, 분당 90~110회 정도의 호흡에서 일회호흡량이 VC의 50% 정도가 되도록 호흡을 유도해야 한다.¹
- 4) 대상자는 최소한 2회의 제대로 시행된 검사를 받아야 한다. 만약 두 측정값 간의 차이가 20% 이상이면, 추가적인 검사를 고려할 수 있다.
- 5) 검사 결과 선택: 가장 높게 나온 측정값과 호흡수를 기록한다. $\text{MVV}/(40 \times \text{FEV}_1)$ 이 0.80 미만이면 FEV₁보다 MVV가 상대적으로 작은 것을 의미한다. 질병상태나 협조 불량인 경우에 이런 결과가 나올 수 있다.

3. 정도관리

MVV 측정을 위한 폐활량측정기는 최대 12 L/sec 에서, 0 에서부터 4 Hz 이상의 균일한($\pm 10\%$) 진폭-빈도 반응(amplitude-frequency response)을 가지고 있어야 한다. 측정을 위한 시간은 12초~15초로 해야 한다.²

MVV는 $\pm 10\%$ 또는 $\pm 15 \text{ L/min}$ 의 정확도로 측정되어야 한다.

4. 해석

MVV는 환자의 노력과 협조가 필요하며, 운동능력 평가 및 근육이상이나 신경질환 등에 의한 폐기능을 검사하는 데 유용하다.

최고호기기류속도(peak expiratory flow rate, PEFr)

최고호기기류(peak expiratory flow, PEF)는 숨을 최대한 들이쉬는 상태에서 힘껏 내쉴 때 최고유속을 말하며, 천식 관리에 유용하다.

1. 서론

PEFR은 숨을 최대한 들이쉬는 상태에서 힘껏 내쉴 때 최고유속을 말한다. PEFr 측정기(peak flow meter)는 비용이 저렴하고 휴대가 가능한 장비로, 환자가 자가로 기류 제한을 매일 객관적으로 측정하기에 적절하다.³ PEFr 변동은 천식 관리에 있어 변화나 경향을 자기감시하는 데 유용하며,⁴ 이 검사법을 통해 주관적인 환자의 증상과 중증도를 객관적으로 평가할 수 있다. 물론 PEFr 변동 유무를 확실하게 하기 위해서는 폐활량검사와 같은 신뢰성 높은 검사가 추가로 필요하다. 대부분의 성인과 5세 이상 어린이라면 PEFr을 정확하게 측정할 수 있다.

· 유용성

- ① PEFr은 환자의 노력이나 숙련도에 따라 측정값이 달라져서⁵ 천식의 진단에는 제한적이다. 그러나, 기관지확장제 흡입 후 PEFr의 유의한 증가는 천식의 진단에 도움이 될 수 있다.
- ② 천식 관리에 있어서 천식 증상뿐 아니라 PEFr 측정값의 변동에 기반한 천식치료 행동지침을 수행할 수 있다.^{3,6} PEFr의 변동에 따른 행동지침을 따를 때 환자는 본인의 PEFr의 최대값을 알아야 한다. 또한 PEFr 측정기 사용법을 잘 숙지하고 그 결과를 해석하여 행동지침을 적용하는 방법을 이해하여야 하며,⁷ 천식치료에 PEFr 모니터링을 포함하려는 의지가 있어야 한다.
- ③ 중등증 및 중증의 지속성 천식 환자, 기도 폐쇄나 천식 증상의 악화에 대한 인지능력이 떨어지는 경우, 환경이나 직업적인 노출에 의한 시간적 연관성을 평가할 때 PEFr을 매일 측정하는 것이 도움이 될 수 있다.⁸ 주기적으로 PEFr을 측정하는 것은 치료에 대한 반응을 평가할 때도 유용하다.

2. 검사방법

PEFR은 서있거나 앉은 상태에서 TLC까지 숨을 들이쉬는 후 숨을 힘껏 내쉬면서 측정한다. 세 번을 시행하여 그 중 가장 큰 측정값을 기록한다. 세 번의 측정값 중 가장 큰 2회의 PEFr은 40 L/min 이내로 차이가 있어야 하며 그렇지 않을 경우 두 번 추가로 측정한다.

- 1) PEFr 측정기의 지표를 0점에 위치시킨다.

- 2) 서있거나 앉은 상태로 목을 굽히지 않고 중립자세를 취한다. 코를 막을 필요는 없다.
- 3) TLC까지 숨을 들이쉰다.
- 4) 마우스피스를 입에 문다.
- 5) 한번에 불 수 있는 만큼 빠르게 내쉰다. 이 때 입과 마우스피스 사이에서 공기가 새어나가지 않도록 주의한다.
- 6) 시행한 측정치를 기록한다.
- 7) 이 과정을 두 번 더 시행하고 3번 중 가장 점수가 높은 것을 기록한다.



그림 1. PEFr 측정

3. 해석

1) 결과에 영향을 미치는 요인

① 환자의 노력

PEFR 측정에서 흡기 시 최대 폐포압에 도달하도록 폐를 팽창시키고 최대호기에 도달하도록 호기근육을 작동시키는 것은 환자의 노력에 달려 있으므로, 정확한 기구 사용 방법을 습득하는 것이 필요하다.

② 기도 직경과 폐용적

흉곽 내 기도의 길이와 직경은 성장하면서 폐용적과 함께 증가한다. 따라서 PEFr은 나이와 키에 영향을 받는다. 또한 기도 직경과 탄성도는 목의 굽힘이나 편에 따라 영향을 받으므로, PEFr을 측정할 때 목을 굽히거나 펴지 않은 중립 상태에서 시행하여야 한다.

③ 일중변동

PEFR 일중변동은 정상인에서는 10% 미만이고, 천식 환자는 일중변동이 증가한다(기준 제시: 2주간 >10%, 또는 치료 4주 후 >20%). 일반적으로 PEFr은 밤에 감소하여 아침에 최저가 되고 오후부터 증가하여 저녁에 최대값을 보인다.

• 5단원. 기타 검사

④ 병태생리학적 인자

흉부 확장을 제한할 수 있는 기도 폐쇄, 신경계질환 등에 영향을 받을 수 있으며, 제한 환기장애를 보이는 질환의 경우에도 영향을 줄 수 있다.

2) 천식의 진단

① PEFR은 아침에 약을 복용하기 전 시행하여 이 측정값을 최소값으로 하고, 저녁에 한번 더 시행하여 이를 최대값으로 한다. PEFR의 일중 변동치는 하루 동안의 최대값과 최소값의 차이를 하루 PEFR의 평균으로 나눈 백분율로 표현하여, 일일 2회 측정 시 일중 변동치 >10%, 또는 기관지확장제를 흡입한 후 기관지확장제 흡입 전의 PEFR에 비해 20% 이상 향상 또는 60L/min 증가가 있을 때 천식을 진단할 수 있다.

$$\text{일중 최고호기류(PEF) 변동치} = \frac{\text{최대PEF} - \text{최소PEF}}{(\text{최대PEF} + \text{최소PEF})/2} \times 100$$

② 다른 방법으로는 1주에 걸쳐 기관지확장제 투여 전 아침 측정값 중에서 최저치를 최고치의 백분율로 표현한 것으로, 이 방법은 하루 1회 측정으로 편하며 기도와민성을 잘 반영하여 임상에서 기도 불안정성의 좋은 지표로 알려져 있다. 이 측정값이 최고치의 80% 미만으로 저하시 기도 불안정성으로 진단한다.

3) 천식의 모니터링

① PEFR의 기준치

- i. PEFR은 성별, 인종, 나이, 키에 영향을 받는다. 여러 자자에 의해 보고된 성인의 PEFR 기준치는 평균값과 표준편차 모두 상당한 차이를 보이며, 이는 정상인 기준의 차이와 데이터를 분석하는 방법의 차이에서 기인한다.
- ii. 따라서 PEFR은 환자의 최대값을 기준으로 비교하여야 한다. 최대값의 기준치는 환자가 증상이 없고 적절한 치료 중으로 천식이 잘 조절된 상태에서 2주 동안 하루 2~4회 PEFR을 측정하여 그 중 최대값으로 정한다.⁹
- iii. 그 환자의 정상 PEFR의 범위는 최대 기준치의 80~100%로 정의한다.
- iv. 각 환자의 PEFR 기준치는 소아에서는 성장을 고려하여 매년 재평가하여야 하고, 소아와 성인 모두에서 병의 진행을 고려하여 재평가하여야 한다. 또한, PEFR 측정을 폐활량기 측정과 주기적으로 비교해 보아야 한다.¹⁰ 적어도 1년에 1회 이상, 또는 PEFR 측정값이 믿기 어려운 경우에는 언제든지 PEFR과 폐활량검사 결과를 비교해 보아야 한다.

② 천식 조절 모니터링

- i. PEFR은 천식의 진단보다는 천식 환자의 천식 조절 정도를 감시하는 데 더 유용하다. 증상을 감지하는 능력이 떨어지는 환자에게 PEFR에 기반한 자기감시는 천식의 예후를 향상시킨다.⁸
- ii. PEFR은 얼마나 빠른 속도로 숨을 내쉴 수 있는지 측정하는 방법이다. 천식 조절이 안되면 기도는 점점 좁아지기 시작한다. 증상이 나타나기 전에 기도가 좁아지고 있다는 것을 PEFR이 줄어드는 것을 미리 확인할 수 있어서, 조기에 투약하면 천식 악화를 빨리 멈추게 할 수 있고 심각한 증상 악화를 예방할 수 있다.
- iii. 또한 PEFR은 천식을 악화시키는 인자가 무엇인지, 치료 계획이 잘 적용되고 있는지, 천식 약을 추가하거나 중단할지, 환자가 응급실을 방문해야 하는지를 결정하는 데 도움이 된다. PEFR을 측정한 후 구역에 따른 지침을 수행할 수 있다(표 1).

표 1. 최고호기기류속도 구역 체계

구역	측정값	상태	행동지침
초록색	PEFR 최대값의 80% 이상	좋음	현재 투약 유지
노란색	PEFR 최대값의 50~80%	주의	속효 기관지확장제를 흡입하고 다시 측정해도 호전이 없으면 약제 변경을 위해 의사를 방문
빨간색	PEFR 최대값의 50% 미만	경고	속효 기관지확장제를 흡입하고 병원에 연락하여 어떻게 해야 할지 문의하거나 바로 응급실로 내원

- 5단원. 기타 검사

FEV₆

FVC를 이용한 폐활량검사가 어려운 경우 좀 더 간단히 측정할 수 있는 FEV₆로 대체할 수 있다. 단, FEV₁/FEV₆의 기류폐쇄 진단 기준은 73% 이하이다.

