

연구보고서

폐활량검사의 정상의 아래한계치(LLN) 도입 가능성 탐색연구

이지혜·원용림·이화연·김용진

산업재해예방

안전보건공단

산업안전보건연구원



요약문

- 연구기간 2023년 1월 ~ 2023년 11월
- 핵심단어 폐활량검사, 정상의 아래한계치, 국민건강영양조사, 특수건강진단
- 연구과제명 폐활량검사의 정상의 아래한계치(LLN) 도입 가능성 탐색연구

1. 연구배경

2019년 미국 흉부학회(American thoracic society, ATS)에서는 전통적으로 직업성 호흡기질환으로 여겨지지 않았던 다양한 비악성호흡기질환이 직업과 관련이 있다고 보고하였으며 질환의 예방을 위해서는 호흡기 이상 징후에 대한 정확한 판단이 요구된다고 하였다. 직업성 호흡기질환의 조기 발견을 위해 국내에서는 특수건강진단 시에 폐활량검사(spirometry)를 수행하고 있다. 실무지침에서 소개하는 폐활량검사 해석은 1초율 70%를 기준으로 정상(70% 이상)과 이상(70% 미만)으로 구분한 후 FVC의 예측치 대비 관측치%가 80% 이상이면 폐쇄 환기장애로 판단한다. 하지만 FEV1/FVC 비율은 연령에 따라 감소하므로 이러한 고정기준을 사용하면 젊은 근로자에서 위음성 결과가, 나이가 많은 근로자에서는 위양성 결과가 발생하게 된다. 이에 ATS/ERS에서는 고정 기준 대신에 비정상으로부터 정상을 구분할 수 있도록 정상의 아래한계치(lower limit of normal, LLN)를 사용할 것을 권고한다.

한국에서도 KOSHA GUIDE(H-129-2021)에서 고정 기준과 함께 LLN의 개념을 포함하여 환기기능 장애의 유형을 제시하고 있다. 따라서 외국에서 LLN를 어떻게 활용하고 있는지에 대하여 고찰하고, 국내에서도 LLN 도입이 필요한지 여부에 대한 검토가 필요하다.

2. 주요 연구내용

○ 외국에서 LLN 활용 여부

- 미국 산업안전보건연구원 홈페이지에서는 미국국민건강영양조사 3기 자료를 기반으로 다중회귀분석 방법을 사용하여 자동으로 LLN을 계산해 주는 사이트를 운영하고 있었다. 유럽 호흡기학회에서는 한국과 중국의 일부 지역을 포함한 동북아시아인식을 사용하여 LLN을 계산해 주는 사이트가 있다. 일본에서도 일본호흡기학회 홈페이지에 제공되고 있는 엑셀 함수를 이용하여 LLN을 계산할 수 있었다.

○ 국내에서 LLN 도입 필요성

- LLN은 고정 기준과 달리 연령 등에 따라 달라지는 값이며 매우 객관적인 방법으로 특히 젊은 피험자에서 폐기능 이상을 민감하게 발견할 수 있을 것으로 기대된다. 이에 우리나라에서도 LLN 도입은 매우 필요한 상황이다. 다만 판정시에는 폐활량 값을 직관적으로 보는 것이 능률적이므로 외국처럼 LLN을 자동으로 계산해 주는 프로그램 개발이 필요하다.

○ 한국에서 LLN을 도입하기 위해 사용할 수 있는 자료원

- 기존에 한국인을 대상으로 예측식 개발에 사용되었던 자료원으로는 국민건강영양조사 자료와 특수건강진단 자료가 있다. 국민건강영양조사 자료는 한국인에 대한 대표성이 있는 자료원으로 다양한 연구에서 다양한 년도의 국민건강영양조사 자료를 활용한 예측식 개발에 사용되었다. 하지만 흡연자를 제외하고 나면 남성 대상자가 매우 적어 해석에 주의가 필요하다. 반면에 특수건강진단 자료는 여성 근로자의 비율이 낮으며 대표성의 문제와 건강근로자 효과로 일반 인구집단에 비해 LLN이 상대적으로 높을 것으로 추정된다.

- 그렇기 때문에 LLN 도입을 위해서 사용할 자료원과 년도에 대해서는 각각의 장단점을 고려하여 관계자 및 전문가의 충분한 논의를 거쳐 선정해야 한다.

3. 연구 활용방안

- 본 연구 결과를 폐기능검사 LLN 도입을 위한 후속 연구에 적용할 수 있다. 또한 특수건강진단 폐활량검사 관련 지침 개발 및 교육 자료로 활용 가능하다.

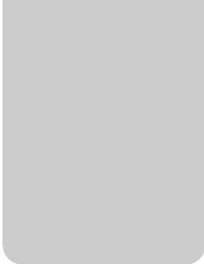
4. 연락처

- 연구책임자 : 산업안전보건연구원 역학조사부 부장 이지혜
 - ☎ 052) 7030. 870
 - E-mail jhlee01@kosha.or.kr

목 차

I. 서론	1
1. 연구의 필요성	2
2. 연구목적	3
II. 연구내용 및 방법	5
1. 연구내용	6
2. 연구방법	7
1) 문헌고찰	7
2) LLN 도입 필요성 검토	7
3) 자료탐색	7
4) 전문가 및 관계자 회의	9
5) 통계분석	9
III. 연구결과	11
1. 폐활량검사 관련 문헌고찰	12
1) 폐활량검사의 해석	12
2) 적절한 예측식의 적용	14

2. 국외 LLN 산출 자료원 및 계산방법 고찰	15
1) 미국산업안전보건연구원 홈페이지에서 제시된 LLN 산출 방법과 자료원 고찰	17
2) 유럽호흡기학회 홈페이지에서 제시된 LLN 산출 방법과 자료원 고찰 ...	23
3) 일본호흡기학회 홈페이지에서 제시된 LLN 산출 방법과 자료원 고찰 ...	34
3. 국내에서 현재 사용하는 참고치 산출식에 사용된 자료원과 계산 방법 고찰	38
1) 최정근 식을 중심으로 국내에서 사용하는 참고치 산출식에 사용되는 자료원 고찰	38
2) 특수건강진단 폐활량검사 DB를 사용하여 LMS 방법을 사용한 참조 방정식 고찰	41
3) 국민건강영양조사 DB를 사용하여 LMS 방법을 사용한 참조 방정식 고찰	44
4) 국민건강영양조사 DB를 사용하여 회귀방정식을 사용한 참조 방정식 고찰	46
5) 국내와 국외 각 자료원 별 계산 방법 및 장단점 비교	47
4. LLN 도입 필요성 검토	58
5. 자료분석	59



목 차

1) 국민건강영양조사 자료	59
2) 특수건강진단 자료	96
6. 전문가 및 관계자 회의	110
IV. 고찰 및 결론	113
1. 폐활량검사의 LLN 도입 제언	114
2. 폐활량검사 추가 연구 제안	117
참고문헌	118
Abstract	127

표 목차

〈표 II-1〉 국민건강영양조사 자료에서 수집 가능한 항목	8
〈표 II-2〉 특수건강진단 폐활량검사 결과자료에서 수집 가능한 항목	9
〈표 III-1〉 전통적 다중회귀분석방법의 4가지 통계학적 가정	23
〈표 III-2〉 LMS 방법의 통계학적 이점	24
〈표 III-3〉 유럽호흡기학회에서 제공하는 요금 플랜	31
〈표 III-4〉 폐활량검사 입력변수	31
〈표 III-5〉 폐활량검사 출력변수	32
〈표 III-6〉 일본 성인에서 성별에 따른 폐활량 예측식	36
〈표 III-7〉 최정근 식의 대상자 제외 및 포함 기준	38
〈표 III-8〉 최정근 식의 백분율 연령 예측값의 LLN	39
〈표 III-9〉 분석 표본 포함 및 배제 기준	41
〈표 III-10〉 특수건강진단 DB를 활용한 성별에 따른 폐활량 예측식	42
〈표 III-11〉 국민건강영양조사 DB를 활용한 성별에 따른 폐활량 예측식	44
〈표 III-12〉 외국 인구를 대상으로 도출된 폐기능검사 예측식에 대한 문헌 ..	49
〈표 III-13〉 우리나라 인구를 대상으로 도출된 폐기능검사 예측식에 대한 문헌 ..	51
〈표 III-14〉 국내와 국외 각 예측식 산출 자료원의 장단점	56
〈표 III-15〉 국민건강영양조사 2007년 폐기능검사 대상자의 일반적 특성	61
〈표 III-16〉 국민건강영양조사 2007년 폐기능검사 남성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성	63

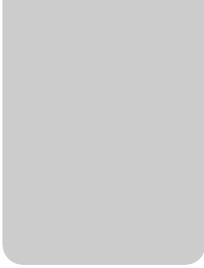
표 목차

〈표 III-17〉 국민건강영양조사 2007년 폐기능검사 여성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성	65
〈표 III-18〉 국민건강영양조사 2007년 폐기능검사 대상자의 연령군별 FVC, FEV ₁ , FEV ₁ /FVC%	66
〈표 III-19〉 국민건강영양조사 2008년 폐기능검사 대상자의 일반적 특성	67
〈표 III-20〉 국민건강영양조사 2008년 폐기능검사 남성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성	69
〈표 III-21〉 국민건강영양조사 2008년 폐기능검사 여성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성	71
〈표 III-22〉 국민건강영양조사 2009년 폐기능검사 대상자의 일반적 특성	73
〈표 III-23〉 국민건강영양조사 2009년 폐기능검사 남성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성	75
〈표 III-24〉 국민건강영양조사 2009년 폐기능검사 여성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성	77
〈표 III-25〉 국민건강영양조사 2016년 폐기능검사 대상자의 일반적 특성	79
〈표 III-26〉 국민건강영양조사 2016년 폐기능검사 남성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성	81
〈표 III-27〉 국민건강영양조사 2016년 폐기능검사 여성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성	83
〈표 III-28〉 국민건강영양조사 2017년 폐기능검사 대상자의 일반적 특성	85

〈표 III-29〉 국민건강영양조사 2017년 폐기능검사 남성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성	87
〈표 III-30〉 국민건강영양조사 2017년 폐기능검사 여성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성	89
〈표 III-31〉 국민건강영양조사 2018년 폐기능검사 대상자의 일반적 특성	91
〈표 III-32〉 국민건강영양조사 2018년 폐기능검사 남성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성	93
〈표 III-33〉 국민건강영양조사 2018년 폐기능검사 여성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성	95
〈표 III-34〉 특수건강진단 2018년 폐기능검사 대상자의 일반적 특성	97
〈표 III-35〉 특수건강진단 2018년 폐기능검사 남성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성	99
〈표 III-36〉 특수건강진단 2018년 폐기능검사 여성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성	101
〈표 III-37〉 특수건강진단 2019년 폐기능검사 대상자의 일반적 특성	103
〈표 III-38〉 특수건강진단 2019년 폐기능검사 남성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성	105
〈표 III-39〉 특수건강진단 2019년 폐기능검사 여성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성	107

그림목차

[그림 Ⅲ-1] 폐활량검사 해석 흐름도	12
[그림 Ⅲ-2] 대부분의 특수건강진단기관에서 사용하는 폐활량검사의 해석 기준 ...	13
[그림 Ⅲ-3] 미국 산업안전보건연구원의 폐활량검사 참고치 계산 홈페이지 ...	20
[그림 Ⅲ-4] 미국 산업안전보건연구원의 폐활량검사 계산 연습	22
[그림 Ⅲ-5] 유럽호흡기학회의 폐활량검사 참고치 계산 홈페이지	27
[그림 Ⅲ-6] 유럽호흡기학회의 폐활량검사 참고치 계산 홈페이지에서 인종 선택 ..	28
[그림 Ⅲ-7] 일본호흡기학회의 폐활량검사 참고치 계산 홈페이지	37
[그림 Ⅲ-8] 일본호흡기학회의 폐활량검사 참고치 계산 파일	37



약어정리

ACOEM:	American College of Occupational Safety and Environmental Medicine
AIC:	Akaike's Information Criterion
APSR:	Asian Pacific Society for Respiriology
ATS:	American Thoracic Society
BEV:	Back-Extrapolated Volume
BMI:	Body Mass Index
BTPS:	Body Temperature, Ambient Barometric Pressure, Saturated with Water Vapor
CI:	Confidence Interval
COPD:	Chronic Obstructive Pulmonary Disease
CT:	Computerized Tomography
CWHSP:	Coal Workers' Health Surveillance Program
DLCO:	Diffusing Capacity of the Lung for CO
EOFE:	End of Forced Expiration
EOT:	End of Test
ERS:	European Respiratory Society
ERV:	Expiratory Reserve Volume
EVC:	Expiratory Vital Capacity
FEF:	Forced Expiratory Flow
FET:	Forced Expiratory Time
FEV _{0.75} :	Forced Expiratory Volume in the First 0.75 Seconds

약어정리

FEV ₁ :	Forced Expiratory Volume in One Second
FIF:	Forced Inspiratory Flow
FIVC:	Forced Inspiratory Vital Capacity
FR:	Fixed Ratio
FRC:	Functional Residual Capacity
FVC:	Forced Vital Capacity
GLI:	Global Lung Foundation Initiative
GOLD:	Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease
IC:	Inspiratory Capacity
ISO:	International Organization for Standardization
IVC:	Inspiratory Vital Capacity
JRS:	Japanese Respiratory Society
KCDA:	Korea Disease Control and Prevention Agency
KNHANES:	Korea National Health and Nutrition Examination Survey
LABA:	Long-Acting Beta-Agonist
LAMA:	Long-Acting Muscarinic Antagonist
LLD:	Limit of Longitudinal Decline
LLN:	Lower Limit of Normal
LMS:	Least Mean Square
NCHS:	National Center for Health Statistics
NHANES III:	The Third National Health and Nutrition Examination Survey
NIOSH:	National Institute for Occupational Safety and Health

OECD:	Organization for Economic Co-operation and Development
OR:	Odds Ratio
OSHA:	Occupational Safety and Health Administration
PEF:	Peak Expiratory Flow
PFT:	Pulmonary Function Test
RSD:	Residual Standard Deviation
RV:	Residual Volume
SABA:	Short-Acting Beta-Agonist
SAMA:	Short-Acting Muscarinic Antagonist
SD:	Standard Deviation
SEE:	Standard Error of Estimate
TDI:	Toluene-2,4-diisocyanate
TLC:	Total Lung Capacity
VC:	Vital Capacity
WHO:	World Health Organization

I. 서론



I. 서론

1. 연구의 필요성

특수건강진단은 산업안전보건법 제 130조 및 동법 시행규칙 제 201조에 의거하여 사업주가 유해인자에 노출되는 업무에 종사하는 근로자에게 시행하고 있다(산업안전보건법, 2023). 특수건강진단은 직업병 예방과 근로자의 건강보호 및 증진을 위한 중요한 수단으로 한국에서 산업보건의 발전과 함께 해온 역사적 의미를 지니고 있다(근로자 건강진단 실무지침, 2023). 1999년에는 근로자 건강진단 실무지침이 제정되었고 2013년에는 야간 작업 관련 내용이 추가된 제 4차 개정이 이루어졌다. 근로자 건강진단 실무지침 내용 중 호흡기계와 관련해서는 임상진찰 외에 흉부방사선 검사, 폐활량검사(spirometry), 객담세포 검사 등을 실시할 수 있다고 기술되어 있다. 폐활량검사는 근로자가 들이마시고 내쉬는 공기의 유량과 용적, 호기시간 등을 측정하는 검사로 폐용적의 감소와 기도의 폐쇄여부를 확인할 수 있는 검사 방법이다(Miller et al., 2005).

2019년 미국 흉부학회(American thoracic society, ATS)에서는 전통적으로 직업성 호흡기질환으로 여겨지지 않았던 다양한 비악성호흡기질환이 직업과 관련 있을 수 있음을 보고하였으며 예방을 위해서는 호흡기 이상 징후에 대한 정확한 판단이 요구된다고 제시하였다(Graham et al., 2019). 폐활량검사의 해석은 임상양상을 고려해야 하며, 검사실마다 판정 기준의 차이가 있다. 근로자 건강진단실무지침에서 소개하는 폐활량검사 해석은 1초율(FEV₁/FVC 비) 70%를 기준으로 정상(70% 이상)과 이상(70% 미만)으로 구분한 후 FVC의 예측치 대비 %를 확인하여 80% 이상이면 폐쇄 환기장애로, 80% 미만이면 혼합 또는 폐쇄 환기장애로 판단한다. 하지만 이러한 고정기준을 사용하면 연령에 따라 위양성 및 위음성이 발생할 수 있어서 ATS/ERS에서는 고정된 값 대신에 비정상으로부터 정상을 구분할 수 있도록 정상의 아래한계치(lower limit of normal, LLN)의

5번째 백분위수(percentile)를 사용할 것을 권고한다.

한국에서도 2021년 개정된 KOSHA GUIDE(H-129-2021)에서 고정값과 함께 LLN의 개념을 포함하여 환기기능 장애의 유형을 제시하고 있다. 따라서 LLN에 대하여 고찰하고 국내에서 도입 가능성 여부에 대한 검토가 필요하다.

2. 연구목적

본 연구에서는 폐활량검사의 합리적 결과해석을 유도하기 위한 방안을 모색하는데 그 목적이 있다.

이에 따라

첫째, 외국에서 사용하는 LLN을 산출하는 방법에 대하여 고찰한다.