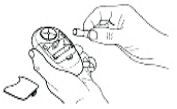
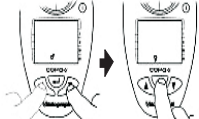


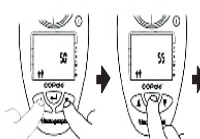
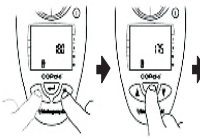
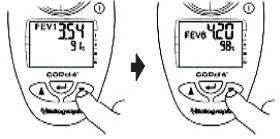
1. 서론

일차진료에서 일반적인 폐활량계를 이용한 폐활량측정은 폐활량기계 구입의 가격부담, 긴 검사시간, 기사교육의 부족, 그리고 폐활량 측정의 정도관리 측면에서 어려움이 많다. 또한, 연령이 많은 노인들 중 특히 기도폐쇄가 심한 환자들은 전체 폐활량검사를 모두 시행하기에 어려움이 있다. 따라서 기도폐쇄를 선별하거나 모니터링을 위한 좀 더 간단한 폐활량검사 방법이 필요하다.

2. FEV₁/FEV₆의 유용성

- 1) 6초 동안의 최대노력성호기량을 나타내는 FEV₆가 FVC를 대체할 수 있는 것으로 알려져 있다.
- 2) 우리나라 65세 이상의 노인환자 353명을 대상으로 FEV₁/FVC <70%를 기준으로 FEV₁/FVC <70%의 기도폐쇄성질환 진단율을 분석한 결과 91.4%의 민감도와 100%의 특이도를 나타냈다.¹¹ 외국자료에 따르면, FEV₁/FEV₆를 이용하여 기도폐쇄를 측정한 메타분석결과, 89%의 민감도와 98%의 특이도의 검사결과를 보여주었다.¹²
- 3) 또한, FEV₁과 FEV₆ 검사의 재현성을 비교해 본 결과, FEV₁의 2번 측정값의 차이가 150 mL 미만인 경우에 적합한 재현성이 있다고 정의했을 때, 적합한 재현성을 보였던 경우는 FEV₆에서 91.9%, FVC는 86%로 FEV₆가 더 높게 나왔다.¹³
- 4) 기도폐쇄 여부를 진단하는 FEV₁/FEV₆ 기준으로 72.4% 또는 73%를 사용했을 때, 민감도는 86%~96%, 특이도는 93%~97%를 나타냈다.¹⁴ 한국인을 대상으로 한 연구에서도 73%를 기준으로 하였을 때 민감도 86.1%, 특이도 90.2%를 보였다. 다만 대상 환자군에 따라서 기도 폐쇄의 기준값을 달리 적용해야 할 필요성이 제시되었다.¹⁵ 그러나, 기도폐쇄 정도가 미약한 환자에서는 FEV₆가 FVC를 대체할 경우 위음성 결과가 나올 수 있어 주의해야 한다.

3. COPD-6 기기 사용법

<p>1</p>  <p>기계의 뒷면 덮개를 열고 AAA 건전지 2개를 장착한다.</p>	<p>6</p>  <p>▼▲를 이용하여 체중을 입력하고 ←으로 확정한다.</p>
<p>2</p>  <p>전원 스위치를 2초가량 누른다.</p>	<p>7</p>  <p>x3</p> <p>호흡을 고른 다음 마우스피스를 입에 넣고 입술로 공기가 새어 나가지 않도록 마우스피스를 조인다. 6초간 가능한 최대한, 빨리 호흡을 내뿜는다. 총 3회 반복한다.</p>
<p>3</p>  <p>▼▲를 이용하여 나이를 입력하고 ←으로 확정한다.</p>	<p>8</p>  <p>3회의 시도 중 가장 좋은 테스트 결과를 표시하며 이를 확인하기 위해 ←를 누른다.</p>
<p>4</p>  <p>▼▲를 이용하여 신장을 입력하고 ←으로 확정한다.</p>	<p>9</p>  <p>←를 누르면 FEV₁, FEV₆, FEV₁/FEV₆, 폐 나이 순서로 결과가 나타난다.</p>
<p>5</p>  <p>▼▲를 이용하여 성별을 입력하고 ←으로 확정한다.</p>	

참고문헌

1. Miller WF, Johnson RL Jr, Wu N. Relationships between fast vital capacity and various timed expiratory capacities. *J Appl Physiol* 1959;14:157-63.
2. Federal Register. Section of pulmonary function specifications. 1973;38:4265.
3. Reddel HK, Bateman ED, Becker A, Boulet LP, Cruz AA, Drazen JM, et al. A summary of the new GINA strategy: a roadmap to asthma control. *Eur Respir J* 2015;46:622-39.
4. Gibson PG. Outpatient monitoring of asthma. *Curr Opin Allergy Clin Immunol* 2002;2:161-6.
5. Gannon PF, Belcher J, Pantin CF, Burge PS. The effect of patient technique and training on the accuracy of self-recorded peak expiratory flow. *Eur Respir J* 1999;14:28-31.
6. O'Brien K., Mendoza G. Peak flow meter versus symptoms. *J Allergy Clin Immunol* 1994;94: 272-3.
7. Caress AL, Luker K, Beaver K, Woodcock A. Adherence to peak flow monitoring. Information provided by meters should be part of self management plan. *BMJ* 2002;324:1157.
8. Janson SL, McGrath KW, Covington JK, Baron RB, Lazarus SC. Objective airway monitoring improves asthma control in the cold and flu season: a cluster randomized trial. *Chest* 2010;138:1148-55.
9. Reddel HK, Marks GB, Jenkins CR. When can personal best peak flow be determined for asthma action plans? *Thorax* 2004;59:922-4.
10. Gautrin D, D'Aquino LC, Gagnon G, Malo JL, Cartier A. Comparison between peak expiratory flow rates (PEFR) and FEV₁ in the monitoring of asthmatic subjects at an outpatient clinic. *Chest* 1994;106:1419-26.
11. Kim SH, Lee YD, Lee JY, Cho Y, Na DJ, Han MS. The Role of FEV₆ in the diagnosis of obstructive airway disease for the old age. *J Korean Geriatr Soc* 2006;10:167-71.
12. Jing J, Huang T, Cui W, Xu F, Shen H. Should FEV₁/FEV₆ replace FEV₁/FVC ratio to detect airway obstruction? A metaanalysis. *Chest* 2009;135:991-8.
13. Bellia V, Sorino C, Catalano F, Augugliaro G, Scichilone N, Pistelli R, et al. Validation of FEV₆ in the elderly: correlates of performance and repeatability. *Thorax* 2008;63:60-6.
14. Vandevoorde J, Verbanck S, Schuermans D, Kartounian J, Vincken W. Obstructive and restrictive spirometric patterns: fixed cut-offs for FEV₁/FEV₆ and FEV₆. *Eur Respir J* 2006;27: 378-83.
15. Korea Centers for Disease Control and Prevention. The strategies for detection and management for early and mild COPD patients. Seoul, Korea: Available at: http://www.prism.go.kr/homepage/theme/retrieveThemeDetail.do;jsessionid=7F2628A8ADD385A82C007C3FF17DABF2.node02?cond_research_name=&cond_organ_id=&cond_research_year_start=&cond_research_year_end=&cond_brm_super_id=NB000120061201100060495&research_id=1351000-201500077&pageIndex=25&leftMenuLevel=110 [accessed 1 June 2016].

6단원

부 록

장비 보정	92
감염 예방	106
부록 표	108

부록

장비 보정

1. 용적(volume)형 기계(Vmax 2130)

1) 보정

보정 작업은 매일 검사 시작 전에 반드시 실시하고 기온이나 기압의 변화가 클 때도 실시해야 한다. 측정 결과는 항상 실제치의 $\pm 3\%$ (97~103%)에 있어야 한다.

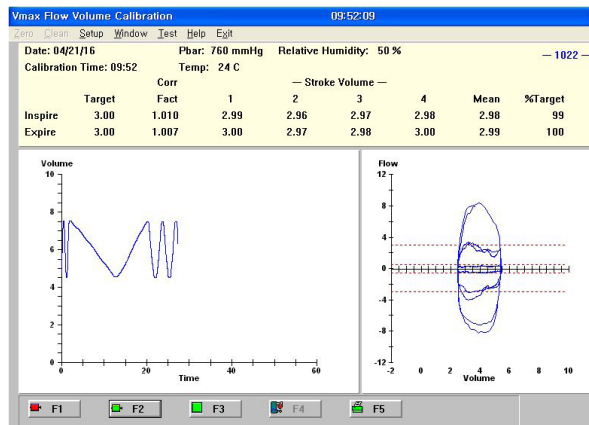
3L 보정 실린지를 이용하여 실시한다.

① 보정 작업 화면

초기 화면에서 1번 Flow Sensor Calibration을 선택한다.

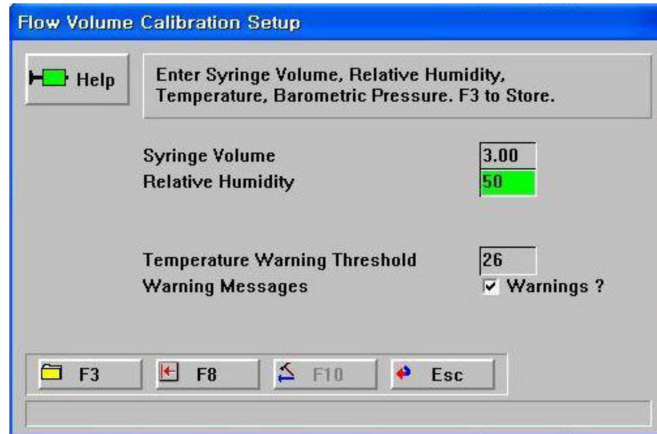
② 보정 작업 순서

i. 화면 하단 좌측에 있는 F1을 선택하면 아래의 그림과 같은 calibration setup box가 나타난다(부록 그림 1).



부록 그림 1. 보정 화면

- ii. 시작시 실내 기온을 확인하고(기계에 입력하라는 의미가 아님) 이후 3°C 변화 시 재보정 한다. (보정 시에도 역시 실내온도계의 온도를 입력하지 말 것.)
습도는 항상 50%로 나오는데 바꿀 수 있다(부록 그림 2).



부록 그림 2. Calibration setup box

- iii. 피스톤의 위치를 조절한다. 피스톤이 2~5 L 사이의 적절한 위치에 있으면 화면이 초록색이 된다. 적절하지 않은 위치는 노란색으로 나온다.
- iv. 보정 실린지의 공기를 완전히 뺀 상태에서 폐활량 측정기 호스에 연결한다. F3를 선택하면 처음 보정 화면으로 돌아온다.
- v. 보정 왕복 운동(calibration stroke): 보정 실린지의 피스톤을 5회 왕복시킨다. 첫 왕복은 화면에 나타나지 않는다. 피스톤의 왕복은 최대한 부드럽고 일정하게 시행한다. 피스톤 운동 속도는 3 ~ 6 L/sec (0.5~1.0 초/ 1회 편도 운동)로 한다. 피스톤은 공기를 완전히 밀어낸 상태로 끝나게 된다.
- vi. 화면에는 보정 계수가 고려된 측정치가 나타난다. 실제 용적의 3% 범주 안에 있는지 확인한다.
- vii. 확인 왕복 운동(verification stroke): 확인 과정을 위해 피스톤 왕복을 5회 시행한다. 고유량(high flow) 상태와 저유량(low flow) 상태에서의 보정을 위해 후반 4회 왕복 중 1번은 반드시 0.5 L/sec미만으로, 1번은 반드시 3.0 L/sec 이상의 유량으로 시행한다. 각 기준 유량은 붉은 점선으로 화면에 나타난다.
- viii. 보정 실린지의 연결을 뺀다.
- ix. 화면에는 총 10회의 왕복 운동 중 각 과정의 첫 회를 제외한 총 8회의 측정 결과가 나타난다. 결과는 모두 실제 용적의 3% 범주 안에 있어야 하며, 이 수치를 벗어나면 아래와 같이 경고 문구가 화면에 나타난다(부록 그림 3).

One or more of the Verify Strokes
Exceed the $\pm 3\%$ Accuracy
Standards

	Corr		— Stroke Volume —				Mean	%Target
	Target	Fact	1	2	3	4		
Inspire	3.00	0.989	2.97	3.06	2.98	2.90	2.98	99
Expire	3.00	0.981	3.05	2.96	2.96	2.96	2.98	99

Out-of-range stroke volume

부록 그림 3. 보정 오류시 경고문구

2) 기계 관리

① 연결 호스 관리

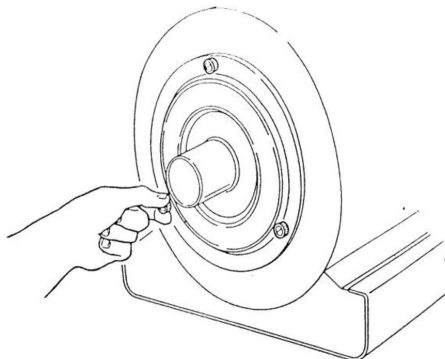
검사 후 적절히 세척 및 소독을 한다. 소독액(Cidex OPA)에 10분 정도 담가둔 후 물로 씻고 말린 뒤 사용한다. 고압 증기 소독을 하면 안 된다.

② 본체 관리

외부는 부드러운 천으로 닦아준다.

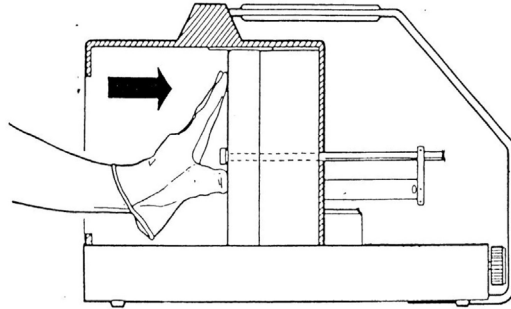
내부 청소는 주 1회 정기적으로 실시한다. 내부 부품은 절대로 고압 증기 소독이나 가스 소독을 하면 안 된다.

- i. 부전 연산 소자(auto-return-negator)를 분리한다.
- ii. 돌출부위(snout) 판에 있는 3개의 나사를 풀어서 판을 분리한다(부록 그림 4).



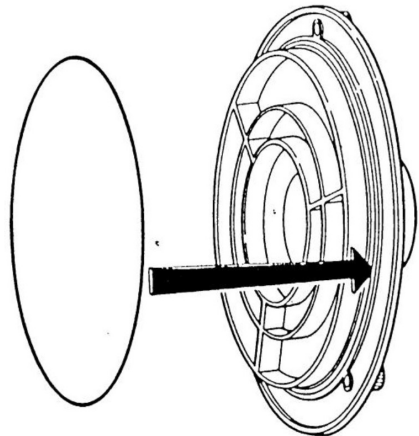
부록 그림 4. 돌출부위(snout)판 분리

- iii. 내부를 청소할 때는 보호 장갑을 착용해야 하고, 에테르, 알코올, 아세톤과 같은 부식성 휘발성 용액을 사용하면 안 된다. 피스톤을 서서히 끝까지 민다(부록 그림 5).



부록 그림 5. 실린더 내부 모식도

- iv. 실린더 내부와 돌출부위(snout) 판, 고무링(O-ring), 피스톤을 소독 세정제와 물로 닦아낸다.
v. 소량의 건조된 윤활 파우더를 밀폐 표면(seal surface)에 손으로 발라준다. 남아있는 파우더는 닦아낸다.
vi. 돌출부위 판에 실리콘 윤활제를 얇게 바른 고무링을 끼운다(부록 그림 6).

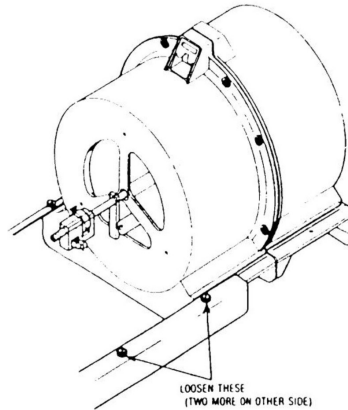


부록 그림 6. 고무링(O-ring) 결합

- vii. 완전히 건조되면 돌출부위판을 연결한다. 3개의 나사를 균일하게 고정한다.
나사는 반드시 손으로만 돌려야 한다. 기계를 이용하여 돌리면 파손의 위험이 있다.

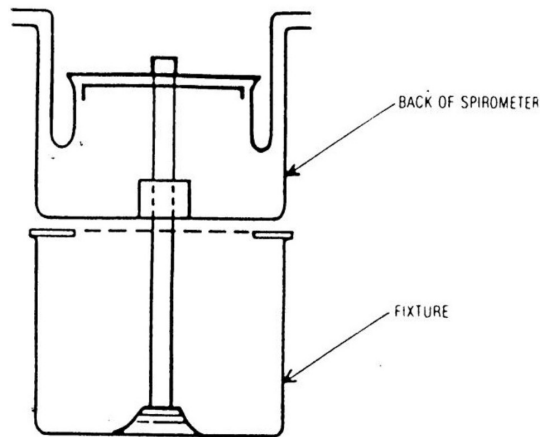
③ Rolling-seal의 제거 및 교환

공기 누출이나 보정의 실패, 밀폐기(seal)의 파손이 있을 경우 rolling-seal을 교체해야 한다. 본체와 틀(chassis)을 고정하는 4개의 나사를 풀어서 본체를 빼낸다. 본체 중앙을 고정하는 나사를 풀어서 본체를 분리해서 연다 (부록 그림 7).



부록 그림 7. 본체 나사분리

고정물(seal fixture)을 이용하여 본체 뒷부분을 고정해서 피스톤 축을 잘 지지한다(부록 그림 8).



부록 그림 8. 고정체를 사용한 피스톤 고정

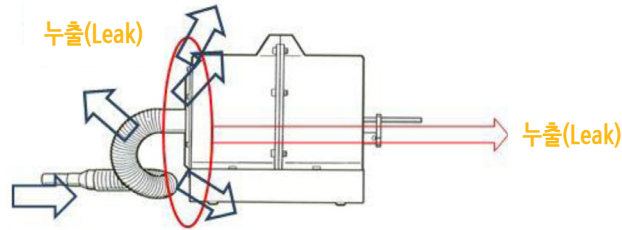
피스톤 중앙의 나사를 풀어서 피스톤과 seal을 빼낸다.

새로운 seal (부품 번호 762642)을 설치하고 나사로 피스톤에 고정한다. 윤활 파우더를 손으로 발라준다.

분해의 역순으로 조립한다. 피스톤 축이 손상 받지 않도록 잘 지지해야 한다.

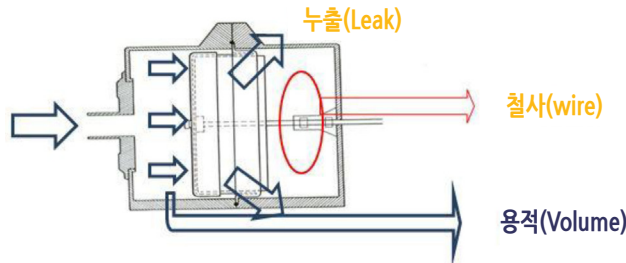
④ 장비 누출 관리

매일 검사 전에 장비에 누출이 없는지 확인해야 한다(부록 그림 9).



부록 그림 9. 검사장비의 공기누출

Breathing hose나 판넬부분에 누출이 없는지 확인한다(부록그림 10).



부록 그림 10. 검사장비의 누출확인

Breathing hose 연결부분을 막고 뒤쪽의 철사(wire)부분을 당기거나 밀었을 경우 용적의 변화가 없어야 한다

3) 문제 해결

① 보정의 실패

- i. 원인: 불량 보정 실린지, 연결 호스의 불량, rolling-seal의 공기 누출, 본체 설치 이상
- ii. 조치: 보정 실린지를 바꾸어 보거나 보정 화면의 셋업박스(setup box)에서 보정 실린지 용량을 확인한다. 연결 호스가 잘 연결되었는지 공기 누출은 없는지 확인한다. 고무링을 교환한다. 본체를 새로 조립한다.

② 호흡할 때 저항이 많이 느껴질 경우

- i. 원인: 연결 호스의 문제, 측정기 본체의 설치 이상
- ii. 조치: 연결 호스가 꼬이거나 막혔는지 확인하고, 본체를 새로 조립하여 설치한다.

③ Hardware check라는 경고메시지가 나올 때

- i. 조치: 컴퓨터와 연결선을 확인한다.

2. 기류(flow)형 기계

(Hot Wire Anemometer : Vmax20, Vmax22, Vmax29, Vmax229, V62J, Turbines Sensor Type : Quark PFT, Quark SPIRO, Spiropalm, Pneumotach Sensor Type : VyntusSpiro, MasterScreenPneumo, MasterScreen PFT, FlowScreen, CPFS/D, Ultima PF, C-8900: COMOACT, ALPHA, SMP-300, Hi-801)

1) 보정

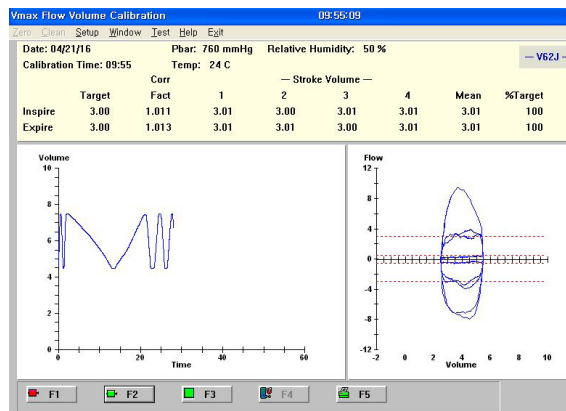
보정 작업은 매일 검사 시작 전에 반드시 실시하고 기온이나 기압의 변화가 클 때도 실시해야 한다. 측정 결과는 항상 실제치의 3%의 범주(97~103%)에 있어야 한다. 3 L 보정 실린지를 이용하여 실시한다. 단 제조사마다 상이할 수 있으므로 제조사 권고를 확인한다.