둘째, 국내에서도 LLN 도입의 필요성에 대하여 검토한다.

셋째, LLN을 도입하기 위해 사용 가능한 자료원을 분석한다.

II. 연구내용 및 방법



II. 연구 내용 및 방법

1. 연구내용

1) 국외 LLN 산출 자료원 및 계산방법(equation) 고찰

- 미국 산업안전보건연구원(NIOSH) 홈페이지에서 제시된 LLN 산출 방법과 자료원 고찰
- 유럽 호흡기학회(ERS) 홈페이지에서 제시된 LLN 산출 방법과 자료원 고찰
- 일본 호흡기학회(JRS) 홈페이지에서 제시된 LLN 산출 방법과 자료원 고찰

2) 국내에서 사용하는 참고치(reference value) 산출식에 사용된 자료원과 계산 방법 고찰

- 최정근 식을 중심으로 국내에서 사용하는 참고치 산출식에 사용되는 자료원 고찰
- 국내와 국외 각 자료원 별 계산 방법(equation) 및 장단점 비교

3) 국내 LLN 도입의 필요성과 가용한 자료원 검토

- LLN 계산이 가능한 폐활량검사기기 현황 파악
- 국내에서 LLN 도입의 필요성에 대하여 검토
- 국내에서 LLN을 도입하기 위해 가용한 자료원 및 원시자료 제공 여부 검토
- 국내에서 가용한 자료원들의 적용가능성 비교

2. 연구방법

1) 문헌고찰

- 미국 산업안전보건연구원 홈페이지와 유럽 호흡기학회 홈페이지, 일본 호흡기학회 홈페이지를 중심으로 LLN 산출 방법과 자료원 고찰
- 최정근 식을 중심으로 국내에서 사용하는 참고치 산출식에 사용되는 자료원과 계산 방법 고찰

2) LLN 도입 필요성 검토

- 국내에서 LLN 도입 필요성 검토
- 국내에서 LLN을 도입하기 위해 국민건강영양조사와 특수건강진단 자료 등 가용한 자료원 및 원시자료 제공 여부 검토

3) 자료탐색

(1) 국민건강영양조사 자료

- 국민건강영양조사의 각 기수별 폐기능검사 조사 연령 등 인구학적 변수 파악
- 폐기능검사 관련 변수 종류 및 흡연력 등 설문 항목 파악
- 각 회차 자료를 LLN 계산에 사용할 경우의 장단점 분석

국민건강영양조사는 국민건강증진법에 따라 매년 만 1세 이상 가구원 약 1만명에 대한 건강수준, 건강관련 의식 및 행태, 식품 및 영양섭취실태 조사를 통해 국가 단위의 통계를 산출하는 전국 규모의 조사이다. 만성질환을 타겟으로 하고 있으며 국민건강영양조사 결과는 국민의 건강수준 평가를 통해 건강정책에 사용할 뿐 아니라 세계보건기구와 경제협력개발기구에서 필요한 국가 간 건강수준

비교 및 건강증진과 질병 예방을 위한 연구에 활용되고 있다. 국민건강영양조사 자료는 <https://knhanes.kdca.go.kr/knhanes> 에서 다운로드 받을 수 있다.

국민건강영양조사자료에서 수집 가능한 항목은 다음 표와 같다<표 II-1>.

<표 II-1> 국민건강영양조사 자료에서 수집 가능한 항목

국민건강 영양조사자료 (DB)	<ul style="list-style-type: none"> • 나이, 성별, 키, 몸무게 • FVC, FVC%, FEV₁, FEV₁%, FEV₁/FVC, 폐활량검사 판정결과, 조사년도 • 설문자료(흡연력, 흡연년수, 흡연량, 호흡기계 병력, 심장관련 질환, 기타 암과 근육계질환력 등) • 국민건강영양조사 제2기(2001), 제4기(2007-2009), 제7기(2016-2018)의 폐활량검사 수검자 • 제외) 신체정보(나이, 성별, 키, 몸무게) 입력누락 또는 오류, 주요 결과(FVC, FVC%, FEV₁, FEV₁%) 입력누락 또는 오류(FEV₁ > FVC) 자료
---------------------------------	--

(2) 특수건강진단 폐활량검사 자료

- 특수건강진단 폐활량검사 자료에서 조사 연령 등 인구학적 변수 파악
- 특수건강진단 자료에서 활용가능한 변수 및 흡연력 등 설문 항목 파악

특수건강진단은 산업안전보건법 제 130조에 따라 유해인자에 노출되는 업무에 종사하는 근로자의 건강관리를 위하여 사업주가 실시하는 건강진단이다. 특수건강진단기관에서는 자료를 안전보건공단에 송부하고 있다.

특수건강진단 폐활량검사결과자료에서 수집 가능한 항목은 다음 표와 같다 <표 II-2>.

〈표 II-2〉 특수건강진단 폐활량검사 결과자료에서 수집 가능한 항목

특수건강진단 폐활량검사 결과자료 (DB)	<ul style="list-style-type: none"> • 생년월일, 성별, 키, 몸무게 • 노력성폐활량(FVC), FVC의 예측치 대비 %(FVC%), 1초간 노력성 호기량(FEV₁), FEV₁의 예측치 대비 %(FEV₁/FVC%), 폐활량검사 판정결과, 흉부방사선 판정결과, 호흡기계 판정결과, 검진일자 • 문진자료(흡연력, 호흡기계 병력, 심장관련 질환) • 최근 5년간 폐활량검사를 수행한 근로자의 자료 • 제외) 중복, 외국인, 신체정보(나이, 성별, 키, 몸무게) 입력누락 또는 오류, 주요 결과(FVC, FVC%, FEV₁, FEV₁%) 입력누락 또는 오류 (FEV₁ > FVC) 자료
---	--

(3) 국내에서 가용한 자료원들의 적용가능성 비교

4) 전문가 및 관계자 회의

5) 통계분석

각 자료원에 대하여 대상자의 성별 및 연령 특성 분포 등의 확인을 위해 기술통계와 빈도분석을 실시하였다. 자료분석은 SPSS statistics 28.0 for Windows(IBM Co., NY, USA)를 사용하였다. 본 연구는 산업안전보건연구원 생명윤리위원회의 심의면제 확인 후 진행되었다(OSHRI-202303-HR-008).

Ⅲ. 연구결과

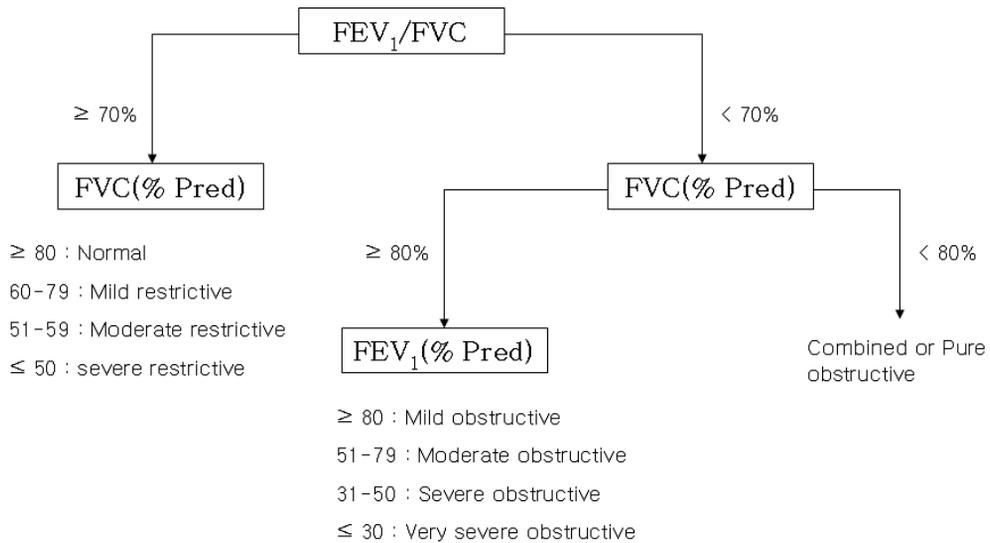


Ⅲ. 연구결과

1. 폐활량검사 관련 문헌고찰

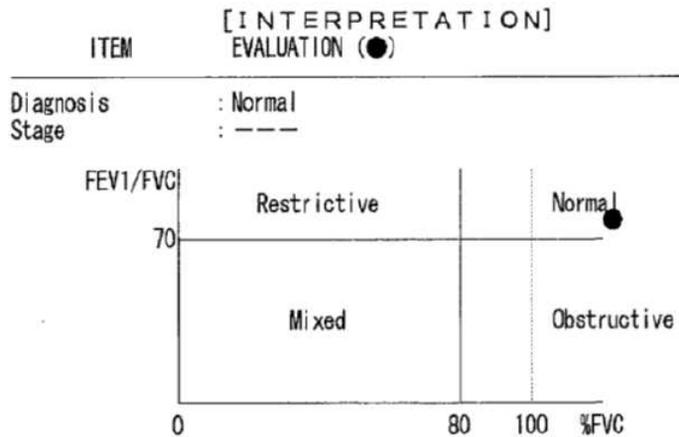
1) 폐활량검사의 해석

폐활량검사(spirometry)에서 FVC(% Pred)(forced vital capacity, 노력성 폐활량)과 1초율(FEV₁/FVC %)의 두 가지 지표를 이용하여 폐의 환기 장애를 제한성, 폐쇄성, 혼합성으로 분류하고 있다(근로자 건강진단 실무지침, 2022). 근로자 건강진단 실무지침(2023년)에서 소개하는 폐활량검사 해석 흐름도를 보면 1초율(FEV₁/FVC) 70%를 기준으로 정상(70% 이상)과 이상(70% 미만)으로 구분한 후 FVC의 예측치 대비 %를 확인하여 80% 이상이면 폐쇄 환기장애로 판단한다[그림 Ⅲ-1].



[그림 Ⅲ-1] 폐활량검사 해석 흐름도(근로자건강진단 실무지침)

한편 대부분의 특수건강진단 기관에서는 일반적으로 폐활량검사 결과 출력시에 그림 2처럼 환기장애 결과가 함께 출력되어 나오게 된다(원용림 등, 2019)[그림 III-2].



[그림 III-2] 대부분의 특수건강진단기관에서 사용하는 폐활량검사의 해석 기준

하지만 FEV₁/FVC 비율은 연령에 따라 감소하기 때문에 70%와 같은 고정된 값을 사용하여 폐쇄성 질환을 결정하면 젊은 근로자(25-45세)의 경우 위음성 결과가, 나이가 많은 근로자(남성 > 45세, 여성 > 55세)의 경우 위양성 결과가 발생할 수 있다(Roberts et al., 2006). 이에 고정기준이 문제가 있는 사람을 선별하는데 적절한 기준이 맞는지 재평가할 필요가 있다.

ATS/ERS 및 ACOEM은 FEV₁/FVC에 대해 고정된 값 대신에 비정상으로부터 정상을 구분할 수 있도록 정상의 아래 한계치(lower limit of normal, LLN)를 사용할 것을 권고하였다(Pellegrino et al., 2005; Townsend MC, 2011). 국제적인 기관인 Global Lung Function Initiative(GLI)에서도 LLN을 사용하여 폐기능검사 결과 해석을 권장하고 있다. LLN은 FVC, FEV₁, FEV₁/FVC% 각각에 대해 인종, 성별, 나이에 따라 다른 값으로 계산되는데, 계산식은 예측식 개발 시 별도의 통계처리에 의해 정해진다. 미국의 산업안전

보건연구원이나 유럽호흡기학회에서는 홈페이지에서 LLN이 자동 계산되는 프로그램을 운영하고 있다.

한편, LLN의 정의에 따르면 건강한 인구의 5%도 LLN 아래로 떨어질 것이라는 단점이 있다.

근로자 건강진단 실무지침에서 2015년 3월 개정시에 LLN 내용이 판정에 적히게 되었고(명준표 등, 2016) 2021년 개정된 KOSHA GUIDE(H-129-2021)에서는 LLN의 개념을 포함하여 환기기능 장애의 유형을 폐쇄 환기장애, 제한 환기장애, 혼합 환기장애로 제시하고 있다.

2) 적절한 예측식의 적용

한국인에 적절한 예측식을 산출하기 위한 연구는 지속적으로 수행되었고 최정근 등(2005), Eom et al.,(2013) 및 Jo et al.,(2018)은 국민건강영양조사 자료를 활용하여 예측식을 개발하였다. 최정근식은 2001년 국민건강영양조사의 폐활량검사 결과를 활용하였고, 현재 특수건강진단기관에서 가장 널리 사용되고 있다. 최정근식은 대부분의 다른 예측식과 달리 FVC 예측치 계산에 몸무게가 변수에 포함되어 있다(최정근 등, 2005). GLI 2012식(동북아시아인)은 최정근식의 자료를 활용하여 유럽에서 개발한 예측식이다(Quanjer et al., 2012).

최정근식과 GLI 2012(동북아시아인)식의 가장 큰 차이점은 통계방법의 차이이다. 최정근식은 다중회귀분석방법을 이용하였지만 GLI 2012식은 LMS 방법(least mean square, 최소평균 자승법)을 사용하였다. 이 LMS 방법은 기존 회귀분석이 가진 한계점을 보완한 방법으로 평가되고 있으며(명준표 등, 2016), 일본 등에서 자국의 예측식에 LMS 방법을 적용하고 있는 추세이다(Kubota et al., 2014; Jo et al., 2018). 원용립 등(2020)은 최정근식과 GLI 2012식의 판정일치도를 분석하였고 $K=0.632$ 로 '상당한 일치도'를 보였다. 최정근식을 사용하는 기관이 많은 점을 고려하여 판정 일치도를 높이기 위해서는 최정근식에 보정계수 값을 적용하는 방법이 현실적으로 가능하다. 보정계수 0.95 값에서

$K=0.81$ 이상의 높은 판정일치도를 보여 남녀 모두에서 이 보정계수 값이 적용가능한 것으로 제시하였다(원용립, 2020).

최근에는 머신러닝 방법을 사용하여 폐기능검사 참고치 계산에 활용하고 있다. Kristensen 등(2023)은 머신러닝 방법인 무작위숲(random forest)을 사용하여 참고치 계산에 활용하였다. 미국국민건강영양조사에서 23,433명의 폐활량검사 데이터를 추출하였으며 random forest 모델로 예측 모델을 개발하였다. 연구결과 random forest와 같은 머신러닝 모델은 개별 환자에 대한 예측 능력을 향상시킬 수 있었으며 이런 예측값은 참고치로 사용할 수 있다고 결론지었다.

2. 국외 LLN 산출 자료원 및 계산방법(equation) 고찰

폐활량검사 참조 식(Spirometry reference equations)에서 계산된 예측값은 검사 대상 근로자와 같은 연령, 성별, 키 및 인종 다수의 건강한 사람들로 부터 관찰된 평균 또는 평균 값이다(NIOSH, 2003). 예측값은 실제로는 정규 값의 다소 넓은 종 모양 분포(범위)의 가운데에 있다. 예를 들어, 일부 건강한 사람들은 FVC 값이 예측값보다 20% 더 낮을 수 있다.

정상의 아래한계치(LLN)는 해당 한계치보다 낮은 값이 비정상적으로 간주되는 척도이다. 일반적으로 "정상" 모집단의 95%가 LLN 값보다 높은 값을 가지도록 설정되며 이에 따라 5%의 "정상" 모집단은 LLN 미만의 값을 갖는다. LLN은 FEV₁과 FVC에 대한 예측값의 약 80%이지만, FEV₁/FVC 비율에 대한 예측값의 약 90%, FEF_{25-75%}에 대한 예측값의 약 60%이다. 그러나 이는 대략적인 "경험법칙"일 뿐이며 정확한 LLN은 참조 식을 사용하여 결정해야 한다. 인종 보정계수(0.85)를 사용하는 경우 동일한 인종 보정계수를 LLN 값에 적용해야 한다.

폐활량측정의 비정상 값은 다음 3가지 패턴 중 하나로 나타낼 수 있다 : 폐쇄성, 제한성 또는 복합성. 폐기종이나 만성 천식과 같은 폐쇄성 폐질환이 있는 근로자는 종종 비정상적으로 낮은 FEV₁/FVC 및 낮은 FEV₁(LLN 미만)을 보인다. 석면폐증과 같은 폐섬유증이 있는 근로자는 종종 FVC가 비정상적으로 낮지만 FEV₁/FVC는 일반적으로 LLN보다 높다. 규산 또는 탄광 먼지와 같은 특정 먼지에 노출된 사람은 비정상 패턴 또는 FEV₁/FVC와 FVC가 모두 LLN 미만으로 감소하는 복합 패턴을 나타낼 수 있다.

명확한 건강 문제가 없는 근로자의 폐활량검사 결과가 때때로 LLN보다 살짝 낮게 나타나는 경우가 있다. 반대로 폐활량검사서 높은 FVC, FEV₁ 값을 갖는 것도 흔하게 나타난다. 실제로 블루칼라 직업에 종사하는 대다수의 사람들은 일을 시작하면 폐기능이 평균보다 상당히 높아져 "건강 근로자 효과" 현상이 나타난다. 고등학교, 직업학교 또는 대학(폐가 아직 성장하는 동안)에서 뛰어난 운동 선수였던 젊은 성인은 FVC 예측값의 120% 이상을 가질 수 있다. 한편, 예측 값의 140%를 넘는 경우는 드물기 때문에 이런 일이 발생하면 직원의 나이나 키를 정확하게 측정, 기록, 전사, 입력했는지 반드시 확인해야 한다. 비정상적으로 높은 백분율 예측 값이 오류로 설명될 수 없는 경우 폐활량계의 보정을 확인해야 한다.