① 보정 작업 화면

초기 화면에서 1번 Flow Sensor Calibration을 선택한다.

② 보정 작업 순서

i. 화면 하단 좌측에 있는 F1을 선택하면 아래의 그림과 같은 calibration setup box가 나타난다(부록 그림 11).

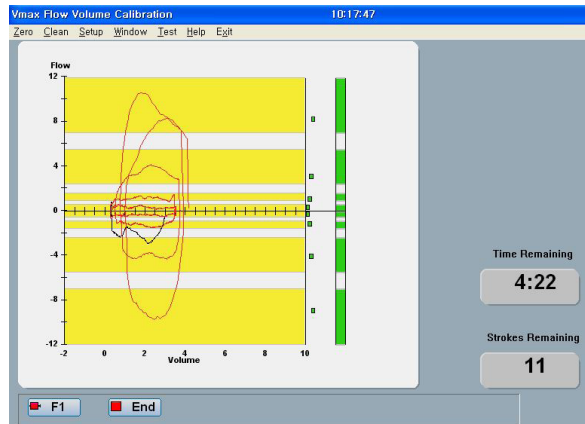


부록 그림 11. calibration setup box

ii. Vmax 기류-용적 보정 화면에서 F1을 클릭하면 Mass Flow Sensor ZeroBox 화면이 나타난다.

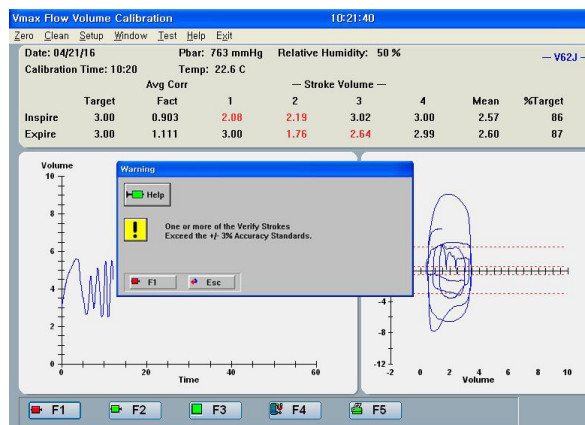
iii. 실린지를 Flow Sensor에 연결한 후 피스톤을 2번 왕복 해준 후 space continue를 눌러준다.

iv. Auto Flow Sensor 영점 보정이 끝난 후 기류-용적 보정 화면이 나타난다(부록 그림 12).



부록 그림 12. 기류-용적 보정 화면

- v. Calibration stroke 화면에서 노란색부분을 맞춰서 피스톤 왕복하면 오른쪽부분이 녹색으로 바뀌면서 화면이 전환되면 저유량, 중유량, 고유량으로 피스톤 왕복을 시행한다.
- vi. 보정 용적(target volume)의 측정치가 97%~103%에 포함되면 F3으로 저장하여 준다.
- vii. 아래 그림(부록그림 13)처럼 범위에서 벗어난 경우 다시 시행한다.

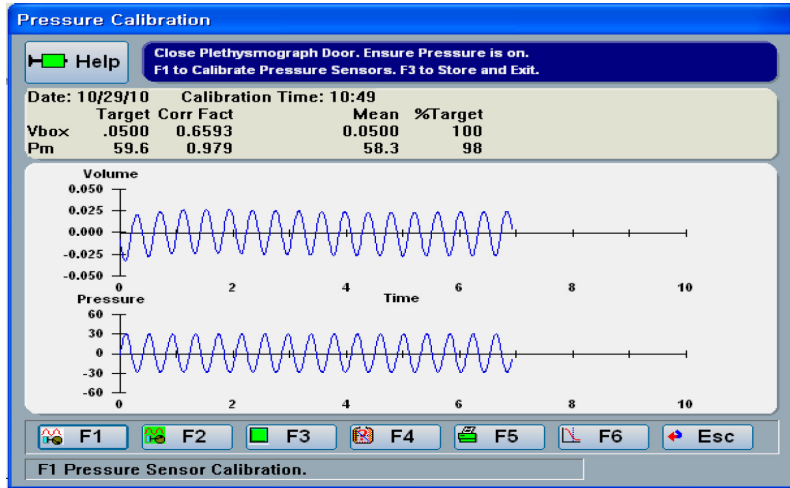


부록 그림 13. 기류-용적 보정 경고 화면

- viii. 기류-용적 보정 완료 후 Box Door를 완전히 닫은 후 압력 보정을 시행한다.
- ix. 기류-용적 보정 화면에서 F4를 클릭하면 압력 보정 Box 화면이 나타난다(부록 그림 14).
- x. Body Box 문을 닫은 후 F1을 클릭하면 자동으로 보정이 된다.

- 6단원. 부록

- xi. 보정 용적(target volume)의 퍼센트가 97~103%안에 포함이 되면 F3으로 저장한다.
- xii. 보정 실린지의 연결을 뺀다.



부록 그림 14. 압력 보정 Box 화면

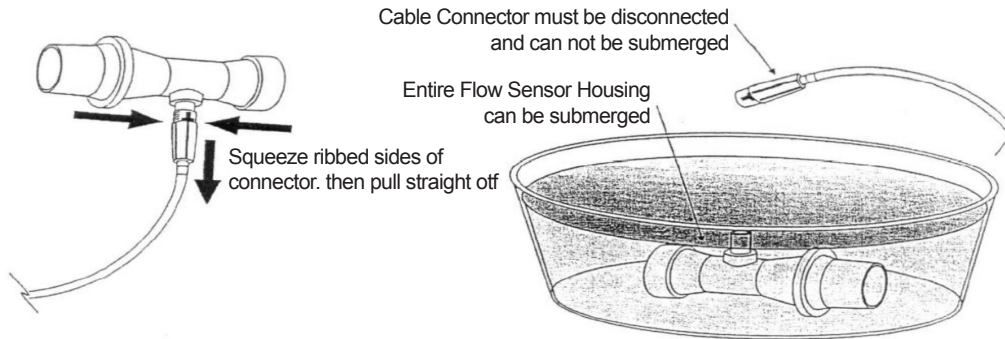
2) 기계 관리

① Sensor 관리

검사 후 적절히 세척 및 소독을 한다. 단, 제조사에서 권고하는 장비 구성품인 Microgard Filter를 사용할 경우 sensor내 습기 제거만 하면 되고, 오염물질로 인한 감염의 우려가 있을 경우 세척 및 소독을 권고한다. 단 살균용 액을 사용한 잦은 소독은 sensor의 감도를 저하시키는 원인이 될 수 있다.

② Sensor 세척 및 소독

- i. Flow sensor 소독 및 세척 시 제조사마다 상이할 수 있으니 반드시 제조사에서 권장하는 방법으로 세척 및 소독한다.
Flow sensor를 부록 그림 15와 같이 케이블(cable)에서 분리한다.



부록 그림 15. Sensor와 케이블 분리 방법 및 세척

- ㉠ 따뜻한 비누용액 혹은 인증된 세척용액을 사용하여 세척 후 소독한다.
- ㉡ Mass Flow Sensor 및 구성품은 인증된 소독용액에 5~10분 담근 후 꺼낸다.
- ㉢ Mass Flow Sensor의 wire 및 구성품은 소독 후 물을 사용하여 모든 기기에 남아있는 소독액을 제거해야 하며 소독액이 남아있을 시 보정이 불가능 할 수 있다. 단, 수돗물의 성분에 따라 sensor pin이 녹을 수 있으므로 증류수 사용을 권장한다.
- ㉣ 세척 후 저온에서 완전 건조 시킨 후 사용한다.
 - 허용된 세척 방법
 - 사용 온도: 54.4°C 미만
 - 글루타르알데하이드(glutaraldehyde solution) 2.6% 미만
 - 에틸렌 옥사이드(ETO) on COLD cycle, 에틸렌 옥사이드(ETO)
 - The Sterrad System (hydrogen peroxide 58%)
 - 소독 및 살균용액
 - CidexOPA (ortho-phthalaldehyde 0.55%)
 - Cidex (glutaraldehyde 2.4%)
 - Metricide (glutaraldehyde 2.6%) 등 제조사 지침서 참조
 - 주의사항으로 2.6% 글루타르알데하이드(glutaraldehyde)를 함유한 용액은 사용을 금하고 표백제, 멸균기 및 고압증기멸균기(autoclave)사용을 금한다.
- ii. Pneumotach sensor의 소독
 - Pneumotach sensor의 세척 및 소독은 제조사마다 상이할 수 있으므로 지침서 참조

• 6단원. 부록

Pneumotachsensor 및 부품 세척 및 소독법(Cidex OPA solution)

- ㉠ 전체부품들을 Cidex OPA 용액에 약 12분간 담구어 소독한다.
- ㉡ 부품을 꺼내고 꺼낸 부품을 증류수에 약 1분간 담근다.
- ㉢ 부품 및 "Screen" (pneumotach를 효과적으로 측정하는 부분)을 약 30초간 흐르는 깨끗한 물에 헹군다.
- ㉣ 증류수에 약 1분간 부품들을 담근다.
- ㉤ 3번째 헹굼단계를 한번 더 반복한다.
- ㉥ 증류수에 약 1분간 부품들을 담근다.
- ㉦ 모든 부품을 건조시키며 49°C 이상의 뜨거운 열은 가하지 않는다.
열로 건조시킨 뒤 수건으로 건조시켜도 된다.

iii. 터빈 센서(turbine sensor)의 소독

Turbine flow meter 세척은 위생적인 측정과 기기의 정확한 기능을 위해 터빈을 정기적으로 소독하는 것이 반드시 필요하다(부록 그림 16).



부록 그림 16. Turbine sensor

- ㉠ 터빈을 분리한다.
- ㉡ 알코올이 무첨가된 가정용 표백제 희석용액(sodium hypochlorite)에 20분간 터빈을 담근다.
- ㉢ 터빈을 깨끗한 물을 담은 용기에 넣고 부드럽게 흔들어 소독액을 제거하며 헹군다(흐르는 물에서 세척하지 말 것)
- ㉣ 공기 중에 자연스럽게 말린다.
- ㉤ 터빈을 세척한 후 터빈 프로펠러가 느린 속도에서도 부드럽게 회전하는지 확인한다.

㉞ 터빈을 leader에 연결한다.

세척시 주의사항으로 터빈을 고열에 노출하거나 흐르는 물에 두어서는 안되고, 규정에 맞는 소독액을 사용하고 알코올성 용액은 사용하지 않는다.

3) 문제 해결

① 보정 오류 원인

- i. 보정 실린지의 이상
- ii. 장비 자체의 문제(sensor, cable, sample line 등)
- iii. 부적합한 실내 온도 및 기압

② 해결방법

- i. 보정 실린지를 교체하며 이 때 호스의 찢어진 부위가 있는지 확인한다.
- ii. 해당 장비 소모품을 교체한다. Sensor나 cable의 단락 여부, 기타 line의 누출 등으로 습기가 차 있지는 않는지, 각 line들이 sensor와 정확히 연결되어 있는지, 전원스위치가 켜져 있는지 등을 확인한다.
- iii. 보정 설정(setup)에서 온도와 기압을 확인 후 보정한다.

3. 기타(이동식 장비)

1) 보정

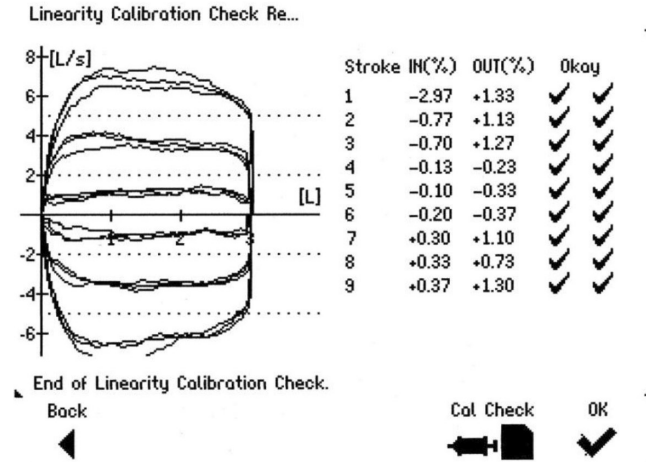
보정 작업은 매일 검사 시작 전에 반드시 실시하고 기온이나 기압의 변화가 클 때도 실시해야 한다. 측정 결과는 3% 이내에 있어야 한다. 3 L 보정 실린지를 이용하여 실시한다. 단 제조사마다 상이할 수 있으므로 제조사 권고를 우선한다.

① 보정 작업 화면

초기 화면에서 Calibration을 선택하면 보정 화면이 나타난다. 단 제조사마다 상이할 수 있다.

② 보정 작업 순서

- i. 'Calibration Start' 버튼을 클릭하고 3 L 보정 실린지를 가지고 왕복운동을 통해 보정을 한다. 단 횟수 및 기류 속도는 제조사에서 권장하는 방법으로 시행한다(부록 그림 17).



부록 그림 17. 보정 작업 화면

ii. 보정 결과값이 제조사 기준에 들어오면 종료한다. 단 기준에 벗어나면 다시 보정을 시행한다.

2) 문제 해결

① 보정 오류 원인

- i. 보정 실린지의 이상
- ii. 장비의 문제(power, usb연결부분)
- iii. 부적합한 실내 온도 및 기압

② 해결방법

- i. 보정 실린지의 교체
- ii. 해당 장비의 전원 및 연결부위를 확인한다.
- iii. 보정 설정(setup)에서 온도와 기압을 확인 후 보정한다.

3) 장비 관리

제조사에서 권고하는 방법으로 장비를 세척한다.

4. 현재 국내서 가용한 폐기능검사 장비

1) Volume 타입

- SensorMedics: 2130

2) Flow 타입

- SensorMedics: Vmax20, Vmax22, Vmax29, Vmax229, V62J
- Jaeger: VyntusSpiro, MasterScreenPneumo, MasterScreen PFT,
- Medgraphics: CPFS/D, Ultima PF
- Cosmed: Quark PFT, Quark SPIRO, Pony FX
- Chest: C-8900

3) 이동형 장비

- Vitalograph: COMOACT, ALPHA
- Jaeger: FlowScreen
- Bionet: SMP-300
- Chest: Hi-801
- Medgraphics: CPFS/D
- Cosmed: microQuark, Spiropalm
- MIR: spiro lab III

감염 예방

폐기능검사 시 발생할 수 있는 감염을 사전에 차단하기 위함이다.

1. 검사자로의 감염전파

- 1) 대상자로부터 감염 전파를 방지하기 위해 적절한 손위생이 필요하다.
- 2) 대상자의 감염력에 따라 검사자는 보호장구(마스크, 장갑, 가운)를 착용한다.

2. 사용 물품으로 인한 교차오염(cross-contamination)

- 1) 호흡관, 밸브와 같은 장비 부품은 정기적인 소독 또는 살균과정이 필요하다.
- 2) 마우스피스는 1회용 물품으로 사용 후 바로 폐기한다.
- 3) 대상자의 피부에 직접 접촉되는 코클립은 일회용 사용을 권장한다.
- 4) 일회용필터(부록 그림 18)를 이용하면 비교적 쉽게 감염을 막을 수 있으므로 검사 시 사용할 것을 권장한다.



부록 그림 18. 여러 종류의 일회용 필터

3. 용적(volume) 타입 폐활량계

- 1) 폐쇄성 순환방법 이용시 검사 전 적어도 5회 이상 공기를 교환한다.
- 2) 개방성 순환방법은 호기만 이용되므로 마우스피스만 새것으로 교환한다.

4. 결핵(tuberculosis)

- 1) 비말감염 가능성이 높은 질환(결핵 등)은 환기, 공기 여과 또는 공기의 자외선 조사 등 환경 관리가 필요하다.
- 2) 검사 후 30분 이상 충분한 환기
- 3) 검사자 N95마스크와 일회용 글러브 착용
- 4) 가장 마지막 스케줄로 잡아 검사 시행
- 5) 검사 후 해당 장비 소독

5. 그외 전염병(other known transmissible infectious disease)

- 1) 전염 위험이 있는 대상자를 검사하기 위한 단독의 장비 확보
- 2) 하루 중 마지막에 검사를 실시한 후 분해하여 소독
- 3) 검사자의 안전과 교차감염을 방지하기 위해 보호 장구 착용
- 4) 대상자 자신의 병실에서 검사 시행과 적절한 환기

• 6단원. 부록

부록 표 1. Morris 아시아인 퀘저식^{a)}

FVC	남자	$-4.241 - 0.025 \times \text{연령(년)} + 0.148 \times \text{신장(cm)}$
	여자	$-2.852 - 0.024 \times \text{연령(년)} + 0.115 \times \text{신장(cm)}$
FEV ₁	남자	$-1.260 - 0.032 \times \text{연령(년)} + 0.092 \times \text{신장(cm)} + 0.179$
	여자	$-1.932 - 0.025 \times \text{연령(년)} + 0.089 \times \text{신장(cm)} + 0.179$

^{a)}Morris JF, Koski A, Johnson LC. Spirometric standards for healthy nonsmoking adults. Am Rev Respir Dis 1971;103:57-67.

부록 표 2. 한국인의 폐활량 정상예측식^{a)}

FVC	남자	$-4.8434 - 0.00008633 \times \text{연령}^2(\text{년}) + 0.05292 \times \text{신장(cm)} + 0.01095 \times \text{체중(kg)}$
	여자	$-3.0006 - 0.0001273 \times \text{연령}^2(\text{년}) + 0.03951 \times \text{신장(cm)} + 0.006892 \times \text{체중(kg)}$
FEV ₁	남자	$-3.4132 - 0.0002484 \times \text{연령}^2(\text{년}) + 0.04578 \times \text{신장(cm)}$
	여자	$-2.4114 - 0.0001920 \times \text{연령}^2(\text{년}) + 0.03558 \times \text{신장(cm)}$

^{a)}Choi JK, Paek D, Lee JO. Normal predictive values of spirometry in Korean population. Tuberc Respir Dis 2005;58:230-42.

부록 표 3. 한국인 폐활량검사의 정상하한치 (lower limit of normal, LLN)^{a)}

	FVC % predicted		FEV ₁ % predicted		FEV ₁ /FVC %	
	95 percentile* LLN	95% C.I. [†] LLN	95 percentile LLN	95% C.I. LLN	95 percentile LLN	95% C.I. LLN
남자	83.5	82.0	82.3	82.0	91.1	89.8
여자	81.6	81.6	80.4	80.7	89.9	89.7

*95 percentile; 95 백분위수 정상하한치

[†]95% confidence interval; 95% 신뢰구간 정상하한치

^{a)}Choi JK, Paek D, Lee JO. Normal predictive values of spirometry in Korean population. Tuberc Respir Dis 2005;58:230-42.

부록 표 4. 폐쇄 환기장애의 중증도 분류

Degree of severity (% of predicted FEV ₁)	GOLD ^{a)}	ATS/ERS ^{b)}	SEPAR/ALAT ^{c)}	NICE ^{d)}
Mild	≥80%	>70%	≥80%	50~80%
Moderate	50~79%	60~69%	≥50~<80%	30~49%
Moderately severe	-	50~59%	-	-
Severe	30~49%	35~49%	≥30~<50%	<30%
Very severe	<30%*	<35%	<30%*	-

FEV₁, forced expiratory volume in 1 s; GOLD, Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease; ATS, American Thoracic Society; ERS, European Respiratory Society; SEPAR, Spanish Society of pulmonology and Thoracic Surgery; ALAT, Latin American Thoracic Society; NICE, National Institute for Health and Clinical Excellence.

*or <50% plus respiratory failure.

^{a)}Rabe KF, Hurd S, Anzueto A, Barnes PJ, Buist SA, Calverley P, et al. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: GOLD executive summary. Am J Respir Crit Care Med 2007;176:532-55.

^{b)}Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo RO, Burgos F, Casaburi R, et al. Interpretative strategies for lung function tests. Eur Respir J 2005;26:948-68.

^{c)}Peces-Barba G, Barberà JA, Agustí A, Casanova C, Casas A, Izquierdo JL, et al. [Diagnosis and management of chronic obstructive pulmonary disease: joint guidelines of the Spanish Society of Pulmonology and Thoracic Surgery (SEPAR) and the Latin American Thoracic Society (ALAT)]. Arch Bronconeumol 2008;44:271-81.