폐활량검사의 예측식은 연구자마다 변수와 상수, 설명력 등에서 다소 차이가 있다. 이러한 이유는 대상자의 선정과 최종적인 정상범위의 판단기준, 폐활량 검사방법, 폐활량검사기기, 측정 조건, 통계적 방법 등의 차이 때문이다. 동일한 인구집단을 대상으로 개발된 예측식들 간에도 연구자마다 차이가 있기 때문에 예측식을 선택하는 기준에 대해 미국 흉부학회(Thoracic Society, 1991)는 측정방법상의 기준과 역학적 기준, 통계학적 기준을 제시하고 있으며, 이 조건들은 폐활량검사의 예측식을 구할 때 고려해야 한다고 기술하였다(American Thoracic Society, 1991).

유럽의 경우 LLN을 기준으로 만성폐쇄성폐질환과 천식의 진단과 경과를 파악하는데 적극적으로 활용하고 있다. 이는 개인의 맞춤형 치료에 있어 핵심 요소이다.

1) 미국산업안전보건연구원(NIOSH) 홈페이지에서 제시된 LLN 산출 방법과 자료원 고찰 (Hankinson et al., 1999)

미국 산업안전보건연구원이 제공하고 있는 자료원 중에서 Knudson식은 1976년 자료를 사용하여 출생-코호트 효과(birth-cohort effect)가 발생하였다고 판단하여 더 최근에 수행된 미국 NHANES III 자료를 사용한 Hankinson et al(1999)의 연구를 고찰하였다.

Hankinson et al의 연구는 1994년부터 1998년까지 수행된 NHANES III(National Health and Nutrition Examination Survey) 자료를 사용하였다. NHANES III의 중요한 사항으로 1987년 미국 흉부 학회(American Throacic Society, ATS)의 폐활량계 권장 사항을 충족하는 장비 및 절차를 사용한 점과 테스트 수행 중 자동화된 품질 평가를 특징으로 한다.

폐활량검사는 20,627명의 설문 참여자(성인 16,484명 및 청소년 4,143명)에서 수행되었다. 참고치(reference value) 개발에 사용하기 위해 적어도 두 가지 적합한 기동이 있는 무증상의 평생 비흡연 대상자만 분석에 포함되었다. 이러한 기준을 적용하면 폐활량 측정을 수행한 20,627명의 연구 참가자 중 13,198명이 제거되어 7,429명의 피험자가 남았다. 배제기준으로는 흡연, 천식·만성기관지염·폐기종·폐암, 지난 12개월간 썩썩거림, 지속적인 기침·가래, 중등도 이상 호흡곤란, 부적합한 폐기능검사이다.

참가자(어린이의 경우 대리인, 이상적으로는 부모 또는 보호자)는 성별, 인종, 민족, 건강 및 제한된 직업력에 대한 정보를 수집하는 상세한 관리 설문지를 작성했다. 서 있는 키, 몸무게, 앉은 키를 포함하여 신체 측정도 수행되었다.

분포 정규성에 대한 가정은 Shapiro-Wilk test를 사용하였다. LLN(lower limit of normal, 정상치의 아래한계치) 기준을 계산하기 위한 참조 방정식 및 방정식은 SAS 프로시저 PROC REG 및 PROC UNIVARIATE와 잔차 분포(distribution of residuals) 분석을 위한 그래픽 프로시저를 사용하여 개발되었다. 모델에 포함하기 위해 고려된 독립 변수는 연령, 기립 키, 체중,

얇은 키 및 체질량 지수이다. 모델의 형태와 독립 변수의 선택은 통계적 유의성, 설명된 변동성 비율(fraction of explained variability, R^2), 단순성, 사용 용이성, 신뢰성 및 정도는 낮지만 다른 조사자가 사용할수 있는 방법의 호환성과 관련된 기타 고려 사항의 조합을 기반으로 했다.

남성과 여성으로 나누었고 세 가지 인종/민족 그룹으로 백인, 아프리카계 미국인 및 멕시코계 미국인 각각에 대한 방정식을 개발하였다.

3개의 인종/민족 그룹 각각에 대한 평균 FEV₁ 값 대 연령을 분석하였다. 남성과 여성 성인 모두에 대해 백인 피험자는 전체 연령대에 걸쳐 멕시코계 미국인 피험자보다 평균 FVC 및 FEV₁ 값이 더 높았다. 아프리카 계 미국인 남성과 여성은 백인과 멕시코 계 미국인 피험자보다 평균 FVC 및 FEV₁ 값이 낮았다. 백인 값과 비교하여 멕시코계 미국인의 낮은 FEV₁ 값은 모든 멕시코계 미국인의 연령군에서 평균 키가 낮기 때문일 가능성이 크다($p < 0.0001$). 아프리카계 미국인은 특정 연령에 대해 키가 비슷하지만 FEV₁ 값은 백인과 멕시코계 미국인보다 낮다. 이러한 차이는 신체 구조의 차이 때문일 수 있다. 평균적으로 아프리카계 미국인은 백인보다 몸통:다리 비율이 더 작다. 세 그룹 간의 FEV₁/FVC%에서도 상대적으로 작지만 통계적으로 유의미한 차이를 보여주는데, FVC 및 FEV₁에 대해 관찰된 인종/민족 그룹 간의 차이와 대조적으로 백인 값은 아프리카계 미국인과 멕시코계 미국인보다 약간 낮다.

이러한 변수에 대한 추정의 표준 오차(standard error of the estimate, SEE)는 다음과 같이 모델링되었다.

$$SEE = b_1 \times \text{신장}^2$$

SEE는 아프리카계 미국인 인구에서 약간 더 컸으며 백인 피험자보다 약간 다른 LLN 컷오프가 필요했다.

모집단의 LLN은 다음과 같이 계산되었다. 해당 매개변수의 LLN은 관찰된 하위 5번째 백분위수를 기반으로 한다.

예측치(predicted) - $1.645 \times \text{SEE}$

$$\text{폐기능 매개변수(lung function parameter)} = b_0 + b_1 \times \text{age} + b_2 \times \text{age}^2 + b_3 \times \text{height}^2 \quad (1)$$

예측식에는 H_{tPRD} 계수(b_3 또는 높이의 제곱을 곱한 계수)를 사용하였으며, LLN을 계산할 때 예측치에서 상수를 빼는 대신 H_{tLLN} 계수(b_3)를 H_{tPRD} 대신 사용하였다.

인종/민족 그룹별 남성과 여성의 FEV₁/FVC% 모델에는 연령만 필요하며 일반적인 형식은 다음과 같다.

$$\text{폐기능 매개변수(lung function parameter)} = b_0 + b_1 \times \text{age}. \quad (2)$$

이 연구의 참고 방정식과 백인 피험자에 대한 다른 연구(Crapo 등, Knudson 등, Glindmeyer 등)의 참고 방정식과의 비교하였다. 본 연구의 참고치는 다른 연구의 참고치와 유사 하거나 약간 높은 것으로 나왔다.

미국 산업안전보건연구원은 홈페이지에 참고치와 함께 LLN을 자동으로 계산해주는 사이트를 운영하고 있다.

<https://cdc.gov/niosh/topics/spirometry/refcalculator.html>

사이트에 접속하면 나오는 화면은 [그림 III-3] 과 같다.

Spirometry Reference Value Calculator

[Print](#)

Reference Value Calculator

Enter Age, Height, Gender and Race. To see Percent Predicted, you must enter observed FVC, FEV1, and FEF25-75% values in the appropriate boxes. Click Calculate to calculate the predicted values.

Reference Source: Gender:

Race:

Age:

Height:

Optional Observed Values Below – Enter to calculate Percent Predicted

FVC (L):

FEV1 (L):

FEF25-75% (L/s):

FEV1/FVC%:

Calculated Values

	FVC (L)*	FEV1 (L)*	FEV1/FVC%	FEF25-75% (L/s)*
Predicted>	3.80	2.93	76.7%	2.60
Percent Predicted	90.5%	90.9%	100.8%	Blank
Lower Limit of Normal	3.05	2.29	67.0%	1.31

* - Predicted are for race selected above -- no race correction factor needed.

Disclaimer: This calculator is intended for use with the NIOSH Spirometry Workbook exercises and has NOT been approved by the FDA for clinical use.

[그림 III-3] 미국 산업안전보건연구원의 폐활량검사 참고치 계산 홈페이지

먼저 1999년의 미국 국민건강영양조사(NHANES III) 자료를 이용하거나 1976년 Knudson 식을 이용할지 선택할 수 있고 이후 성별, 인종, 연령, 신장을 기입한다. 인종은 백인, 흑인과 히스패닉을 선택할 수 있다. 그리고 실제 폐활량검사에서 관측된 FVC값과 FEV₁값을 입력하면 FVC, FEV₁, FEV₁/FVC%의 예측값, 예측값 대비 비율, LLN이 자동으로 계산이 되어 표로 제시되게 된다.

NIOSH에서 제공하고 있는 교육자료(spirometry training guide)에서 NHANES III 참조 방정식을 기반으로 하는 약식 표를 제공하고 있다. 이 워크북에 제공된 예제를 완성하고 예측값을 계산하기 위한 폐활량 측정 시스템의 정확성을 검증하기 위한 목적으로 부록 L에 제공되었다. 그러나 이러한 작은 테이블은 높이의 범위와 간격이 제한되어 있기 때문에 근로자의 일상적인 테스트에는 적합하지 않다. 또한 참조 계산기, 노모그램 또는 표를 사용하는지 여부에 따라 약간의 차이(+0.02리터)가 있을 수 있다.

테이블에서 예측된 정규 및 LLN 값을 결정하는 단계는 다음과 같다.

1. 직원의 성별과 인종에 따라 부록 L의 6개 표에서 적절한 표를 선택한다.
직원의 키와 나이를 사용하여 FVC, FEV₁ 및 FEV₁/FVC%에 대한 예상 정상 값과 LLN을 찾는다.
2. 휴대용 계산기를 사용하여 다음과 같이 예측 값의 백분율을 결정합니다.
 - a. 관찰된 FEV₁과 FVC를 예측 결과로 나눈다.
 - b. 답에 100을 곱한다. 소수점 첫째 자리까지 반올림한다.

예:

30세 여성으로 마이애미의 소방관이다. 그녀는 키 4피트 11인치, 135파운드이며 자신이 멕시코계 미국인이라고 말한다. 그녀의 폐활량계 예측 값을 결정하려면 멕시코계 미국인 여성을 위한 부록 L에서 <Table 6> [그림 III-4]를 선택하고 그런 다음 그녀의 키가 첫 번째 열에 150cm로 나열되어 있음에

유의한다. 두 번째 세로 열에서 30세를 찾고 직선 자를 사용하여 이 키의 30세 여성에 대한 예측 값 행에 밑줄을 긋는다. “FVC Pred”라고 표시된 세 번째 세로 열로 이동하여 값 3.21L을 읽는다. 이것은 이 직원에 대한 예상 FVC(리터) (BTPS)이다. 또한 FVC에 대한 정상 값의 하한을 2.60리터로 기록하고 같은 행에서 이 직원에 대한 다른 예측 값과 LLN 값을 기록한다.

그녀의 FVC는 2.85리터(BTPS)로 측정(관찰)되었고 FEV₁은 2.28리터다. 휴대용 계산기를 사용하여 그녀의 FEV₁/FVC가 80.0%인지 확인한다. FEV₁ 퍼센트 예측 값을 결정하려면:

$$\%Pred\ FEV_1 = 100.0 \times \frac{\text{관측된 } FEV_1}{\text{예측된 } FEV_1}$$

그녀의 FVC와 FEV₁은 모두 LLN보다 높았고 둘 다 예측 값의 80%보다 높았다. 그녀의 FEV₁/FVC도 LLN보다 높았다. 이 세 가지 값이 모두 정상 범위 내에 있었기 때문에 그녀의 결과는 정상으로 해석된다.

Table 6. Mexican-American-Females

Height	Age	FVC		FEV ₁		FEV ₁ /FVC%	
		Pred	LLN	Pred	LLN	Pred	LLN
150cm	20	3.29	2.69	2.91	2.40	87.9%	78.5%
	30	3.21	2.60	2.73	2.22	85.6%	76.3%
	40	3.07	2.47	2.54	2.03	83.4%	74.1%
	50	2.89	2.29	2.32	1.81	81.1%	71.8%
	60	2.66	2.06	2.07	1.56	78.9%	69.6%
160cm	20	3.73	3.05	3.28	2.70	87.9%	78.5%
	30	3.65	2.96	3.11	2.53	85.6%	76.3%
	40	3.51	2.83	2.91	2.33	83.4%	74.1%
	50	3.33	2.64	2.69	2.11	81.1%	71.8%
	60	3.10	2.41	2.45	1.87	78.9%	69.6%
170cm	20	4.20	3.43	3.68	3.03	87.9%	78.5%
	30	4.12	3.34	3.51	2.86	85.6%	76.3%
	40	3.98	3.21	3.31	2.66	83.4%	74.1%
	50	3.80	3.03	3.09	2.44	81.1%	71.8%
	60	3.57	2.80	2.85	2.20	78.9%	69.6%

[그림 III-4] 미국 산업안전보건연구원의 폐활량검사 계산 연습

2) 유럽호흡기학회(ERS) 홈페이지에서 제시된 LLN 산출 방법과 자료원 고찰(Quanjer et al., 2012)

미국흉부학회/유럽호흡기학회(ATS/ERS)에서는 폐기능 해석에 있어 해당 인구 집단을 가장 잘 대변하는 예측값을 사용하도록 권장하고 있다. 또한, 예측식은 정기적으로 갱신되어 새로운 기술과 인구학적 특성의 반영을 요한다. Stanojevic 등 (2008)은 LMS 방법(LMS method)을 통해 기존 회귀분석방법을 통한 폐기능 예측식 산출의 한계점을 극복하는 연구를 발표하였다. 이 연구에서 기존 회귀분석 방법을 적용하기 위한 다음 <표 III-1>과 같은 통계학적 가정이 실제와 괴리가 있을 때 한계가 발생함을 피력한 바 있다.

<표 III-1> 전통적 다중회귀분석방법의 4가지 통계학적 가정

전통적 다중회귀분석방법의 4가지 통계학적 가정

- 1) 변수 간에 선형적 관계를 가진다.
- 2) (키나 나이의 변화에 상관없이) 평균치에 대한 각 값들의 변산도가 일정 상수이다.
- 3) 종속 변수는 정규분포를 따른다.
- 4) 공변량들의 영향은 가산적이다.

2012년 유럽호흡기학회(ERS GLI taskforce)에서는 LMS 방법(LMS method)을 통한 폐기능 예측식을 산출하는 접근법을 소개하였다. LMS 방법은 기존의 회귀분석방법과 비교하여 몇 가지 통계학적 이점을 가지고 있으며<표 III-2>, 이를 통해 더욱 실재를 반영한 폐기능 예측식을 도출해 낼 수 있다.

〈표 III-2〉 LMS 방법의 통계학적 이점

LMS 방법의 통계학적 이점

- 1) 중간값 (median, μ) : 키와 몸무게와 같은 설명 변수에 의해 종속 변수가 어떻게 변화하는가를 반영한다.
- 2) 변동계수 (the coefficient of variation, σ) : 표준편차를 평균값으로 나눈 값으로 측정 값들이 평균 주변에 비균일한 분포를 이루는 모델을 보정한다.
- 3) 왜도 (skewness, λ) : Box-Cox 변환(Box-Cox transformation)을 이용하여 정규분포에서 벗어난 분산 모델을 반영한다.

Quanjer 등 (2012)은 유럽호흡기학회 연구를 통하여 대부분의 인종과 전 연령을 아우르는 폐기능 예측식을 발표하였다. 폐기능 데이터를 수집하고 분포군의 평균(μ), 변동 계수(σ) 및 왜도(λ)를 동시에 모델링할 수 있는 LMS 방법을 사용하여 예측식을 도출했다.

GLI 식을 위해 33개국 72센터의 160,000개 이상의 데이터가 수집되었고 이 중에서 사용할 수 없는 데이터는 인종이 누락되었거나 이상치였다. 이를 제거하면 2.5-95세까지 건강한 비흡연자 97,759개(여성이 55.3%)가 포함되었다. 참조 식은 백인($n=57,395$), 아프리카계 미국인($n=3,545$), 북아시아인($n=4,992$) 및 동남아시아인($n=8,255$)의 3-95세 건강한 개인에 대해 도출되었다. 동북아시아인식에는 한국인 뿐만 아니라 중국의 일부 지역이 포함되어 있었다.

제외기준으로는 인종이 불명확하거나 인종군에 맞출 수 없는 경우, 즉 인도 및 파키스탄인, 오만인, 남아프리카인, 필리핀인, 멕시코 시티, 이란인이었다. 천식 의심, 강제호기시간이 1초 미만, 출판 허락을 받지 못한 데이터, 이상치가 있었다.

동북아시아인식에 사용된 자료는 모두 18세 이상이었으며 90세 자료는 중국의 자료로 추정된다. 다만 75-80세 이상의 사람들은 표본 크기가 작아서 예측 방정식을 해석할 때 주의가 필요하다. 동북아시아인식에 사용된 한국 데이터는 최정근 등(2005)에서 사용한 국민건강영양조사 자료를 사용하였다.

예측식은 다음의 형식으로 기술되었다.

$$\log(Y) = a + b \times \log(H) + c \times \log(A) + \text{age-spline} + d \times \text{group}$$

연구결과 인종 군 간의 FEV₁ 및 FVC는 백인과 비례적으로 달랐기 때문에 FEV₁/FVC는 사실상 인종과 독립적으로 유지되었다. 동남아시아인의 FEV₁/FVC를 제외하고 예측 값은 백인에서 가장 높았다. 아프리카계 미국인과 동북아시아인의 FEV₁과 FVC는 백인과 같은 비율로 차이가 났는데, 이는 같은 나이와 키에 대해 폐 크기가 비례적으로 다르다는 것을 의미한다. 폐 기능의 연령 관련 변화는 키가 작은 사람보다 키가 큰 사람에서 더 크다.

LLN은 연령에 따라 달라지는 값이다. 만일 FEV₁/FVC가 < 0.70 (LLN 미만이면)일 경우를 병리학적인 기류 제한이라고 가정하면, 50세 미만에서는 사례가 누락되는 반면, 그 연령 이상에서는 과진단이 발생한다. 따라서 80세에 기준 인구의 20-25%는 예상되는 5% 대신 병리학적 기류 제한과 호환되는 낮은 값을 가질 것이다. 이는 75-80% 위양성 테스트 결과를 나타낸다. ATS와 ERS는 LLN을 정의하기 위해 5번째 백분위수를 사용할 것을 권장한다(예: z-점수 -1.64). z-점수는 측정값이 예측값에서 얼마나 많은 표준편차가 있는지를 나타내는 것으로 연령, 키, 성별 및 인종 그룹으로 인한 편향이 없으므로 LLN을 정의하는데 특히 유용하다. 특히 폐 질환의 사전 증거가 있는 피험자에서는 z-점수 -1.64의 LLN이 임상적으로 권장된다.

GLI식에서는 인종에 따라 변동계수를 달리하여 식을 제시하고 있다. 우리나라의 경우 동북아시아에 포함되어 해당 변동 계수를 선택해 식을 사용할 수 있으나, 같은 지역에 중국 일부 지역이 포함되어 있어 우리나라 인구 고유의 대표성을 반영했다고 보기 어렵다. 또한 출생 코호트 영향에서도 자유롭지 못하다. 일본에서는 자국의 대표성을 가지는 자료를 이용하여 LMS방법을 적용해 고유의 폐기능 예측식을 도출하기도 하였다(Kubota M, 2014). 또한 근로자들의 결과를 평가하는데 있어 기준 집단이 상이하다. 즉, 일반인을 대상으로 평가한 정상

예측치이므로 근로자 건강진단에 활용하는 데 제한점이 있다.

유럽호흡기학회도 홈페이지에 참고치와 함께 LLN을 자동으로 계산해 주는 사이트를 운영하고 있다.

<https://gli-calculator.ersnet.org>

사이트에 접속하면 나오는 화면은 [그림 III-5]와 같다. 홈페이지에는 직접 수치를 입력할 수 있고 또한 엑셀파일을 업로드 할 수 있다.

The screenshot displays the 'CUSTOM CALCULATOR' interface for the European Respiratory Society (ERS) and Global Lung Function Initiative (GLI). The left sidebar contains input fields for 'Age (years)' (55) and 'Height (cm)' (160), a gender selection (Male selected), and a table of spirometry results. The right sidebar features dropdown menus for 'TLCO' and 'Lung volume', a reCAPTCHA security check, and 'Calculate' and 'Reset' buttons. A large grey arrow points from the 'Calculate' button to the right panel.

Measured values	
PRE Bronchodilator	POST Bronchodilator
FEV1 2.66	FEV1
FEV0.75	FEV0.75
FVC 3.44	FVC
FEF25-75 2.60	FEF25-75
FEF75	FEF75

검사 값 입력 후 Calculate 누르면 우측에 아래와 같은 값 출력됨

Print Copy CSV Excel							
Calculator	Index	Measured	Predicted	Z-Score	LLN	ULN	% Predicted
Spirometry - pre-BD	FEV1	2.66	2.982	-0.779	2.291	3.638	89.204
	FVC	3.44	3.742	-0.581	2.891	4.603	91.935
	FEV1/FVC	0.773	0.796	-0.348	0.680	0.896	97.115
	FEF25-75	2.60	2.750	-0.161	1.417	4.524	94.544
	FEV0.75		0.000		0.000	0.000	
	FEF75		0.862		0.366	1.911	
	FEV0.75/FVC	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

[그림 III-5] 유럽호흡기학회의 폐활량검사 참고치 계산 홈페이지

GLI 폐활량검사 태스크포스(GLI Spirometry Task Force)는 연속 예측 방정식과 폐활량지수에 대한 LLN을 유도하였다. 인종 그룹 간의 1초 강제 호기 값(FEV₁)과 강제 폐활량(FVC)은 백인의 값과 비례하게 다른 값을 가졌기 때문에 FEV₁/FVC는 사실상 인종 그룹과 독립적으로 유지되었다. 이 4개 그룹에 속하지 않거나 인종 간 혼혈의 경우, 더 적절한 계산식이 개발될 때까지 해석을 용이하게 하기 위해 위 참조식의 평균으로 계산되는 복합 식이 제공된다.

향후 아프리카뿐만 아니라 인도 아대륙과 아랍, 폴리네시아, 중남미 국가들의 데이터를 추가하여 참조 식을 더욱 개선할 예정이다.

(1) 폐활량검사 - 인종-중립 식

폐기능 해석을 위한 인종별 참조 식의 사용에 의문을 제기하는 새로운 증거에 대응해 GLI는 최근 폐활량검사 해석에서 인종/민족(race/ethnicity)이 입력되지 않는 인종-중립(race-neutral) 식인 GLI-Global을 만들었다. 이 식은 Quanjer 2012 식과 동일한 데이터에서 파생되었지만 각 인종/민족 그룹이 예측 값에 동등하게 기여하도록 확률-역가중치(inverse probability weights)를 적용했다. 단일 "Global" 폐활량 측정 식의 사용은 인구 내, 인구 간에 관찰되는

광범위한 폐 기능을 반영한다. 참조 식의 고유의 한계를 감안할 때, 폐활량검사 해석을 위해 GLI-Global 식을 사용하려면 임상, 고용 및 보험 관련 결정에서 개인의 증상과 병력을 신중하게 고려해야 한다.

GLI-Global 계산식을 통해 계산된 폐활량검사 인종-중립 추정치를 얻으려면 다음 중 하나를 수행해야 한다.

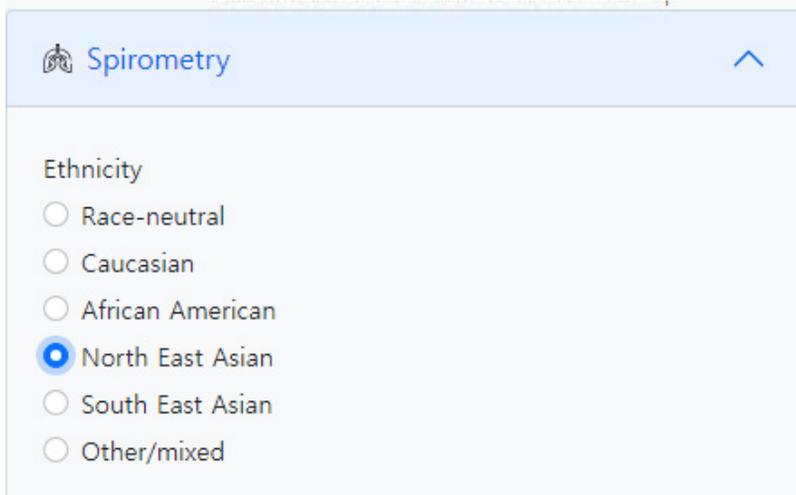
웹페이지의 폐활량검사 섹션에서 "race-neutral"을 선택한다.

엑셀 계산기 또는 API를 사용할 때 모든 사람에게 대해 Ethnic=0을 사용한다.

현재 FEF25-75, FEV0.75, FEV0.75/FVC에 대해서는 인종-중립(race-neutral) 참조 값이 도출되지 않았으며 이러한 매개변수에 대한 예측 값이나 Z값을 반환하지 않는다는 것에 유의해야 한다.

(2) 폐활량검사 인종군(spirometry ethnicity)

한국의 인종은 동북아시아식이다.



The image shows a web interface for Spirometry. At the top, there is a header with a lung icon and the word "Spirometry". Below this, under the heading "Ethnicity", there is a list of radio button options: "Race-neutral", "Caucasian", "African American", "North East Asian" (which is selected with a blue dot), "South East Asian", and "Other/mixed".

[그림 III-6] 유럽호흡기학회의 폐활량검사 참고치 계산 홈페이지에서 인종 선택

(3) GLI 계산기 설명서

이 설명서에서는 단일 및 다중 레코드/개별 처리를 위한 웹 기반 계산기의 사용과 프로그래밍 액세스를 위한 기본 RESTful API의 사용에 대해 기술하였다.

가) 단일 입력 설명서

단일 입력의 경우 웹 기반 계산기를 사용한다.

페이지 왼쪽에 있는 양식을 작성하고 개인 측정값을 제출하면 된다. 각 계산기의 필수 입력값은 [그림 III-4]를 참조하면 된다. 항목 중 하나라도 누락되었거나 오류가 발생한 경우 메시지가 표시된다.

TLCO, Volume의 경우 백인 데이터로만 유래되었기 때문에 ethnicity는 설정할 수 없다. 따라서 모든 TLCO, volume 데이터는 백인을 기반으로 한다. 폐활량검사의 경우 데이터는 폐활량검사 입력 메뉴에서 제공한 ethnicity를 기반으로 계산된다. 편의를 위해 폐활량검사 데이터 계산을 위해 제공되는 ethnicity는 테이블 하단에서 업데이트되며 “print”버튼을 사용해 표 데이터를 인쇄할 때 출력내용에서 볼 수 있다.

계산기 API에 액세스하여 계산을 수행하고 결과가 표에 나타난다. 표의 내용을 인쇄하거나 엑셀 또는 CSV 형식으로 데이터를 내보낼 수 있다.

소아의 경우 보다 정확한 계산을 위해 세분화된 연령(소수점 첫째자리까지)을 사용하도록 한다.

나) 다중 입력 설명서

다중 입력의 경우 엑셀 파일 처리 기능을 사용한다.

사용할 계산기 입력을 위해 필수 또는 선택 입력 값이 있는 엑셀 파일(.xls 또는 .xlsx)을 준비하고 계산기 페이지 왼쪽의 전용 입력 필드에 업로드하면 된다.

모든 endpoint는 엑셀 계산기에 사용되므로 엑셀 파일에 포함할 필수 변수는 연령, 키, 성별, 인종이다. 인종은 필수 변수이므로 폐활량검사에 대한 계산을 수행할 수 있고 폐활량검사에 대한 데이터는 각 행에 제공한 인종 값을 기준으로 반환된다. 그러나 TLCO 및 volume의 경우, 백인 데이터로만 유래되었기 때문에 인종 값은 설정할 수 없다. 따라서 모든 TLCO 및 volume 데이터는 사용자가 입력하는 값에 관계 없이 ethnic=1(백인)을 기반으로 한다.

워크북의 첫 번째 워크시트가 입력값을 위해 검색되거나 입력 데이터가 포함된 워크시트의 이름을 “calcData”로 지정하면 이 워크시트가 우선적으로 사용된다. 첫 1,000개 입력만이 처리된다.

계산을 위해 엑셀파일의 각 행에 대해 계산기 API가 액세스하고 결과는 자동 반환된 엑셀파일 데이터에 인접한 열에 나타난다. 다운로드 폴더에 자동으로 저장되거나 선택한 위치에 저장하라는 메시지가 표시된다. 각 행에서 발생한 오류에 대한 정보도 파일 내 제공된다.

크롬, 파이어폭스, 사파리, 인터넷익스플로러 10+ 및 엣지와 같은 최신 브라우저의 경우 서버에 데이터가 기록되지 않지만, 인터넷익스플로러 9 이하의 경우 결과 파일이 기록되고 24시간 후에 삭제된다. 필수 변수가 아닌 누락된 값은 출력 시 0으로 대체된다.

다) 프로그래밍 액세스 API 설명서

프로그래밍 액세스의 경우 RESTful API를 직접 사용한다. API에 액세스하려면 API 키가 필요하다. 이 API는 URL 제출 및 반환된 JSON 객체 처리 가능한 어떤 프로그래밍 언어로든 액세스할 수 있다.

API는 계산 데이터 또는 전체 문서를 검색하기 위한 GET 요청을 수락한다. 해당 두 요청 모두 JSON 객체의 형태로 데이터를 반환한다. 유럽호흡기 학회에서는 매월 쿼리(Query) 수를 제한하는 3가지의 저렴한 요금 플랜이 있다. 모든 키는 1년 후에 만료된다.

〈표 III-3〉 유럽호흡기학회에서 제공하는 요금 플랜

요금 플랜 유형	가격
연간 최대 1,000건의 쿼리	€ 100
연간 최대 10,000건의 쿼리	€ 500
연간 최대 100,000건의 쿼리	€ 1000

POST 방식(현재 요금제는 GET 요청 기준)뿐만 아니라 더 많은 volume을 사용할 수 있는 요금 플랜을 만들 수 있다.

필수 변수가 아닌 누락된 값은 출력 시 0으로 대체된다.

라)폐활량검사 입력 변수

필수 입력 변수는 연령(age), 신장(height), 성별(sex), 인종(ethnic)이며 인종 중립 계산을 위해 ethnic=0을 사용한다.

〈표 III-4〉 폐활량검사 입력변수

변수 (variable)	설명	변수 유형 (type)	범위 (range)
age	검사 시점의 연령(년)	decimal	3-95
height	신장(cm)	decimal	50-230
sex	참여자의 성별(M, F)	string	M,F
ethnic	인종중립=0, 백인=1, 아프리카 미국인=2, 북동아시아인=3, 동남아시아인=4, 기타,혼혈=5	string	0,1,2,3,4,5
fev ₁	FEV ₁ (L)	decimal	0-10
fvc	FVC (L)	decimal	0-10
fef2575	FEF 25~75% (L×sec-1)	decimal	0-100
fef75	FEF 75% (L×sec-1)	decimal	0-100
fev075	FEV 0.75 (L)	decimal	0-5

마) 폐활량검사 출력 변수

아래는 제출된 엑셀파일에 나타나는 순서대로 나열된다. 각 예측 출력변수(M)에 대해 중앙값(S), 왜도(L) 관련 변수가 API에 의해 출력되지만 엑셀 출력에는 제외된다.

〈표 III-5〉 폐활량검사 출력변수

변수 (variable)	설명
errors	API에서 발생한 어떤 오류, 확인 필요
fev ₁ M	FEV ₁ 예측 출력 변수(M) - 엑셀 출력에서 fev ₁ _predicted로 변환됨
fev ₁ _lln	FEV ₁ 정상외 아래 한계치(LLN) (-1.645)
fev ₁ _uln	FEV ₁ 정상외 위 한계치(ULN) (+1.645)
fev ₁ _z	FEV ₁ z값
fev ₁ _pp	FEV ₁ 퍼센트 예측값
fvcm	FVC 예측 출력 변수(M) - 엑셀 출력에서 fvc_predicted로 변환됨
fvc_lln	FVC 정상외 아래 한계치(LLN) (-1.645)
fvc_uln	FVC 정상외 위 한계치(ULN) (+1.645)
fvc_z	FVC z값
fvc_pp	FVC 퍼센트 예측값
fev ₁ fvcm	FEV ₁ /FVC 예측 출력 변수(M) - 엑셀 출력에서 fev ₁ fvc_predicted로 변환됨
fev ₁ fvc_lln	FEV ₁ /FVC 정상외 아래 한계치(LLN) (-1.645)
fev ₁ fvc_uln	FEV ₁ /FVC 정상외 위 한계치(ULN) (+1.645)
fev ₁ fvc_z	FEV ₁ /FVC z값
fev ₁ fvc_pp	FEV ₁ /FVC 퍼센트 예측값
fef2575M	FEF ₂₅₋₇₅ 예측 출력 변수(M) - 엑셀 출력에서 fef2575_predicted로 변환됨, ethnic=00이면 출력값 없음.