^{d)}National Institute for Health and Care Excellence. Chronic obstructive pulmonary disease: Management of chronic obstructive pulmonary disease in adults in primary and secondary care. 2004. Available at: <http://www.nice.org.uk/guidance/cg12>

부록 표 5. 제한 환기장애의 중증도 분류

Degree of severity	ATS ^{a)} (% of predicted VC)	ATS ^{a)} (% of predicted TLC)	ATS/ERS ^{b)} (% of predicted FEV ₁)
Mild	<LLN but ≥ 70%	<LLN but ≥ 70%	>70%
Moderate	60~69%	60~69%	60~69%
Moderately severe	50~59%	< 60%	50~59%
Severe	34~49%		35~49%
Very severe	<34%		<35%

VC, vital capacity; TLC, total lung capacity; FEV₁, forced expiratory volume in 1 s; ATS, American Thoracic Society; ERS, European Respiratory Society.

^{a)}American Thoracic Society. Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. Am Rev Respir Dis 1991;144:1202-1218.

^{b)}Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, Crapo RO, Burgos F, Casaburi R, et al. Interpretative strategies for lung function tests. Eur Respir J 2005;26:948-68.

부록 표 6. 국내 호흡기장애 등급 판정 기준

장애등급	장애정도
1급1호	폐나 기관지 등 호흡기관의 만성적인 기능부전으로 안정시에도 산소요법을 받아야 할 정도의 호흡곤란이 있고, 정상시의 FEV ₁ 또는 폐확산능(DLco)이 정상예측치의 25% 이하이거나, 산소를 흡입하지 않으면서 정상시 대기중에서 안정시에 동맥혈 산소분압이 55 mmHg 이하인 사람
1급2호	만성호흡기 질환으로 인하여 기관절개관을 유지하고 24시간 인공호흡기로 생활하는 사람
2급	폐나 기관지 등 호흡기관의 만성적인 기능부전으로 집안에서의 이동시에도 호흡곤란이 있고, 정상시의 FEV ₁ 또는 DLco가 정상예측치의 30% 이하이거나, 산소를 흡입하지 않으면서 정상시 대기중에서 안정 시에 동맥혈 산소분압이 60 mmHg 이하인 사람
3급	폐나 기관지 등 호흡기관의 만성적인 기능부전으로 평지에서의 보행시에도 호흡곤란이 있고, FEV ₁ 또는 DLco가 정상예측치의 40% 이하이거나, 산소를 흡입하지 않으면서 정상시 대기중에서 안정시에 동맥혈 산소분압이 65 mmHg 이하인 사람
5급1호	5급 폐를 이식 받은 사람
5급2호	늑막루가 있는 사람

(참고) 장애 등급 판정 기준 개정안 (보건복지부 고시 제2013-174호)

부록 표 7. 폐확산능 검사 전 점검표

항 목	
검사 전 장비 점검	장비 위생 상태 점검 장비 turn on 후 warming up (5분 이상) 장비 각 부품 연결 상태 및 손상 여부 확인 가스 상태 점검 이상 발견 시 장비 점검 및 부품 교체 가능
장비 질 관리	매일 3리터 실린지로 용적 보정 시행 매일 leaking test 시행
검사 전 단계 및 환자 상태	환자의 인적 정보(생년월일 등), ID 확인 신상 정보(키, 몸무게 등) 파악 검사 당일 금연 여부 확인 혈색소(Hb) 수치 확인 (결과 있는 경우)
검사 과정	Gas analyzer zeroing 시행 환자 (앉은) 자세 점검 코 막고 검사 시행 여부(Nose clip or manual) 환자에게 검사 방법 설명 (발살바 혹은 물러 조작 금지 포함) 정확한 흡기 방법 (VC의 85%를 4초 안에 흡입) 여부 충분한 breath hold time (10±2초) 여부 적절한 호기 방법 (호기 시간 <4초) 매 검사마다 4분 휴식
결과 확인	검사 결과 적합성 확인 검사 결과 재현성 확인

부록 표 8. 18~70세 성인에서 폐용적의 정상예측식^{a)}

Volume	Equation	95% CI	90% CI	RSD
Males				
TLC (L)	7.99H-7.08	±1.37	±1.15	0.70
RV (L)	1.31H+0.022A-1.23	±0.67	±0.80	0.41
FRC (L)	2.34H+0.01A-1.09	±0.99	±1.18	0.60
FRC/TLC (%)	43.8+0.21A	±13.2	±11.1	6.74
RV/TLC (%)	14.0+0.39A	±10.7	±9.0	5.46
Females				
TLC (L)	6.60H-5.79	±1.18	±0.99	0.60
RV (L)	1.81H+0.016A-2.00	±0.58	±0.69	0.35
FRC (L)	2.24H+0.001A-1.00	±0.82	±0.98	0.50
FRC/TLC (%)	45.1+0.16A	±11.6	±9.8	5.93
RV/TLC (%)	19.0+0.34A	±11.4	±9.6	5.83

CI, confidence interval; RSD, residual standard deviation on logarithmic scale, taking the normal logarithm; H, stature in metre; A, age in yrs.

^{a)}Stocks J, Quanjer PH. Reference values for residual volume, functional residual capacity and total lung capacity. ATS Workshop on Lung Volume Measurements. Official Statement of The European Respiratory Society. Eur Respir J 1995;8(3):492-506.

부록 표 9. 메타콜린 유발검사 보고서 양식

메타콜린 유발검사 기록지						
등록번호		처방일자		검사일자		
성명		성별		연령(세)		
신장(cm)		체중 (Kg)		생년월일		
흡연력		처방의		판독의		
진단명				검사자		
	시간 (분)	FVC (L)	FEV ₁ (L)	FEV _{25-75%}	PEFR (L/s)	FEV ₁ 감소 (기저치의 %)
검사 전	예측치					
	기저치					
	% Pred					
검사 중	Saline					
	0.0625					
	0.25					
	1					
	4					
	16					
	25					
기관지확장제 흡입후	10 분					
	20 분					
FEV ₁ /FVC 예측치 (L)				PC 20 (mg/ml)		
검사전 FEV ₁ /FVC						
Saline 흡입 후 FEV ₁ (L)						
Methacholine 흡입 후 FEV ₁ (L)						
Ventolin 흡입 후 FEV ₁ (L)						
Methacholine 최종 농도 (mg/ml)						
검사 결과						Positive/Negative, Mild/Moderate/Severe

부록 표 10. 만니톨 유발검사 보고서 양식

만니톨 유발검사 기록지					
등록번호		처방일자		검사일자	
성명		성별		연령(세)	
신장(cm)		체중 (Kg)		생년월일	
흡연력		처방의		판독의	
진단명				검사자	
0mg 사용 후 FEV ₁ (ml)				Cut-off: 0.85 x 기저 FEV ₁ (ml)	
용량	누적용량 (mg)		FEV ₁ (ml)		
0	0				
5	5				
10	15				
20	35				
40	75				
80 (2 x40)	155				
160 (4 x40)	315				
160 (4 x40)	475				
160 (4 x40)	635				

부록 표 11. 운동유발검사 보고서 양식

운동 유발검사 기록지							
등록번호		처방일자		검사일자			
성명		성별		연령 (세)			
신장 (cm)		체중 (Kg)		생년월일			
흡연력		처방의		판독의			
진단명				검사자			
검사종류	Treadmill/Cycle ergometer			검사시간(min)			
	시간 (분)	FVC (L)	FEV ₁ (L)	심박수	혈압	PEFR (L/s)	FEV ₁ 감소 (기저치의 %)
운동전	예측치						
	기저치						
	% Pred						
운동 후	3						
	5						
	10						
	15						
	20						
	25						
	30						
기관지확장제 흡입	10						
	15						
Comments							

* Comments : 실제 운동 시간, 검사 전후 천명음 유무 등 특기 사항 기록.

7단원

증례

폐활량검사 증례	116
기관지확장제검사 증례	118
폐확산능 검사 증례	120
폐용적 검사 증례	122
메타콜린 유발검사 증례	125

- 7단원. 증례

증례

폐활량검사 증례

1. 병력:

나이: 72세

성별: 남자

주증상: 호흡곤란

증상기간: 10년

현 상태: 10년 전부터 호흡곤란으로 인근병원서 치료 받아왔으며 최근 1달간 악화된 가래와 기침으로 방문

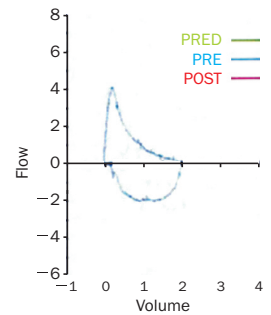
과거력: 20년 전 결핵 치료 후 완치

흡연력: 50갑년

2. 신체치수: 체중 55kg, 신장 165cm

3. 폐기능검사

Spirometry	(BTPS)	PRED	PRE-RX	
			BEST	%PRED
FVC	Liters	4.62	1.98	43
FEV1	Liters	3.30	1.26	38
FEV1/FVC	%	70	64	
FEF25-75%	L/sec	2.54	0.68	27
IsoFEF25-75	L/sec	2.54	0.68	27
FEF75-85%	L/sec	0.47	0.24	52
PEF	L/sec	7.87	4.05	51
FET100%	Sec		8.19	
FIVC	Liters	4.12	1.82	44

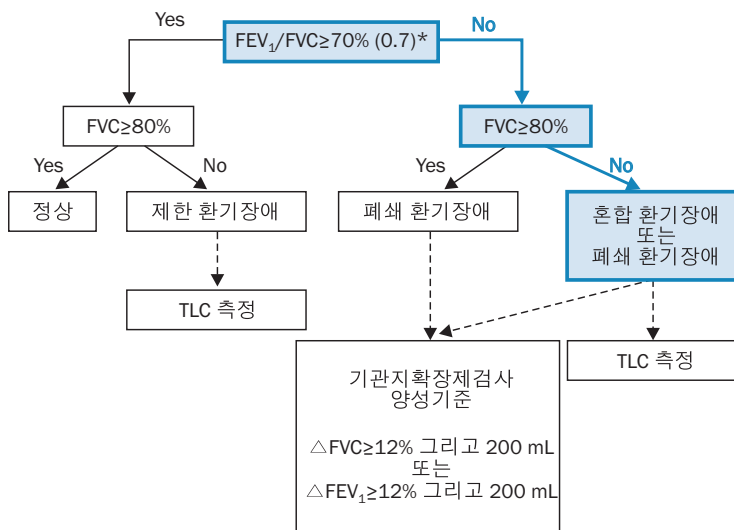


4. 흉부엑스선



5. 판정: 혼합 또는 폐쇄 환기장애

6. 해석: 진단단계에서 아래의 해석표에 따라 구분한다



- FEV₁/FVC는 64%로 감소되어 있고 FVC는 43% (정상예측치 대비)로 저하되어 혼합 환기장애 또는 폐쇄 환기장애가 의심된다.
- 이런 경우 위의 그림에서 보듯이 기관지확장제검사와 TLC 측정이 추가로 필요하다.