변수 (variable)	설명
fef2575_lln	FEF25-75 정상하의 아래 한계치(LLN) (-1.645), ethnic=0이면 출력값 없음.
fef2575_uln	FEF25-75 정상하의 위 한계치(ULN) (+1.645), ethnic=0이면 출력값 없음.
fef2575_z	FEF25-75 z값, ethnic=0이면 출력값 없음.
fef2575_pp	FEF25-75 퍼센트 예측값, ethnic=0이면 출력값 없음.
fef75M	FEF75 예측 출력 변수(M) - 엑셀 출력에서 fef75_predicted로 변환됨, ethnic=0이면 출력값 없음.
fef75_lln	FEF75 정상하의 아래 한계치(LLN) (-1.645), ethnic=0이면 출력값 없음.
fef75_uln	FEF75 정상하의 위 한계치(ULN) (+1.645), ethnic=0이면 출력값 없음.
fef75_z	FEF75 z값, ethnic=0이면 출력값 없음.
fef75_pp	FEF75 퍼센트 예측값, ethnic=0이면 출력값 없음.
fev075M	FEV0.75 예측 출력 변수(M) - 엑셀 출력에서 fev075_predicted로 변환됨, ethnic=0이면 출력값 없음.
fev075_lln	FEV0.75 정상하의 아래 한계치(LLN) (-1.645), ethnic=0이면 출력값 없음.
fev075_uln	FEV0.75 정상하의 위 한계치(ULN) (+1.645), ethnic=0이면 출력값 없음.
fev075_z	FEV0.75 z값, ethnic=0이면 출력값 없음.
fev075_pp	FEV0.75 퍼센트 예측값, ethnic=0이면 출력값 없음.
fev075fvcM	FEV0.75/FVC 예측 출력 변수(M) - 엑셀 출력에서 fev075fvc_predicted로 변환됨, ethnic=0이면 출력값 없음.
fev075fvc_lln	FEV0.75/FVC 정상하의 아래 한계치(LLN) (-1.645), ethnic=0이면 출력값 없음.
fev075fvc_uln	FEV0.75/FVC 정상하의 위 한계치(ULN) (+1.645), ethnic=0이면 출력값 없음.
fev075fvc_z	FEV0.75/FVC z값, ethnic=0이면 출력값 없음.
fev075fvc_pp	FEV0.75/FVC 퍼센트 예측값, ethnic=0이면 출력값 없음.

3) 일본호흡기학회(JRS) 홈페이지에서 제시된 LLN 산출 방법과 자료원 고찰 (Kubota et al., 2014)

일본호흡기학회에서 제공하고 있는 식에 대한 상세한 설명은 Kubota 등 (2014)의 논문에 제시되어 있다. 기존에 2001년 일본호흡기학회는 일본 폐활량 측정 참고치(2001JRS)를 발표했다. 이는 18~95세의 건강한 비흡연자 1,811명의 통합 데이터를 기반으로 하였고 참조 방정식은 다중 선형 회귀 분석을 사용하여 도출되었다. 위원회는 기준값이 10년 후에 개정해야 한다고 권고하였다.

이에 일본 전역의 12개 센터에서 2007년 1월부터 2010년 12월까지 수집된 대량의 레지스트리를 기반으로 건강한 비흡연자(17-95세 20,341명, 여성 67%)의 폐활량검사 데이터를 수집하고 LMS 방법을 사용하여 참고 방정식을 도출하였다. 또한 연령별 LLN도 계산하였다.

건강한 대상자의 선정 기준은 (1) 비흡연자, (2) 기저 호흡기 질환이 없는 자, (3) 검사 전 1개월 이내에 호흡기 증상이나 상기도 염증이 없는 자, (4) 보행 가능한 대상으로 하였다. 제외 기준은 다음과 같다: (1) 고혈압 이외의 심혈관 질환, (2) 운동 신경 질환, (3) 흉벽 장애, (4) 심각한 신장 또는 간 기능 장애, (5) 치매 또는 정신 장애, (6) 호흡 기능에 잠재적으로 영향을 미칠 수 있는 기타 질병. z-점수 < 5.0 또는 > 5.0을 산출한 데이터 포인트는 이상치로 식별되어 추가 분석에서 제외되었다.

LMS 방법은 L(lambda: 왜도), M(mu: 평균), S(sigma: 변동 계수)를 모델링하는 데 사용된다. 스플라인 함수는 종속 변수가 설명 변수의 함수로 부드럽게 변하는 것을 허용하며, 연령 범위 전체에 대해 연속적이고 부드러운 적합(fit)을 가능하게 한다.

본 분석에는 통계 소프트웨어 R(Windows 64비트용 버전 2.15.2, <http://www.r-project.org>)에서 GAMLSS 패키지(version 4.2-0)를 사용하였다.

참고 기준식은 성별, 연령 및 키에 따라 결정되는 세 가지 요소 (L, M 및 S)에 의존한다. M은 참고 평균 값을 나타내고 다음 식과 같다:

$$M = \exp[a + b \times \ln(\text{키}) + c \times \ln(\text{나이}) + \text{M-스플라인}];$$

여기서 a, b 및 c는 계수이며, M-스플라인은 스플라인 함수를 사용하여 연령별 기여를 나타낸다. 마찬가지로 5번째 백분위수(z-점수 -1.645)를 기반으로 하는 LLN은 다음과 같이 L, M 및 S를 사용하여 계산되었다:

$$\text{LLN}(5\text{번째 백분위수}) = \exp[\ln(M) + \ln(1 - 1.645 \times L \times S)/L]$$

폐활량검사 참고치는 LMS 방법을 사용한 이 연구와 2001JRS 선형회귀 방정식(linear regression equation), 그리고 2001데이터에 적용한 LMS 방법(2001LMS)간에 비교하였다.

젊은 성인을 제외하고, FEV₁, FVC 및 VC에 대한 새로운 LLN은 2001JRS 값보다 크게 나타났다. 남성과 여성 모두에서, 새로운 FEV₁/FVC 참고 값은 일반적으로 2001JRS 값보다 작았다. 남성에서는 FEV₁/FVC에 대한 새로운 LLN이 2001JRS 값과 유사했지만, 여성에서는 상당히 높았다. 남성의 경우, FEV₁/FVC에 대한 새로운 LLN은 2001LMS 값보다 작았으나 여성의 경우 노인들 중에서는 크게 나타났다.

또 다른 발견은 더 작은 분산이 FEV₁/FVC의 LLN을 나이별로 상승시켰으며, 남성에서는 약 60세, 여성에서는 약 70세에서 골드 그룹에서 권장하는 기관 폐쇄를 진단하기 위한 기준값인 0.70 아래로 내려갔다. 이는 백인인 경우 약 50세 정도에서 교차하는 것과 대조된다.

〈표 III-6〉 일본 성인에서 성별에 따른 폐활량 예측식(Kubota et al., 2014)

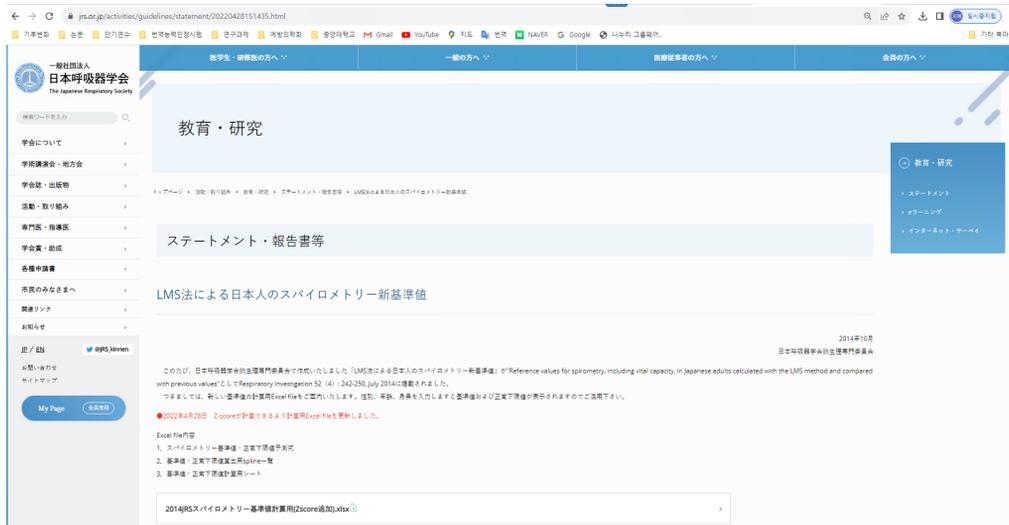
남성		
FEV ₁ (L)	M	$\exp(-7.5722 + 1.9393 \times \ln(H) - 0.3068 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-3.0440 + 0.2325 \times \ln(A) + s-s)$
	L	1
FVC (l)	M	$\exp(-8.8877 + 2.1494 \times \ln(H) - 0.1891 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-2.8335 + 0.1726 \times \ln(A) + s-s)$
	L	1
FEV ₁ /FVC	M	$\exp(1.2578 - 0.1948 \times \ln(H) - 0.1220 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-3.266 + 0.150 \times \ln(A) + s-s)$
	L	$8.905 - 1.799 \times \ln(A) + l-s$
여성		
FEV ₁ (L)	M	$\exp(-6.9428 + 1.8053 \times \ln(H) - 0.3401 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-3.1024 + 0.2537 \times \ln(A) + s-s)$
	L	0.7783
FVC (L)	M	$\exp(-8.3268 + 2.0137 \times \ln(H) - 0.2029 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-2.8527 + 0.1881 \times \ln(A) + s-s)$
	L	0.6127
FEV ₁ /FVC	M	$\exp(1.2854 - 0.1844 \times \ln(H) - 0.1425 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-3.1624 + 0.1068 \times \ln(A) + s-s)$
	L	$12.989 - 2.987 \times \ln(A) + l-s$

M=mu, 예측치; S=sigma, 변동계수; L=lambda, 왜도
a=나이; h=키(cm); ln()=자연로그화; exp()=오일러의 수 e에 대한 지수화
m-s=mu-spline; s-s=sigma-spline; l-s=lambda-spline
LLN (5th percentile) = $\exp(\ln(M) + \ln(1-1.645 \times L \times s)/L)$

일본 호흡기 학회 홈페이지에 참조 방정식과 참고치 계산기가 엑셀 파일로 업로드되어 있다. 남성과 여성 모두에 대한 각 연령별 스플라인 값 조회 테이블 또한 업데이트 되어 있다. 홈페이지 주소는 다음과 같다.

<https://jrs.or.jp/activities/guidelines/statement/20220428151435.html>

사이트에 접속하면 나오는 화면은 [그림 III-7] 과 같다.



[그림 III-7] 일본호흡기학회의 폐활량검사 참고치 계산 홈페이지

엑셀파일에는 수식이 걸려 있으며 성별, 연령, 키, 실제 폐활량검사에서 관측된 FVC값과 FEV₁값을 입력하면 FVC, FEV₁, FEV₁/FVC%의 예측값, 예측값 대비 비율, LLN이 자동으로 계산이 되어 엑셀 칼럼에 제시되게 된다.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	性別 (1:男, 2:女) →	1	FEV ₁ (L)				FVC(L)		
3			基準値	3.45			基準値	4.26	
4	年齢 (歳) →	45	%	124.7			%	119.6	
5			正常下限値(LLN)	2.82			正常下限値(LLN)	3.49	
6	身長 (cm) →	170.0	Z-score	2.23			Z-score	1.78	
7	測定値		VC(L)				FEV ₁ /FVC		
8	FEV ₁ (L) →	4.30	基準値	4.40			基準値	0.813	
9			%	0.0					
10	FVC(L) →	5.10	正常下限値(LLN)	3.64			正常下限値(LLN)	0.723	
11			Z-score	-25.97			Z-score	-7.71	
12	VC(L) →								
13									

[그림 III-8] 일본호흡기학회의 폐활량검사 참고치 계산 파일

3. 국내에서 현재 사용하는 참고치(reference value) 산출식에 사용된 자료원과 계산 방법 고찰

1) 최정근 식을 중심으로 국내에서 사용하는 참고치 산출식에 사용되는 자료원 고찰 (최정근 등, 2005)

최정근 등은 2001년 국민건강영양조사 대상 집단의 폐기능 검사 결과를 이용해 폐기능 예측식을 개발하였다. 현재 근로자 건강진단에서 측정된 폐기능 검사 결과는 이 연구의 예측식을 바탕으로 평가되고 있다.

연구대상은 2001년 국민건강영양조사와 동일한 대상자로 국민건강영양조사의 모수는 2000년 인구주택총조사를 기반으로 한다. 전체 8,209명 중에서 폐활량검사 실시자는 4,816명이었다. 이 중에서 비흡연자이면서, 폐활량에 영향을 미칠 수 있는 호흡기질환 및 증상이 없고, 흉부방사선학적 검사에서 심폐 이상소견이 없으면서 폐활량에 영향을 미치는 유해인자의 노출력이 없는 1,212명(남성 206명, 여성 1,006명)을 분석 대상으로 삼았다.

〈표 Ⅲ-7〉 최정근 식의 대상자 제외 및 포함 기준

포함기준	제외사항
호흡기질환 및 증상이 없을 것	<ul style="list-style-type: none"> 만성기관지염, 폐쇄성 폐질환과 천식, 결핵, 폐기종, 폐질환과 설문조사를 통한 흉부질환으로 입원한 경력과 이와 관련한 약물 복용력이 있는 경우, 만성기관지염은 일년에 3개월이상 기침이나 가래가 지속된 기간이 2년 이상인 경우, 폐질환 관련 입원 치료한 경력이 있는자와 천식 등의 약물 복용력이 있는 경우 검사당일 기침, 객담, 감기, 발열 피로, 호흡곤란이 있는 경우, 기관지 확장제 등의 약제를 복용하는 경우
흉부방사선학적 검사에서 폐활량에 영향을 미치는 심폐 이상 소견이 없을 것	<ul style="list-style-type: none"> 단순흉부방사선사진에서 흉부관련 질환과 심장관련 질환, 기타 암과 근육계 질환등의 소견
흡연력 등 폐활량에 영향을 미칠정도의 유해인자에 노출력이 없는 경우	<ul style="list-style-type: none"> 비흡연자의 기준: 흡연경력이 전혀 없는 자와 평생 동안 100가피(5갑) 이하의 흡연으로 정의

대상자는 18세 이상이었으며 폐활량검사기는 미국 SensorMedics사의 Vmax series SensorMedics 2130형인 Dry Rolling-seal spirometry를 사용하였다.

혼합효과모형을 적용하여 AIC(Akaike's information Criterion)값이 가장 작은 모델로서 남자와 여자에 공통적으로 포함된 변수들을 일반선형회귀분석에 적용하였다. 여기에서 AIC값이 가장 낮은 변수의 조합을 남자와 여자의 폐활량 예측식 모델로 선정하였다. AIC 값이 낮다는 것은 즉 모형의 적합도가 높은 것을 의미한다.

본 연구에서 개발된 예측식의 정상범위와 LLN을 구하기 위하여 개발된 예측식 공식을 분석대상자 개개인에 적용하여 예측치 대비 검사치를 구하고, 그의 평균으로부터 표준오차의 1.645배에 해당하는 95% 신뢰구간의 하한치와 95 percentile의 하한치를 구하였다. 남자의 예측치 대비 PFVC%는 95 percentile이 83.5%이었으며, 95% 신뢰구간은 82.0%이었다. 여자는 각각 81.6%와 81.6%이었다. 예측치 대비 PFEV₁%는 95 percentile이 남자 82.3%, 여자 80.4%이었다. 95% 신뢰구간은 남자에서 82.0%, 여자 80.7%이었다. 예측치 대비 PFEV₁/PFVC%는 남자에서 95 percentile이 91.1%, 여자 89.9%이었다. 95% 신뢰구간은 남자 89.8%, 여자 89.7%이었다<표 III-8>.

〈표 III-8〉 최정근 식의 백분율 연령 예측값의 LLN

	%PFVC		%PFEV ₁		%PFEV ₁ %	
	95 percentile	95% CI	95 percentile	95% CI	95 percentile	95% CI
남성	83.5	82.0	82.3	82.0	91.1	89.8
여성	81.6	81.6	80.4	80.7	89.9	89.7

%PFVC : $100 \times (\text{FVC}/\text{predicted FVC})$

%PFEV₁: $100 \times (\text{FEV}_1/\text{predicted FEV}_1)$

%PFEV₁% : $100 \times (\text{FEV}_1\%/\text{predicted FEV}_1\%)$

95% CI: Mean - 1.645 × SD

정상인의 선정 기준은 Crapo 등과 Knudson 등, Hankinson 등의 예측식 선정기준과 국내에서 발표된 선정기준과 비교하여도 본 식에서 엄격하게 적용되었다고 판단된다. 그러나 Morris 등의 연구에서 제외한 유해한 직업적 노출 대상자를 배제하지는 못하였다. 현실적인 직업 노출 조사의 어려움과 함께 이미 질환이 발생하여 폐환기능이 감소되었다면 증세, 질병, 그리고 방사선학적 소견의 판단 기준에 걸려서 제외되었을 것이라고 판단하였기 때문이다.

결론적으로 최정근식은 미국흉부학회에서 제시하고 있는 연령과 신장 변수에 체중이 포함되어 차이가 있었다. 이러한 이유는 연령효과와 젊은 연령에서 신장과 체중이 급격하게 변화하는 체격 효과가 복합적으로 작용하기 때문이라고 해석된다. 최정근식은 다른 예측식과 비교할 때 FVC, FEV₁, FEV₁/FVC의 예측치를 높게 추정하였지만 차이는 10% 이내였다. 그 동안 발표된 예측식들은 일반적으로 같은 연령과 같은 신장일 경우 백인의 FVC가 흑인에 비하여 크며, 아시아인들의 FVC는 백인과 흑인의 중간이라고 보고하였다. 하지만 백인을 대상으로 한 외국의 예측식보다 최정근식의 예측치가 낮지 않았다. 또한 연령이 증가할수록 최정근식의 예측식과 비교하여 정상 예측치가 낮을 수 있음을 나타내었다.

최정근식은 당시 우리나라 인구 집단의 특성을 잘 반영하고 있으나 가장 큰 한계는 10년 이상 전의 표본을 대상으로 얻어진 것이라는 것이다. 미국 흉부학회(ATS)와 유럽호흡기학회(ERS)에서는 폐기능 예측식을 주기적으로 갱신할 것을 권고하는데, 이는 새로운 기술이나 방법론의 발달, 출생 코호트 영향(birth cohort effect) 때문이다(Xu X, 1995)(Brandli O, 1996). 당시에는 대표성이 있는 표본 집단이었으나 현재에는 대표성이 있다고 보기 어렵다. 또한 새로운 표준인 LMS 방법을 반영하지 못하고 있다.

2) 특수건강진단 폐활량검사 DB를 사용하여 LMS 방법을 사용한 참조 방정식 고찰 (명준표 등, 2016)

한국산업안전보건공단 데이터베이스에서 폐기능 예측식을 도출하기 위한 표본을 추출하였다. 2013-2014년 총 수검 인원 중 제외기준자를 뺀 80,316 객체(남성 54,639명, 여성 25,677명)를 대상으로 LMS 방법을 적용해 폐기능 예측식을 도출하였다.

먼저 폐기능 예측식 모델에 필요한 키와 폐활량 실측치(FEV₁, FVC, FEV₁/FVC)와 흉부 방사선 소견, 결핵이나 심장병의 기왕력, 흡연력 등에 대한 자료를 수집하였다.

〈표 III-9〉 분석 표본 포함 및 배제 기준

포함기준	제외기준
아래 조건을 만족하는 자 (1) 한국인 (2) 비흡연자	아래 조건에 하나라도 해당하는 자 (1) 결핵의 과거력 (2) 심장병의 기왕력 (3) 흉부 x-ray에서 결핵 등의 이상 소견

LMS 방법은 R (The R Foundation for Statistical Computing Platform, R version 3.0.0)의 통계 패키지 (GAMLSS package, generalized additive model for location, scale and shape)를 이용하였다(Cole TJ, 2009).

LMS 방법은 왜도(L, lambda: skewness), 평균(M, mu: mean), 변동계수(S, sigma: coefficient of variation)를 반영하여 모델링이 가능하다. 스플라인 함수(spline function)는 종속 변수가 모든 나이 범위에 걸쳐 설명 변수에 의한 함수로서 연속적이고 매끄럽게 변화하는 것을 가능하게 한다. 이전의 보고에 따라 모든 변수는 자료에 가장 적합하도록 로그화 되었다. 또한 과도한 모델의 적합화(over-fitting)를 피하기 위해 Schwarz Bayesian Criterion(SBC) 값이 가장 낮은 모델을 선택하였다(Cole TJ, 2009).

폐기능 예측식은 성별을 층화하고 키와 나이를 변수로 모델링되며 식은 다음과 같다. 여기서 M 은 폐활량 예측치, a와 b와 c는 계수(coefficient)이며 M-spline은 스플라인 함수(spline function)에 의한 나이에 따른 기여값(contribution)이다.

$$M = \exp[a+b \times \ln(\text{height})+c \times \ln(\text{age})+M\text{-spline}]$$

예측식의 계수를 구하고 spline 값은 나이에 따라 표로 정리하였다(명준표 등의 부록 참고). 폐활량에서 정상의 아래 한계치(LLN, lower limit of normal)의 경우, 하위 5 백분위 수(5th percentile)의 정의에 따라 표준점수-1.645 z-score에 해당 하는 값으로, 이는 L, M, S 에 따라 다음과 같이 구할 수 있다.

$$LLN(5th \text{ percentile}) = \exp[\ln(M)+\ln(1-1.645 \times L \times S)/L]$$

표본을 바탕으로 LMS 방법을 적용하여 도출한 폐활량 예측식은 <표 III-10>과 같다.

<표 III-10> 특수건강진단 DB를 활용한 성별에 따른 폐활량 예측식(명준표 등, 2016)

남성		
FEV ₁ (L)	M	$\exp(-8.116136 + 1.983191 \times \ln(H) - 0.221421 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-3.07048 + 0.26137 \times \ln(A) + s-s)$
	L	$-0.44465 + 0.42752 \times \ln(A) + l-s$
FVC (l)	M	$\exp(-9.532864 + 2.220009 \times \ln(H) - 0.111940 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-2.76524 + 0.17098 \times \ln(A) + s-s)$
	L	$-0.54185 + 0.36909 \times \ln(A) + l-s$
FEV ₁ /FVC	M	$\exp(1.256063 - 0.204219 \times \ln(H) - 0.110581 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-2.91121 + 0.06241) \times \ln(A) + s-s$
	L	2.38859

여성		
FEV ₁ (L)	M	$\exp(-7.991511 + 1.906379 \times \ln(H) - 0.193489 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-2.59329 + 0.13876 \times \ln(A) + s-s)$
	L	1.0217
FVC (L)	M	$\exp(-9.180955 + 2.098699 \times \ln(H) - 0.086926 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-2.23819 + 0.03978 \times \ln(A) + s-s)$
	L	0.63427
FEV ₁ /FVC	M	$\exp(0.996878 - 0.151279 \times \ln(H) - 0.109893 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-2.68541 - 0.01287 \times \ln(A) + s-s)$
	L	$6.7072 - 1.0581 \times \ln(A) + l-s$

M=mu, 예측치; S=sigma, 변동계수; L=lambda, 왜도
a=나이; h=키(cm); ln()=자연로그화; exp()=오일러의 수 e에 대한 지수화
m-s=mu-spline; s-s=sigma-spline; l-s=lambda-spline

위와 같이 도출한 식을 이용하여 남성의 경우 키 170 cm, 여성의 경우 160 cm 각각에 대하여 연령대에 따른 폐활량 예측치와 정상의 아래 한계치를 구해 부록 표로 나타내었다.

이 결과를 일선 검진기관에서 활용할 수 있는 방법을 찾아 주는 것이 필요하다. 특히 LMS 방법을 통하여 결과를 제시한 내용은 수검자의 연령, 키 그리고 연령별 스플라인(spline)값을 찾아 L, M, S를 각각 계산하고, 그를 활용하여 정상의 아래 한계치를 계산해 기준에 미만인지 이상인지를 구별해야 한다. 따라서 1인에 대한 여러 가지 항목을 평가 시 소요시간이 기존의 80% 기준에 비해서 상대적으로 길다. 폐기능 검사 결과 판정에 걸리는 소요시간은 큰 제한점이 될 수 있다.

또한 건강근로자효과로 근로자는 일반인에 비해 상대적으로 체력이 건강한 사람들이 선택되기 쉽다. 따라서 일반인구집단에 비해 LLN이 상대적으로 높을 것으로 추정된다. 근로자 집단에서 도출된 폐활량의 정상의 아래 한계치 값이 일반인구집단의 값과 다를 수 있음을 후속연구에서 비교하고, 수검자의 나이, 성별, 키, 검진일자, 폐기능검사결과 등을 입력하면 LLN 미만인지 이상인지 결과를 제시하는 프로그램 개발이 필요하다.

3) 국민건강영양조사 DB를 사용하여 LMS 방법을 사용한 참조 방정식 고찰 (Jo et al., 2018)

국민건강영양조사 제4판과 제5판(KNHANES IV, 2007-2009; V, 2010-2012)에서 폐활량 측정을 한 22,423명을 대상으로 하였다. KNHANES IV에서 폐활량 측정은 19세 성인을 대상으로 수행되었다. 40세 이상 성인은 KNHANES V에서 측정하였다. 건강한 비흡연자 10,249명(여성 8,776명)의 폐활량측정 자료를 추출하였다.

기준 모집단은 1) 평생 총 5갑 이상의 흡연자, 2) 기저 호흡기 질환, 3) 기침, 가래, 호흡곤란 등의 호흡기 증상이 있는 자, 4) 흉부 방사선 사진에서 이상 소견을 가진 자, 5) 고혈압 이외의 심혈관 질환, 즉 뇌졸중 및 허혈성 심장 질환, 6) 심각한 신장 또는 간 기능 장애 및 7) 모든 악성 종양 등의 제외 기준에 따라 표본을 추출하였다.

폐활량계는(Spirometry)는 건식 롤링 실 폐활량계(dry rolling seal spirometer) (Model 2130; Sensor Medics, Yorba Linda, CA, USA)를 사용하여 수행되었다.

LMS 방법은 앞서 소개한 통계 소프트웨어 R의 GAMLSS 패키지를 활용하였다.

〈표 III-11〉 국민건강영양조사 DB를 활용한 성별에 따른 폐활량 예측식(Jo et al., 2018)

남성		
FEV ₁ (L)	M	$\exp(-8.38958 + 2.07792 \times \ln(H) - 0.27470 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-3.12394 + 0.27285 \times \ln(A) + s-s)$
	L	1.6945
FVC (l)	M	$\exp(-10.46859 + 2.41303 \times \ln(H) - 0.12074 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-3.04184 + 0.123702 \times \ln(A) + s-s)$
	L	1.2576
FEV ₁ /FVC	M	$\exp(1.651370 - 0.256827 \times \ln(H) - 0.145848 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-3.65189 + 0.26804 \times \ln(a) + s-s)$
	L	3.3771

여성		
FEV ₁ (L)	M	$\exp(-7.58567 + 1.91743 \times \ln(H) - 0.31150 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-2.77822 + 0.18938 \times \ln(A) + s-s)$
	L	1.402355
FVC (L)	M	$\exp(-8.997001 + 2.146341 \times \ln(H) - 0.192659 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-2.81158 + 0.18177 \times \ln(A) + s-s)$
	L	0.9978
FEV ₁ /FVC	M	$\exp(1.12152 - 0.168862 \times \ln(H) - 0.121644 \times \ln(A) + m-s)$
	S	$\exp(-3.11659 - 0.09128 \times \ln(A) + s-s)$
	L	$9.4959 - 1.5297 \times \ln(A) + l-s$

M=mu, 예측치; S=sigma, 변동계수; L=lambda, 왜도
a=나이; h=키(cm); ln()=자연로그화; exp()=오일러의 수 e에 대한 지수화
m-s=mu-spline; s-s=sigma-spline; l-s=lambda-spline

Eom & Kim(2013)의 결과와 비교할 때 FEV₁ 및 FVC의 예측 값은 젊은 성인에서 더 작고 노인에서 더 컸다. FEV₁ 및 FVC에 대한 각 LLN 값은 젊은 성인에서 동등하지 않은 값을 보인 남성의 FVC를 제외하고는 유사한 경향을 나타냈다. FEV₁/FVC에 대한 예측 값과 LLN 값 사이의 차이는 젊은 성인에서 더 크게 나타났고 나이가 들면서 점진적으로 넓어졌다. 남성의 FEV₁/FVC의 경우 LLN은 여성의 FEV₁/FVC에 대한 LLN과 대조적으로 60세 이상의 피험자에서 급격한 감소를 보였다.

젊은 성인의 FEV₁과 FVC에 대한 기준 값 간의 차이는 Quanjer 등(2012)의 값과 비교할 때 더 분명했다. 노인 남성의 경우 FEV₁/FVC 예측값과 LLN 값의 차이가 GLI식에서 더 좁아져 본 연구의 LLN과 GLI식의 차이가 더 크게 나타났다.

LMS 방법을 사용하여 도출된 폐활량계 및 LLN에 대한 새로운 예측값은 Eom & Kim (2013)의 기존의 회귀 분석을 사용하여 도출된 이전 예측 방정식보다 젊은 성인의 폐 기능 변화를 더 정확하게 반영하는 것으로 나타났다(2012년 Global Lung Function Initiative의 참조 값).

LLN은 LMS 방법을 사용하여 연령-신장 스펙트럼 전체에서 독립적으로 결정되기 때문에 나이가 많은 남성의 수가 적으면 LLN 값이 낮아질 수 있다. 이러한 결과는 추가 연구에서 더 많은 양의 한국 데이터를 통해 명확히 밝혀질 필요가 있다. 결과는 특히 노인 남성의 강제 호기량/강제 폐활량에 대한 LLN 측면에서 젊은 성인 및 노인 남성에게 대해 주의해서 해석해야 한다. 개인의 폐기능을 평가할 때 다른 임상 소견과의 상관 관계와 함께 일련의 폐활량 측정 후속 조치를 강조해야 한다.

4) 국민건강영양조사 DB를 사용하여 회귀방정식을 사용한 참조 방정식 고찰 (Eom & Kim, 2013)

국민건강영양조사 4기(2007년-2009년) 자료를 이용하였다. 호흡기 질환 및 증상이 없는 건강한 평생 비흡연자 4,753명(남자 706명, 여자 4,407명)을 기준모집단으로 선정하였다. 최정근 등(2005)의 연구와 마찬가지로 회귀분석 모델을 통해 가장 설명력과 적합도가 높은 조합을 선택하였다.

Eom & Kim은 KNHANES IV에서 도출한 폐활량지수의 예측값이 이전 KNHANES II에서 도출한 참조식(최정근 등, 2005; Quanjer et al., 2012)에 비해 낮았다고 보고하였다,

이 예측식은 최정근 등(2005)의 연구보다 최신의 자료를 이용하여 비교적 출생 코호트 영향에서는 자유로울 수 있으나, 폐기능 예측식을 통해 질환 예상자를 평가 시 고령 인구집단에서 과대 진단, 젊은 집단에서 과소 진단의 위험성이 높은 단점이 있으며, LMS 방법을 적용하지 않은 것은 분명한 한계점이다.

그 밖에 한국의 충북 지역에서 수집된 다른 폐활량 데이터와 비교하여 US NHANES III 모델이 KNHANES II 모델보다 더 적합함을 보인 연구도 있었다(Eom et al., 2012).

5) 국내와 국외 각 자료원 별 계산 방법 및 장단점 비교

외국 인구나 국내 인구를 대상으로 도출된 폐기능검사 예측식에 대한 문헌을 각각 <표 III-12>와 <표 III-13>에 정리하였다. 그리고 국내와 국외 각 예측식 산출 자료원의 장단점을 <표 III-14>에 비교하였다. 국내 연구에서 가장 많이 사용한 자료원은 국민건강영양조사이다. 국민건강영양조사는 인구주택총조사를 기반으로 하여 층화집락계통추출법(stratified, clustered, and systematic sampling)에 의해 2-3단계 표본추출을 하였다(정진은, 2012). 이에 한국 인구를 대표할 수 있는 자료이다.

하지만 국민건강영양조사의 2001년 자료와 제 4기 자료(2007-2009)는 19세 부터 폐활량검사 자료가 있지만 다른 차수에서는 40세 이상에서만 폐활량검사를 수행하여 젊은 대상자에 대해서는 예측값 해석에 주의가 필요하다. 또한 흡연자를 제외하는 과정에서 많은 남성 대상자가 제외되어 연구에 포함되는 남성 대상자 수가 매우 적어진다. 이 중 최정근 식에 사용된 국민건강영양조사 2001년 자료는 10년 이상 경과한 자료로 출생 코호트 영향이 있다. 또한 최정근 식은 실제보다 예측식이 높게 나와 과대평가에 대한 지적이 꾸준히 제기되어 왔다. 실제로 결과값 백인과 유사하게 나와 최근에는 최정근 식에 보정계수를 적용해야 한다는 주장이 제기되고 있다.

유럽호흡기학회에서는 최정근 식에 사용한 데이터를 이용하여 LMS 방법으로 예측식을 개발하였는데, 이 동북아시아인식에는 한국인 이외에 중국의 일부 지역이 포함되어 있어 인구 고유의 대표성을 반영했다고 보기 어렵고 역시 출생 코호트 영향이 있다.

조 등(2018)은 국민건강영양조사 4기(2007-2009)와 5기(2010-2012)자료를 사용하여 LMS 방법으로 예측식을 구하였다. 5기 자료에는 40세 이상 성인만 포함되어 젊은 피험자에 대한 해석값에 주의가 필요하다.

다음으로 사용된 자료원은 특수건강진단 자료이다. 명준표 등(2016)은 특수건강진단 폐활량검사 수검자를 대상으로 LMS 방법을 사용하여 예측식을

구하였다. 이 데이터는 한국 근로자를 대상으로 하고 있으며 40세 이전 근로자에 대한 자료 분석이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 건강근로자 효과로 일반 인구집단에 비해 LLN이 상대적으로 높을 것으로 추정된다.

외국 인구를 대상으로 한 연구로 Hankinson 등(1999)은 미국 NHANES III 자료를 이용하였고 백인, 아프리카계 미국인, 멕시코계 미국인으로 인종이 분류되어 있다는 장점이 있다. 이 역시 과거 자료로 출생 코호트 영향이 있으며 아시아인에 대한 인종 구분은 없다.

Kubota 등(2014)은 2007년 1월부터 2010년 12월까지 일본 전역의 12개 센터에서 수집된 레지스트리를 기반으로 LMS 방법을 사용하여 연구를 하였다. 본 연구 이전에는 2001년에 다중선형회귀분석 방법으로 1,811명을 분석하였는데 Kubota 등(2014)은 더 많은 대상자(총 20,341명; 여성 13,497명)로 분석하였다. 하지만 전체 인구를 완전히 대표하지 못하는 것으로 해석되었다.