- 7단원. 증례

기관지확장제검사 증례

1. 병력:

나이: 57세

성별: 여자

주증상: 호흡곤란과 기침

증상기간: 7일

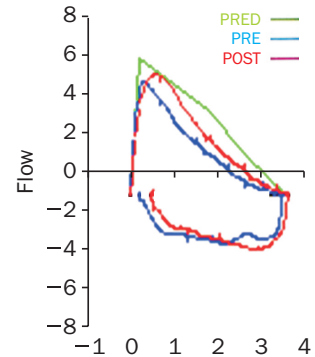
현 상태: 감기 증상이 있다가 전날 밤부터 숨이 차고 짹짹거리면서 기침이 심해져서 왔다. 청진상 양측 폐야에서 흡기와 호기시 천명음이 들렸다.

흡연력: 비흡연자

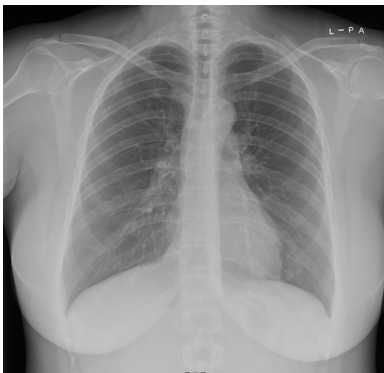
2. 신체치수: 체중 76kg, 신장: 159cm

3. 폐기능검사

Spirometry		Ref	Pre	% Ref	Post	% Ref	% Chg
FVC	Liters	3.63	3.53	97	3.67	101	4
FEV1	Liters	2.98	2.32	78	2.67	89	15
FEV1/FVC	%	85	66		73		
FEF25-75%	L/sec	3.22	1.35	42	1.99	62	48
FEF50%	L/sec	3.78	1.77	47	2.52	67	42
FEF200-1200	L/sec	5.27	3.76	71	5.06	96	34
PEF	L/sec	6.18	5.14	83	5.43	88	6
FIVC	L/sec	3.51	3.34	95	3.22	92	-3

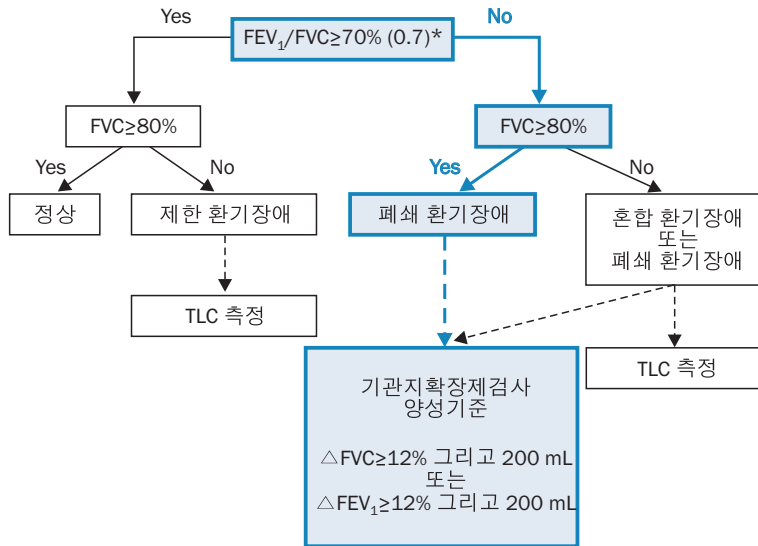


4. 흉부엑스선



5. 판정: 천식

6. 해석: 진단단계에서 아래의 해석표에 따라 구분한다



- 폐활량검사 결과 FEV₁/FVC는 66%로 감소하여 폐쇄 환기장애를 보였고 FVC는 97%로 정상이었다.
- 기관지확장제 흡입 후 흡입전에 비해 FEV₁은 15% (흡입전 대비), 350 ml 증가되었으므로, 기관지확장제 반응 양성으로 평가한다.
- 흉부엑스선에서 정상이며 비흡연가로 천식 발작으로 판단할 수 있다.

폐확산능 검사 증례

1. 병력

나이: 80세

성별: 남자

주증상: 호흡곤란

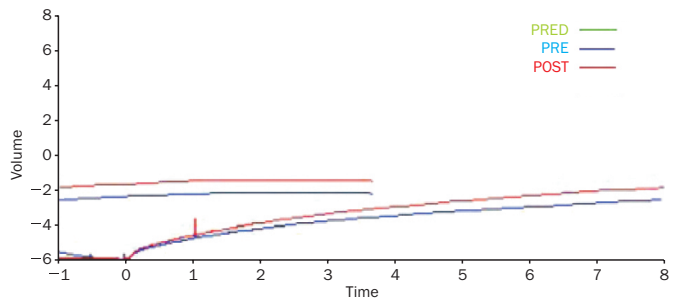
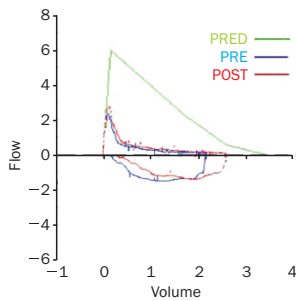
증상기간: 5년

흡연력: 30갑년 과거흡연자

2. 신체치수: 체중 58kg, 신장 168cm

3. 폐기능검사

Spirometry	(BTPS)	PRED	PRE-RX		POST-RX		% CHG
			BEST	%PRED	BEST	%PRED	
FVC	Liters	2.39	3.10	91	3.14	92	1
FEV1	Liters	2.18	0.91	41	0.98	45	8
FEV1/FVC	%	69	29		31		
FEF25-75%	L/sec	1.82	0.20	11	0.29	16	44
Iso FEF25-75	L/sec	1.82	0.20	11	0.41	22	101
FEF75-85%	L/sec	0.17	0.10	57	0.14	81	43
PEF	L/sec	5.96	2.58	43	2.34	39	-9
FET100%	Sec		18.45		14.06		-24
FIVC		2.91	2.59	89	2.70	93	4
FEV1	Liters	2.18	0.91	41	0.98	45	8
FIV1	Liters		1.41		2.32		65
FEF/FIF50		<1.00	0.18		0.12		-37
Voi Extrap	Liters		0.05		0.03		-43
FVL ECode			101010		111000		



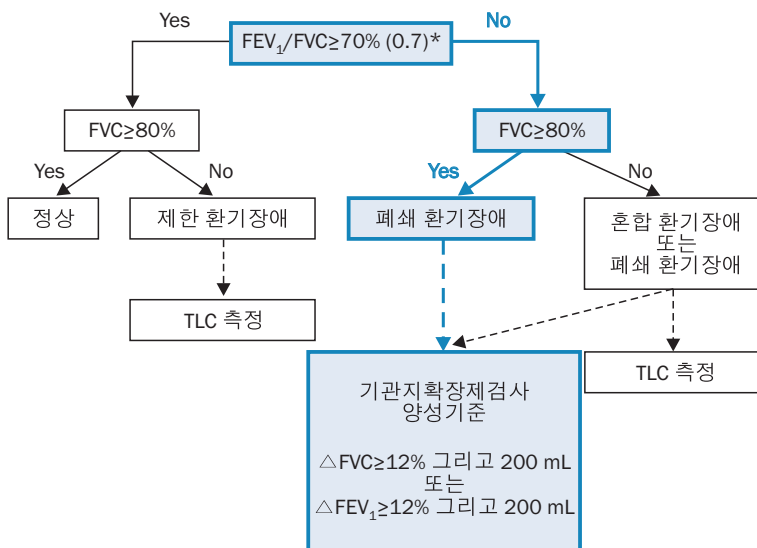
Diffusing Capacity		Ref	Pre	% Ref	Post	% Ref	% Chg
DLCO	mL/mmHg/min	14.6	6.5	45			
DL Adj	mL/mmHg/min	14.6	6.6	45			
DLCOA/A	mL/mmHg/min/L	3.61	1.80	50			
VA	Liters		3.63				

4. 흉부엑스선 CT



5. 판정: COPD, emphysema dominant

6. 해석: 진단단계에서 아래의 해석표에 따라 구분한다



- FEV₁/FVC 가 29%로 표에서 보면 70%이하에 해당한다. 동시에 FVC는 91% (정상예측치 대비) 이므로 FVC ≥ 80%에 해당하여 폐쇄 환기장애에 해당한다.
- 다음으로 기관지확장제검사서 FVC는 1%증가, FEV₁은 8%증가에 그쳐 음성이므로 COPD로 해석할 수 있다.
- 동시에 폐화산능이 45% (정상예측치 대비)로 저하되어 있어 폐기종 우세형으로 해석한다.

- 7단원. 증례

폐용적 검사 증례

1. 병력

나이: 72

성별: 여

주증상: 호흡곤란, 기침

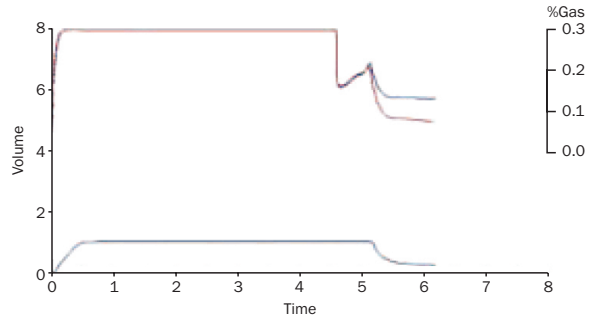
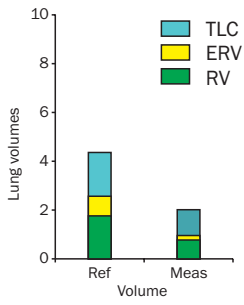
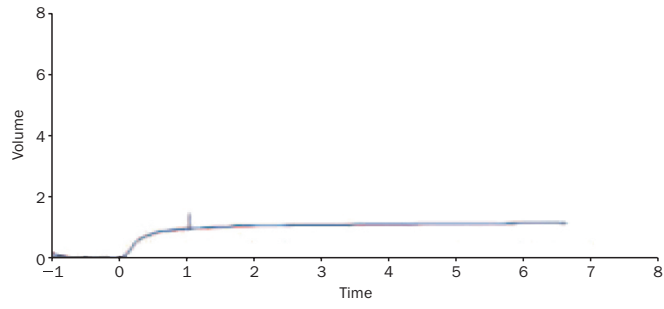
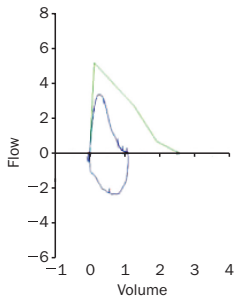
증상기간: 5년