〈표 III-12〉 외국 인구를 대상으로 도출된 폐기능검사 예측식에 대한 문헌

저자(년도)	인구 특성	예측식	배제기준	비고
Hankinson et al. (1999)	NHANES III 1988-1994년 폐기능검사 대상자 20,627명 중 배제 기준을 제외하여 성인 4,634명	<p>[Caucasian, 20세 이상 기준]</p> <ul style="list-style-type: none"> 남성 FEV₁ 0.5536 - 0.04106*A + 0.004477*A² + 0.00014098*H 남성 FVC -0.2584 - 0.20415*A + 0.010133*A² + 0.00018642*H 남성 FEV₁/FVC (%) 88.066 - 0.2066*A <p>[Caucasian, 18세 이상 기준]</p> <ul style="list-style-type: none"> 여성 FEV₁ -0.4333 - 0.00361*A + 0.000194*A² + 0.00011496*H 여성 FVC -0.3560 - 0.01870*A + 0.000382*A² + 0.00014815*H 여성 FEV₁/FVC (%) 90.809 - 0.2125*A 	<p>배제기준: 흡연, 천식·만성 기관지염·폐기종·폐암, 지난 12개월간 싹싹거림, 지속적인 기침·가래, 중등도 이상 호흡곤란, 부적합한 폐기능검사</p>	<p>미국 Caucasians, African-American ns, Mexican-American ns 각각 산출, 소아청소년 년 결과 있음</p>

저자(년도)	인구 특성	예측식	배제기준	비고
Kubota et al. (2014)	2007년 1월부터 2010년 12월까지 일본 전역의 12개 센터에서 수집된 20,341명 (여성 13,497명)	<ul style="list-style-type: none"> 남성 FEV₁ $\exp(-7.5722 + 1.9393 \times \ln(H) - 0.3068 \times \ln(A) + m-s)$ 남성 FVC $\exp(-8.8877 + 2.1494 \times \ln(H) - 0.1891 \times \ln(A) + m-s)$ 남성 FEV₁/FVC (%) $\exp(1.2578 - 0.1948 \times \ln(H) - 0.1220 \times \ln(A) + m-s)$ 여성 FEV₁ $\exp(-6.9428 + 1.8053 \times \ln(H) - 0.3401 \times \ln(A) + m-s)$ 여성 FVC $\exp(-8.3268 + 2.0137 \times \ln(H) - 0.2029 \times \ln(A) + m-s)$ 여성 FEV₁/FVC (%) $\exp(1.2854 - 0.1844 \times \ln(H) - 0.1425 \times \ln(A) + m-s)$ 	<p>포함기준: 비흡연자, 기저호흡기 질환이 없는 자, 검사 전 1개월 내에 호흡기 증상이나 상기도 염증이 없는 자, 보행 장애</p> <p>배제기준: 고혈압 이외의 심혈관질환, 운동신경질환, 흉벽장애, 심각한 신장 또는 간 기능 장애, 치매 또는 정신장애, 호흡 기능에 장애적으로 영향을 미칠 수 있는 기타 질병</p>	LMS method

A=age, 나이; H=height, 키; W=weight, 체중; ln()=자연로그화; exp()=오일러의 수 e에 대한 지수화; m-s=mu-spline;

〈표 III-13〉 우리나라 인구를 대상으로 도출된 폐기능검사 예측식에 대한 문헌

저자(년도)	인구 특성	예측식	배제기준	비고
Choi et al. (2005)	국민건강영양조사 (KNHANES) II 중 2001년 폐기능검사 대상자 4,816명 중 배제 기준을 제외하여 남자 206명, 여자 1,006명	<ul style="list-style-type: none"> • 남성 FEV₁ -3.4132 - 0.0002484*A² + 0.04578*H • 남성 FVC -4.8434 - 0.00008633*A² + 0.05292*H + 0.01095*W • 남성 FEV₁/FVC (%) -119.9004 - 0.3902*A - 0.1268*H • 여성 FEV₁ -2.4114 - 0.0001920*A² + 0.03558*H • 여성 FVC -3.0006 - 0.0001273*A² + 0.03951*H + 0.006892*W • 여성 FEV₁/FVC (%) -97.8567 - 0.2800*A - 0.01564*H 	배제기준: 흉부 방사선 소견, 부 적합한 폐기능검 사, 호흡기계질 환, 흡연	회귀분석모델

저자(년도)	인구 특성	예측식	배제기준	비고
Quanjer et al. (2012)	Choi et al. (2005)의 연구에서 분석한 집단을 포함한 전세계 폐기능 예측식 연구대상이었던 집단 동북아시아인 4,992명	<ul style="list-style-type: none"> 남성 FEV₁ $\exp(-9.1978 + 2.1023 \cdot \ln(H) - 0.3656 \cdot \ln(A) + 0.1142 + m-s)$ 남성 FVC $\exp(-11.2281 + 2.4135 \cdot \ln(H) + 0.0865 \cdot \ln(A) - 0.0405 + m-s)$ 남성 FEV₁/FVC (%) $\exp(0.7403 - 0.1595 \cdot \ln(H) - 0.0366 \cdot \ln(A) + 0.0055 + m-s)$ 여성 FEV₁ $\exp(-9.6987 + 2.1211 \cdot \ln(H) - 0.0270 \cdot \ln(A) - 0.0149 + m-s)$ 여성 FVC $\exp(-10.4030 + 2.2633 \cdot \ln(H) + 0.0234 \cdot \ln(A) - 0.0262 + m-s)$ 여성 FEV₁/FVC (%) $\exp(0.5506 - 0.1078 \cdot \ln(H) - 0.0544 \cdot \ln(A) + 0.0088 + m-s)$ 		LMS method

저자(년도)	인구 특성	예측식	배제기준	비고
Eom & Kim (2013)	국민건강영양조사 (KNHANES) 4기 (2007-2009) 폐기능검사자료 23,632명 중 적합한 대상자 4,753명 (남자 706명, 여자 4,407명)	<ul style="list-style-type: none"> • 남성 FEV₁ -0.00025410*A² + 0.00012644*H² -0.00262*W+0.61493 • 남성 FVC -0.00000219*A² + 0.0000006995642*H² + 1.19135 • 남성 FEV₁/FVC (%) -0.00289*A² - 0.16158*H + 114.13736 • 여성 FEV₁ -0.00017538*A² + 0.00009598*H² + 0.00231*W + 0.46877 • 여성 FVC -0.0167*A - 0.00030284*A² + 0.0000005850287*H² + 0.77609 • 여성 FEV₁/FVC (%) -0.21382*A - 0.00000143*H² + 97.62514 	배제기준: 흉부방 사선 소견, 부적 합한 폐기능검사, 호흡기계 증상 또 는 질환, 흡연	회귀분석모델 SEE 0.4341 SEE 0.5185 SEE 5.9069 SEE 0.3128 SEE 0.3645 SEE 5.1566

저자(년도)	인구 특성	예측식	배제기준	비고
명준표 등(2016) - 연구보고서	<p>특수건강진단 2013-2014년 폐기능검사 수검자 중 배제 기준을 제외하여 남자 54,639명, 여자 25,677명</p>	<ul style="list-style-type: none"> 남성 FEV₁ $\exp(-8.116136 + 1.983191 \times \ln(H) - 0.221421 \times \ln(A) + m-s)$ 남성 FVC $\exp(-9.532864 + 2.220009 \times \ln(H) - 0.111940 \times \ln(A) + m-s)$ 남성 FEV₁/FVC (%) $\exp(1.256063 - 0.204219 \times \ln(H) - 0.110581 \times \ln(A) + m-s)$ 여성 FEV₁ $\exp(-7.991511 + 1.906379 \times \ln(H) - 0.193489 \times \ln(A) + m-s)$ 여성 FVC $\exp(-9.180955 + 2.098699 \times \ln(H) - 0.086926 \times \ln(A) + m-s)$ 여성 FEV₁/FVC (%) $\exp(0.996878 - 0.151279 \times \ln(H) - 0.109893 \times \ln(A) + m-s)$ 	<p>포함기준: 한국인, 비흡연자 배제기준: 결핵의 과거력, 심장병의 기원력, 흉부 x-ray 영상에서 결핵 등의 이상소견</p>	LMS method

저자(년도)	인구 특성	예측식	배제기준	비고
Jo et al. (2018)	<p>국민건강영양조사 (KNHANES) 4기와 5기 (2007-2009, 2010-2012) 폐기능검사자료 22,423명 중 적합한 대상자 10,249명 (남자 1,473명, 여자 8,776명)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 남성 FEV₁ $\exp(-8.38958 + 2.07792 \times \ln(H) - 0.27470 \times \ln(A) + m-s)$ 남성 FVC $\exp(-10.46859 + 2.41303 \times \ln(H) - 0.12074 \times \ln(A) + m-s)$ 남성 FEV₁/FVC (%) $\exp(1.651370 - 0.256827 \times \ln(H) - 0.145848 \times \ln(A) + m-s)$ 여성 FEV₁ $\exp(-7.58567 + 1.91743 \times \ln(H) - 0.31150 \times \ln(A) + m-s)$ 여성 FVC $\exp(-8.997001 + 2.146341 \times \ln(H) - 0.192659 \times \ln(A) + m-s)$ 여성 FEV₁/FVC (%) $\exp(1.12152 - 0.168862 \times \ln(H) - 0.121644 \times \ln(A) + m-s)$ 	<p>배제기준: 평생 5갑 이상의 흡연자, 기저 호흡기 질환, 기침·가래·호흡곤란 등의 호흡기 증상이 있는 자, 흉부 방사선 사진에서 이상 소견을 가진 자, 고혈압 이외의 심혈관질환(뇌졸중, 허혈성 심장질환), 심각한 신장 또는 간 기능장애, 모든 악성종양</p>	LMS method

A=age, 나이; H=height, 키; W=weight, 체중; ln()=자연로그화; exp()=오일러의 수 e에 대한 지수화; m-s=mu-spline;

〈표 Ⅲ-14〉 국내와 국외 각 예측식 산출 자료원의 장단점

저자	자료원	장점	단점
Hankinson et al. (1999)	NHANES III 1988-1994년	소아와 성인 모두 자료 제공 가능 백인, 아프리카계 미국인, 멕시코계 미국인 인종 구분 가능	미국인 대상, 출생 코호트 영향(birth cohort effect)
Choi et al. (2005)	국민건강영양조사 (KNHANES) II 중 2001년	18세부터 자료 제공 국민건강영양조사와 동시에 진행되 어 조사시에 필요한 정보를 추가로 얻을 수 있었음	흉부 X-ray 이상지를 제외하여 실제보다 equation 이 높게 나옴(예측값을 과대평가). 근로자는 잘 인정 되지만 검진기관에서는 부담스러워함(현재 raw data 의 일부 확보 불가능). 보정계수 0.92 적용에 대한 논란 체중 변수가 포함되었으나 이에 대한 논란 10년 이상 된 자료로 출생 코호트 영향
Quanjer et al. (2012)	Choi et al. (2005)의 연구에서 분석한 집단을 포함한 전세계 폐기능 예측식 연구 집단	유럽호흡기학회(ERS)에서 발표한 대부분의 인종과 전 연령을 아우르 는 예측식 LMS 방법	동북아시아인식에 한국인 이외에 중국의 일부 지역이 포함되어 우리나라 인구 고유의 대표성을 반영했다고 보기 어려움 출생 코호트 영향 raw data 전체 확보 불가능

저자	자료원	장점	단점
Eom & Kim (2013)	국민건강영양조사 (KNHANES) 4기 (2007-2009)	19세부터 자료 제공 비교적 출생 코호트 영향에서 자유 로움	체중 변수 포함 고령 인구집단에서 과대진단, 젊은 집단에서 과소 진 단의 위험
Kubota et al. (2014)	일본 전역 12개 센터	2007-2010년의 최신 자료 수집 2001년 연구보다 많은 연구대상자 LMS 방법	전체 인구를 완전히 대표하지 못함
명준표 등 (2016) - 연구보고서	특수건강진단 2013-2014년 폐기능검사 수검자	한국 근로자를 대표하는 자료원 40세 이전 근로자에 대한 자료 분석 가능 LMS 방법	근로자를 대표하는 자료원이나 건강근로자 효과로 일 반인구 집단에 비해 LLN이 상대적으로 높을 것으로 추정
Jo et al. (2018)	국민건강영양조사 (KNHANES) 4기 (2007-2009)와 5기(2010-2012)	LMS 방법	국민건강영양조사 5기에는 40세 이상만 포함됨 젊은 피험자 수가 적어 30대 미만의 피험자에 대한 예측값 해석에 주의가 필요

4. LLN 도입 필요성 검토

LLN은 폐기능검사 결과를 해석하는데 사용되는 중요한 지표 중 하나이다. 미국에서 뿐만 아니라 국제적인 기관 GLE에서도 LLN을 폐기능검사 결과 해석에 활용하도록 권장하고 있다. 이와 관련하여 Mikulski 등(2013)은 미국에서 NHANES III 자료를 사용하여 고정 기준과 LLN 간의 일치 여부를 평가하였다. 고정 기준은 결과의 34.5%를 비정상적으로 분류했으며 LLN은 29.7%를 비정상적으로 분류하였다. 두 방법간의 전반적 일치는 60세 미만에서는 거의 완벽하게 일치되었지만 80세 이상에서는 떨어지면서 나이에 따른 불일치가 있어 이에 대한 고려는 필요하였다.

van Dijk 등(2014)은 고정기준(fixed ratio, FR) 대(versus) LLN의 COPD 진단에서의 임상적 중요성에 대한 체계적 문헌고찰을 수행하였다. 11건의 논문을 검토 결과 어느 하나의 기준을 선호하기 어려웠다. 기류 제한이 덜 심한 노인에서는 LLN이 더 나왔으며, 고도의 기류 제한이 있는 군에서는 고정 기준이 더 나왔다. 이에 대안적 진단을 권유하였다.

Xiong 등(2020)은 고정기준과 LLN 기준 사이에 이환율, 사망률, 악화율에 대한 차이가 있는지 확인하기 위해 메타 분석을 수행하였다. 13개의 연구와 154,447명의 대상자에서 FR 또는 LLN에 따른 기류 제한이 있는 환자는 어느 기준도 충족하지 못한 환자보다 사망률이 더 높았다. FR-/LLN- 기준과 비교했을 때, FR에 따른 기류 제한이 있는 환자는 LLN만 있는 환자보다 악화 가능성이 더 높았다. 동반질환 발생에 있어서는 FR+/LLN- 군과 FR-/LLN+ 군 사이에 차이가 없었다.

국내에서 사용하는 폐활량검사기기는 대부분 고정 기준을 사용하여 폐기능을 해석하고 있다. LLN는 고정 기준과 달리 연령 등에 따라 달라지는 값이며 매우 객관적인 방법으로, 특히 젊은 피험자에서 폐기능 이상을 민감하게 발견할 수

있을 것으로 기대된다. 이에 국내에서도 LLN 도입은 매우 필요한 것으로 생각된다.

다만 실제 판정시에는 폐활량 값을 직관적으로 보는 것이 능률적이어서 활용성 측면에서는 이를 보완할 필요가 있다. 수검자의 연령, 성별, 신장, 폐기능검사 기초 값 등을 입력하면 전체적인 폐기능검사 결과가 LLN 미만인지 여부를 판별할 수 있는 프로그램 개발이 필요한 상황이다. 한편, 국내에서 개발된 폐활량검사기기 중에서 LLN을 자동으로 계산해 주는 기기는 찾을 수 없었다.

미국 NIOSH와 유럽 ERS 홈페이지에는 참고치와 함께 LLN을 계산해 주는 사이트를 운영하고 있었다. 이에 우리나라에서도 참고치와 함께 LLN 값을 함께 제공하는 사이트 도입이 필요하다.

이를 위해 기존에 한국인을 대상으로 예측식 개발에 사용되었던 자료원인 국민건강영양조사 자료와 명준표 등(2016)이 시범적으로 사용했던 특수건강 진단자료를 활용할 수 있을 것이다.

5. 자료분석

1) 국민건강영양조사 자료

2001년 국민건강영양조사에서는 폐기능검사 관련 변수와 데이터를 공개하고 있지 않았다.

2007년 국민건강영양조사 자료에는 FVC, FVC(%), FEV₁, FEV₁(%), FEV₁/FVC, 폐기능검사 판정결과 변수를 제공하고 있었다. 성별, 연령, 키, 몸무게 변수도 제공되어 있으며, 흡연 관련 변수로는 평생 흡연 여부, 흡연 시작 연령, 현재 흡연 여부, 현재 흡연자의 하루평균 흡연량, 과거흡연자 흡연기간, 과거 흡연자의 하루평균 흡연량 등의 변수가 있었다. 호흡기계병력(폐결핵, 천식, 만성폐쇄성폐질환, 기관지확장증 등), 심장관련 질환, 기타 암과 근육계질환력 등은 설문 항목으로 조사하고 있었다.

2007년 국민건강영양조사 대상자 중 폐기능검사를 시행한 대상자는 2,248명으로 남성 978명이고 여성 1,270명이었다. 평균 나이는 남성 49.6세이고 여성 49.2세이었고 연령군은 남성과 여성 모두 19-80세이었다. 평균 신장은 남성 168.8cm이고 여성 155.7cm이었으며 신장의 범위는 남성 143.3-196.0cm이고 여성 133.9-175.1cm이었다. 이들을 대상으로 폐기능 판정결과 정상으로 판정된 비율은 남성 대상자의 47.2%이고 여성 대상자의 59.8%로 여성에서 정상 비율이 높았다. 제한성 환기장애의 비율은 각각 남성에서 8.6%이고 여성에서 7.6%이었고, 폐쇄성 환기장애 비율은 각각 남성 13.8%이고 여성 4.6%로 남성에서 제한성 및 폐쇄성 환기장애 비율이 높았다.