흡연력: 비흡연자

2. 신체치수: 체중 51 kg, 신장 158 cm

3. 폐기능검사

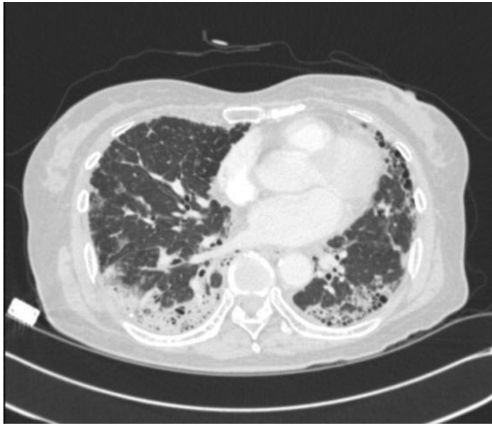
		Ref	Pre	% Ref
Spirometry				
FVC	Liters	2.55	1.11	44
FEV1	Liters	1.79	0.94	53
FEV1/FVC	%	71	85	
FEV3	Liters		1.05	
FEV6	Liters		1.11	
FEF25-75%	L/sec	2.11	1.37	65
IsoFEF25-75	L/sec	2.11	1.37	65
FEF50%	L/sec	2.67	2.69	101
PEF	L/sec	5.18	3.36	65
FET100%	Sec		6.62	
FIF50%	L/sec		2.21	
Lung Volumes				
TLC	Liters	4.40	2.03	46
VC	Liters	2.55	1.19	47
FRC PL	Liters	2.77	1.25	45
ERV	Liters	0.86	0.15	17
RV	Liters	1.79	0.84	47
RV/TLC	%	41	42	
Diffusing Capacity				
DLCO	mL/mmHg/min	15.3	7.3	48
DL Adj	mL/mmHg/min	15.3	7.3	48
DLCO/VA	mL/mHg/min/L	3.61	3.70	102
DL/VA Adj	mL/mHg/min/L		3.70	
VA	Liters		1.97	
IVC	Liters		1.05	



4. 흉부엑스선과 컴퓨터단층촬영

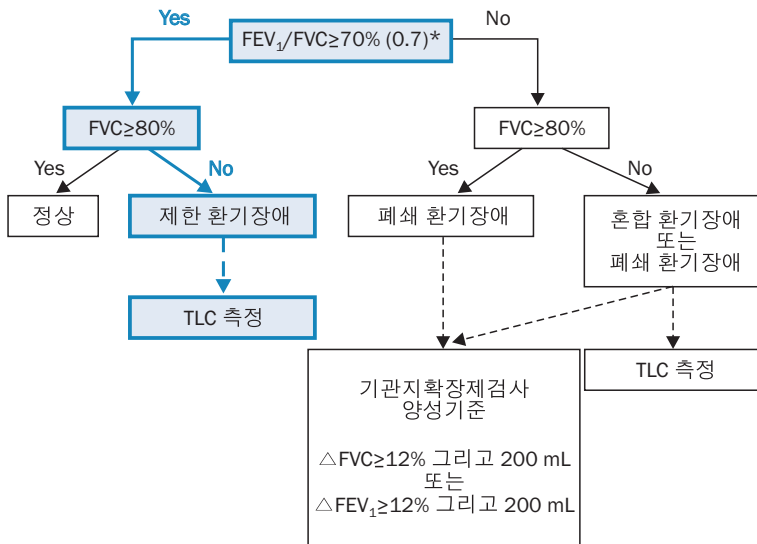


- 7단원. 증례



5. 판정: 제한 환기장애 (간질성폐질환)

6. 해석: 진단단계에서 아래의 해석표에 따라 구분한다



- FEV₁/FVC가 85%이므로 70%이상에 해당하고, FVC가 44%(정상예측치 대비)이므로 80%이하이어서 제한 환기장애에 해당한다.
- 이런 경우 총폐용량을 측정해야 하며 측정결과 TLC가 46%(정상예측치 대비)로 저하되어 있어 제한 환기장애에 해당한다.
- 환자의 영상검사 결과를 참조하면 간질성폐질환으로 진단할 수 있다.

메타콜린 유발검사 증례

1. 병력

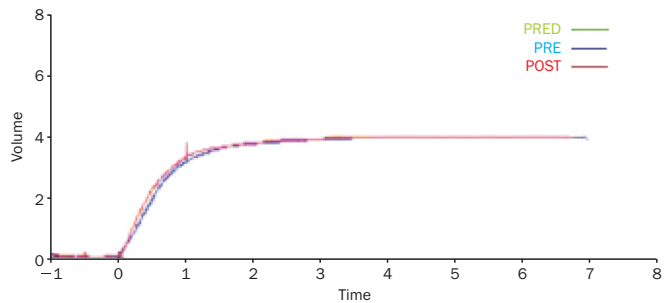
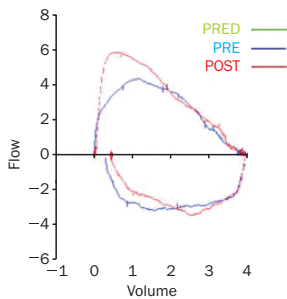
나이: 39세
 성별: 여자
 주증상: 기침, 호흡곤란
 증상기간: 2개월
 흡연력: 비흡연자

2. 신체치수: 체중 58 kg, 신장 169 cm

3. 폐기능검사

1) 폐활량검사

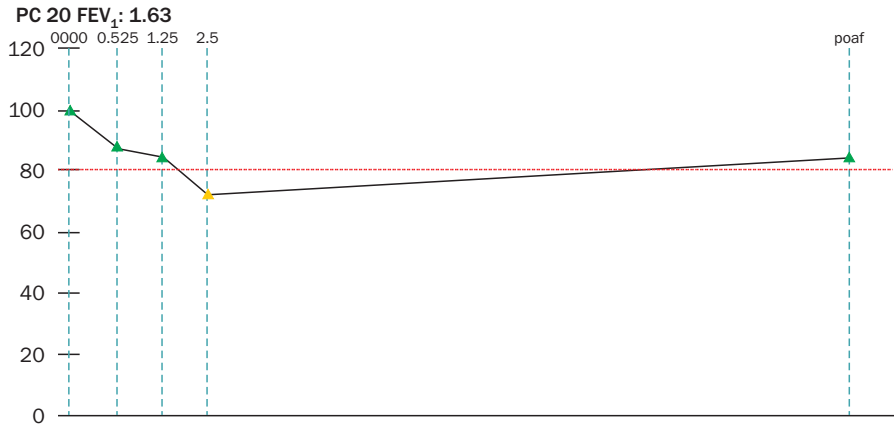
Spirometry	(BTPS)	PRED	PRE-RX		POST-RX		% CHG
			BEST	%PRED	BEST	%PRED	
FVC	Liters	3.88	3.92	101	3.94	102	1
FEV1	Liters	3.31	3.17	96	3.30	100	4
FEV1/FVC	%	84	81		84		
FEF25-75%		3.40	3.17	93	3.23	95	2
Iso FEF25-75	L/sec	3.40	3.17	93	3.38	99	7
FEF75-85%	L/sec	1.18	1.26	107	1.54	131	22
PEF	L/sec	6.62	4.98	75	5.83	88	17
FET100%	Sec		6.98		6.76		-3
FIVC	Liters	3.92	3.60	92	3.52	90	-2



● 7단원. 증례

2) 메타콜린 유발검사

		Ref	Pre Meas	Baseline Meas	Level 1 Meas	Level 2 Meas	Level 3 Meas	Level 4 Meas	Level 5 Meas	Level 6 Meas	Level 7 Meas	Level 8 Meas	Level 9 Meas	Post Meas
Dose					0.625	1.25	2.5							
FVC	Liters	3.88	3.83	3.79	3.58	3.52	3.16							3.67
%Ref			99	98	92	91	81							95
%Chg				-1	-6	-7	-17							-3
Dose					0.625	1.25	2.5							
FEV ₁	Liters	3.31	3.41	3.01	2.65	2.55	2.18							2.55
%Ref			103	91	80	77	66							77
%Chg				-12	-12	-15	-28							-15
Dose					0.625	1.25	2.5							
FEF _{75-75%}		3.40	4.38	2.93	2.11	1.85	1.64							1.72
%Ref			129	86	62	54	48							50
%Chg				-33	-28	-37	-44							-41
Dose					0.625	1.25	2.5							
PEF	L/sec	6.62	7.17	6.93	5.67	5.73	3.54							5.54
%Ref			108	105	86	87	53							84
%Chg				-3	-18	-17	-49							-20

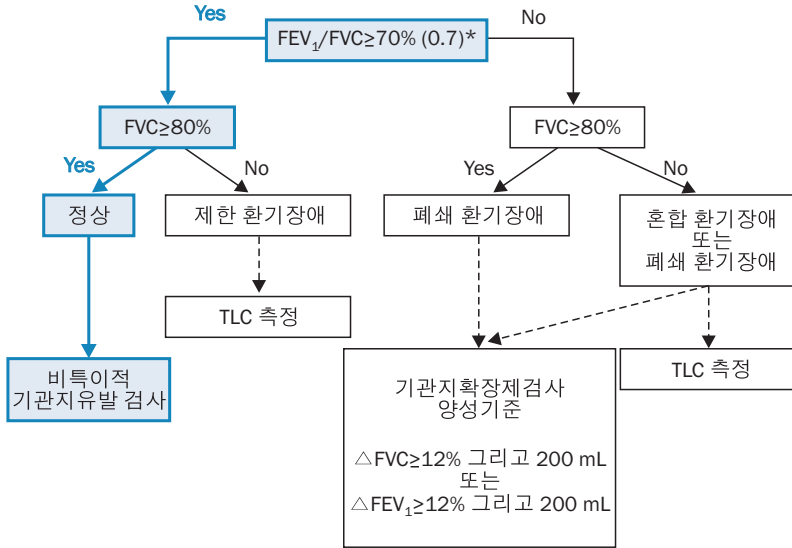


4. 흉부엑스선



5. 판정: 천식

6. 해석: 진단단계에서 아래의 해석표에 따라 구분한다.



- FEV₁/FVC가 70% 이상이면서 FVC가 80% 이상으로 정상이다.
- 추가 시행한 비특이 기관지유발검사인 메타콜린 유발검사에서 양성(PC 20=1.63mg/ml)으로 천식으로 판단된다.

● 2016 폐기능검사 지침 ●

ISBN: 979-11-953666-6-8

발행일 : 2016년 7월 25일

발행처 : 대한결핵 및 호흡기학회
(06652) 서울특별시 서초구 반포대로 58
서초아트자이 101동 605호
E-mail: katrd@lungkorea.org

편집 및 제작: (주)메드랑
(04001) 서울특별시 마포구 월드컵북로 5가길 8-17
E-mail: info@medrang.co.kr