〈표 Ⅲ-15〉 국민건강영양조사 2007년 폐기능검사 대상자의 일반적 특성

변수	남성(n=978)	여성(n=1,270)	전체(n=2,248)
연령 (세)	49.6 ± 15.4	49.2 ± 15.1	49.3 ± 15.3
연령 범위 (세)	19 - 80	19 - 80	19 - 80
연령군, No.(%)			
-29	99 (10.1)	117 (9.2)	216 (9.6)
30-39	196 (20.0)	279 (22.0)	475 (21.1)
40-49	217 (22.2)	264 (20.8)	481 (21.4)
50-59	169 (17.3)	254 (20.0)	423 (18.8)
60-69	174 (17.8)	217 (17.1)	391 (17.4)
70-	123 (12.6)	139 (10.9)	262 (11.7)
신장 (cm)	168.8 ± 6.9	155.7 ± 6.2	161.4 ± 9.2
신장 범위 (cm)	143.3- 196.0	133.9 - 175.1	133.9 - 196.0
몸무게 (kg)	69.0 ± 10.6	57.6 ± 8.8	62.54 ± 11.1
BMI (kg/m ³)	24.2 ± 2.97	23.7 ± 3.4	23.9 ± 3.2
FVC (L)	4.16 ± 0.82	2.96 ± 0.56	3.48 ± 0.91
FEV ₁ (L)	3.19 ± 0.82	2.39 ± 0.54	2.74 ± 0.78
FEV ₁ /FVC (%)	76.22 ± 10.16	80.57 ± 7.33	78.68 ± 8.94
폐기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	462 (47.2)	759 (59.8)	1,221 (54.3)
제한성환기장애	84 (8.6)	96 (7.6)	180 (8.0)
폐쇄성환기장애	135 (13.8)	58 (4.6)	193 (8.6)
판정불능	297 (30.4)	357 (28.1)	654 (29.1)

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

2007년 국민건강영양조사에서 폐기능검사를 시행한 남성대상자 중 비흡연자는 193명이고 흡연자는 776명으로 흡연자의 비율이 80.1%를 차지하였다. 나이는 비흡연자가 47.7세이고 흡연자가 50.0세이었지만 통계적으로 유의하지는 않았다.

이들을 대상으로 폐활량검사 FEV₁/FVC(%)의 평균값은 비흡연자에서 78.06%이고 흡연자에서 75.80%로 대상자의 흡연여부에 따라 FEV₁/FVC(%) 값이 유의하게 달라졌다. 폐기능 판정결과는 유의한 차이를 보이지는 않았다.

그밖에 배제기준 및 포함기준 여부는 참고치 계산 연구마다 달랐으므로 분석에서는 제외하였다.

〈표 III-16〉 국민건강영양조사 2007년 폐기능검사 남성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성

변수	비흡연(n=193)	흡연(n=776)	p-value
연령 (세)	47.7 ± 16.2	50.0 ± 15.2	0.059 [†]
연령 범위 (세)	19 - 80	19 - 80	
연령군, No.(%)			
-29	32 (16.6)	67 (8.6)	0.023[‡]
30-39	35 (18.1)	159 (20.5)	
40-49	40 (20.7)	174 (22.4)	
50-59	30 (15.5)	137 (17.7)	
60-69	38 (19.7)	135 (17.4)	
70-	18 (9.3)	104 (13.4)	
신장 (cm)	169.1 ± 7.1	168.7 ± 6.8	0.483 [†]
신장 범위 (cm)	148.0 - 196.0	143.3 - 190.3	
몸무게 (kg)	69.4 ± 9.7	68.9 ± 10.8	0.529 [†]
BMI (kg/m ³)	24.2 ± 2.83	24.1 ± 3.0	0.646 [†]
FVC (L)	4.20 ± 0.80	4.14 ± 0.82	0.393 [†]
FEV ₁ (L)	3.29 ± 0.77	3.16 ± 0.83	0.057 [†]
FEV ₁ /FVC (%)	78.06 ± 8.97	75.80 ± 10.38	0.003[‡]
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	95 (49.2)	364 (46.9)	0.245 [†]
제한성환기장애	18 (9.3)	65 (8.4)	
폐쇄성환기장애	18 (9.3)	116 (14.9)	
판정불능	62 (32.1)	231 (29.8)	

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

[†]t-test; [‡]chi square test

2007년 국민건강영양조사에서 폐기능검사를 시행한 여성대상자 중 비흡연자는 1,150명이고 흡연자는 107명으로 흡연자의 비율이 8.5%를 차지하였다. 나이는 비흡연자가 49.3세이고 흡연자가 47.5세이었지만 통계적으로 유의하지는 않았다.

폐활량 검사 FEV₁의 평균값이나 폐기능 판정결과는 대상자의 흡연여부에 따라 유의하게 달라지지 않는 않았다.

〈표 III-17〉 국민건강영양조사 2007년 폐기능검사 여성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성

변수	비흡연(n=1,150)	흡연(n=107)	p-value
연령 (세)	49.3 ± 14.9	47.5 ± 17.4	0.313 [†]
연령 범위 (세)	19 - 80	19 - 80	
연령군, No.(%)			
-29	101 (8.8)	15 (14.0)	0.056 [‡]
30-39	248 (21.6)	28 (26.2)	
40-49	244 (21.2)	18 (16.8)	
50-59	236 (20.5)	15 (14.0)	
60-69	202 (17.6)	14 (13.1)	
70-	119 (10.3)	17 (10.8)	
신장 (cm)	155.7 ± 6.2	156.2 ± 6.3	0.349 [†]
신장 범위 (cm)	133.9 - 175.1	141.9 - 169.2	
몸무게 (kg)	57.5 ± 8.6	58.1 ± 10.7	0.607 [†]
BMI (kg/m ³)	23.8 ± 3.3	23.8 ± 4.0	0.947 [†]
FVC (L)	2.95 ± 0.55	3.01 ± 0.62	0.349 [†]
FEV ₁ (L)	2.39 ± 0.53	2.41 ± 0.65	0.787 [†]
FEV ₁ /FVC (%)	80.71 ± 7.13	79.33 ± 9.35	0.141 [†]
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	693 (60.3)	62 (57.9)	0.249 [‡]
제한성환기장애	86 (7.5)	7 (6.5)	
폐쇄성환기장애	48 (4.2)	9 (8.4)	
판정불능	323 (28.1)	29 (27.1)	

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

[†]t-test; [‡]chi square test

연령군에 따른 FVC, FEV₁, FEV₁/FVC%의 변화를 조사하였다 <표 III-18>. 남성에서 29세 이하의 FVC는 4.77L이지만 연령군별로 점차 감소하여 70세 이상에서는 3.27L로 약 31.4% 감소하였다. 여성에서는 29세 이하의 FVC는 3.34L 이지만 연령군별로 점차 감소하여 70세 이상에서는 2.24L로 약 32.9% 감소하였다. 남성과 여성 모두 FEV₁, FEV₁/FVC%가 연령군에 따라 감소하였다.

<표 III-18> 국민건강영양조사 2007년 폐기능검사 대상자의 연령군별 FVC, FEV₁, FEV₁/FVC% (Mean ± SD)

FVC (L)		FEV ₁ (L)		FEV ₁ /FVC%	
남성	여성	남성	여성	남성	여성
-29 4.77 0.74	3.34 0.47	3.98 0.62	2.89 0.46	83.70 7.89	86.44 7.67
30-39 4.69 0.62	3.33 0.42	3.85 0.55	2.80 0.40	82.30 6.64	84.25 6.83
40-49 4.36 0.62	3.12 0.42	3.43 0.51	2.54 0.36	78.94 6.56	81.50 5.29
50-59 4.04 0.63	2.91 0.43	3.00 0.56	2.28 0.38	74.50 8.76	78.50 6.24
60-69 3.70 0.69	2.59 0.43	2.61 0.57	2.02 0.35	70.69 9.47	77.96 5.84
70- 3.27 0.69	2.24 0.45	2.15 0.55	1.67 0.38	65.90 11.13	74.31 7.54

2008년 국민건강영양조사 대상자 중 폐기능검사를 시행한 대상자는 4,908명으로 남성 2,137명이고 여성 2,771명이었다. 평균 나이는 남성 49.0세이고 여성 49.3세이었고 연령군은 남성과 여성 모두 19-80세이었다. 평균 신장은 남성 169.1cm이고 여성 156.3cm이었으며 신장의 범위는 남성 124.8-190.8cm이고 여성 124.2-177.0cm이었다. 이들을 대상으로 폐기능 판정결과 정상으로 판정된 비율은 남성 대상자의 49.4%이고 여성 대상자의 57.9%로 여성에서 정상 비율이 높았다. 제한성 환기장애의 비율은 각각 남성에서 8.1%이고 여성에서 7.9%이었고, 폐쇄성 환기장애 비율은 각각 남성 11.3%이고 여성 4.6%로 남성에서 제한성 및 폐쇄성 환기장애 비율이 높았다.

〈표 III-19〉 국민건강영양조사 2008년 폐기능검사 대상자의 일반적 특성

변수	남성(n=2,137)	여성(n=2,771)	전체(n=4,908)
연령 (세)	49.0 ± 15.0	49.5 ± 15.4	49.3 ± 15.3
연령 범위 (세)	19 - 80	19 - 80	19 - 80
연령군, No.(%)			
-29	206 (9.6)	284 (10.2)	490 (10.0)
30-39	450 (21.1)	542 (19.6)	992 (20.2)
40-49	478 (22.4)	608 (21.9)	1,086 (22.1)
50-59	418 (19.6)	518 (18.7)	936 (19.1)
60-69	335 (15.7)	486 (17.5)	821 (16.7)
70-	250 (11.7)	333 (12.0)	583 (11.9)
신장 (cm)	169.1 ± 6.5	156.3 ± 6.4	161.9 ± 9.1
신장 범위 (cm)	124.8 - 190.8	124.2 - 177.0	124.2 - 190.8
몸무게 (kg)	69.5 ± 10.4	57.9 ± 8.9	63.0 ± 11.2
BMI (kg/m ³)	24.3 ± 2.9	23.7 ± 3.3	24.0 ± 3.2
FVC (L)	4.23 ± 0.80	2.99 ± 0.59	3.53 ± 0.93
FEV ₁ (L)	3.28 ± 0.79	2.40 ± 0.54	2.79 ± 0.79
FEV ₁ /FVC (%)	77.09 ± 9.62	80.26 ± 7.39	78.88 ± 8.57
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	1,056 (49.4)	1,605 (57.9)	2,661 (54.2)
제한성환기장애	173 (8.1)	218 (7.9)	391 (8.0)
폐쇄성환기장애	242 (11.3)	128 (4.6)	370 (7.5)
판정불능	666 (31.2)	820 (29.6)	1,486 (30.3)

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

2008년 국민건강영양조사에서 폐기능검사를 시행한 남성 대상자 중 비흡연자는 399명이고 흡연자는 1,729명으로 흡연자의 비율이 81.3%를 차지하였다. 나이는 비흡연자가 47.0세이고 흡연자가 49.5세이었고 통계적으로 유의하였다.

이들을 대상으로 폐활량검사 FEV₁의 평균값은 비흡연자에서 79.58L, 흡연자에서 76.51L로 흡연여부에 따라 유의한 차이가 있었다. 또한 FEV₁/FVC(%)의 평균값은 비흡연자에서 79.58%이고 흡연자에서 76.51%로 대상자의 흡연여부에 따라 FEV₁/FVC(%) 값이 유의하게 달라졌다. 폐기능 판정결과도 대상자의 흡연여부에 따라 유의한 차이를 보였다.

〈표 III-20〉 국민건강영양조사 2008년 폐기능검사 남성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성

변수	비흡연(n=399)	흡연(n=1,729)	p-value
연령 (세)	47.0 ± 16.2	49.5 ± 14.7	0.003 [†]
연령 범위 (세)	19 - 80	19 - 80	
연령군, No.(%)			
-29	68 (17.0)	138 (8.0)	< 0.001 [†]
30-39	75 (18.8)	373 (21.6)	
40-49	84 (21.1)	392 (22.7)	
50-59	72 (18.0)	344 (19.9)	
60-69	52 (13.0)	282 (16.3)	
70-	48 (12.0)	200 (11.6)	
신장 (cm)	169.3 ± 7.7	169.1 ± 6.2	
신장 범위 (cm)	124.8 - 187.4	144.3 - 190.8	
몸무게 (kg)	70.2 ± 10.5	69.4 ± 10.4	0.141 [†]
BMI (kg/m ³)	24.4 ± 2.9	24.2 ± 2.9	0.165 [†]
FVC (L)	4.21 ± 0.85	4.24 ± 0.79	0.531 [†]
FEV ₁ (L)	3.36 ± 0.78	3.26 ± 0.80	0.029 [†]
FEV ₁ /FVC (%)	79.58 ± 8.01	76.51 ± 9.86	< 0.001 [†]
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	199 (49.9)	852 (49.3)	0.046 [†]
제한성환기장애	40 (10.0)	132 (7.6)	
폐쇄성환기장애	31 (7.8)	210 (12.1)	
판정불능	129 (32.3)	535 (30.9)	

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

[†]t-test; [‡]chi square test

2008년 국민건강영양조사에서 폐기능검사를 시행한 여성대상자 중 비흡연자는 2,480명이고 흡연자는 287명으로 흡연자의 비율이 10.4%를 차지하였다. 나이는 비흡연자가 49.6세이고 흡연자가 48.2세이었지만 통계적으로 유의하지는 않았으나 연령군의 비율은 유의한 차이가 있었다.

폐활량 검사 $FEV_1/FVC(\%)$ 의 평균값은 비흡연자에서 80.50%, 흡연자에서 78.22%로 통계적으로 유의한 차이가 있었으며 폐기능 판정결과도 대상자의 흡연여부에 따라 유의하게 달라졌다.

〈표 III-21〉 국민건강영양조사 2008년 폐기능검사 여성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성

변수	비흡연(n=2,480)	흡연(n=287)	p-value
연령 (세)	49.6 ± 15.1	48.2 ± 18.3	0.189 [†]
연령 범위 (세)	19 - 80	19 - 80	
연령군, No.(%)			
-29	233 (9.4)	51 (17.8)	< 0.001 [‡]
30-39	470 (19.0)	71 (24.7)	
40-49	563 (22.7)	44 (15.3)	
50-59	490 (19.8)	28 (9.8)	
60-69	446 (18.0)	38 (13.2)	
70-	278 (11.2)	55 (19.2)	
신장 (cm)	156.2 ± 6.3	156.6 ± 6.7	0.333 [†]
신장 범위 (cm)	124.2 - 174.9	133.8 - 177.0	
몸무게 (kg)	57.9 ± 8.7	58.1 ± 10.4	0.839 [†]
BMI (kg/m ³)	23.7 ± 3.3	23.6 ± 3.8	0.661 [†]
FVC (L)	2.98 ± 0.58	3.02 ± 0.70	0.398 [†]
FEV ₁ (L)	2.41 ± 0.53	2.37 ± 0.64	0.389 [†]
FEV ₁ /FVC (%)	80.50 ± 7.20	78.22 ± 8.58	< 0.001 [‡]
폐기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	1,455 (58.7)	149 (51.9)	< 0.001 [‡]
제한성환기장애	197 (7.9)	21 (7.3)	
폐쇄성환기장애	96 (3.9)	31 (10.8)	
판정불능	732 (29.5)	86 (30.0)	

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

[†]t-test; [‡]chi square test

2009년 국민건강영양조사 대상자 중 폐기능검사를 시행한 대상자는 5,782명으로 남성 2,637명이고 여성 3,145명이었다. 평균 나이는 남성 49.1세이고 여성 50.3세이었고 연령군은 남성과 여성 모두 19-80세이었다. 평균 신장은 남성 169.5cm이고 여성 156.2cm이었으며 신장의 범위는 남성 144.6-189.0cm이고 여성 132.4-178.3cm이었다. 이들을 대상으로 폐기능 판정결과 정상으로 판정된 비율은 남성 대상자의 56.7%이고 여성 대상자의 63.3%로 여성에서 정상 비율이 높았다. 제한성 환기장애의 비율은 각각 남성에서 9.6%이고 여성에서 8.6%이었고, 폐쇄성 환기장애 비율은 각각 남성 11.1%이고 여성 3.6%로 남성에서 제한성 및 폐쇄성 환기장애 비율이 높았다.

〈표 III-22〉 국민건강영양조사 2009년 폐기능검사 대상자의 일반적 특성

변수	남성(n=2,637)	여성(n=3,145)	전체(n=5,782)
연령 (세)	49.1 ± 15.4	50.3 ± 15.0	49.8 ± 15.2
연령 범위 (세)	19 - 80	19 - 80	19 - 80
연령군, No.(%)			
-29	306 (11.6)	287 (9.1)	593 (10.3)
30-39	491 (18.6)	551 (17.5)	1,042 (18.0)
40-49	579 (22.0)	725 (23.1)	1,304 (22.6)
50-59	495 (18.8)	623 (19.8)	1,118 (19.3)
60-69	468 (17.7)	568 (18.1)	1,036 (17.9)
70-	298 (11.3)	391 (12.4)	689 (11.9)
신장 (cm)	169.5 ± 6.5	156.2 ± 6.5	162.3 ± 9.3
신장 범위 (cm)	144.6 - 189.0	132.4 - 178.3	132.4 - 189.0
몸무게 (kg)	70.2 ± 10.9	58.2 ± 9.1	63.7 ± 11.6
BMI (kg/m ³)	24.4 ± 3.1	23.9 ± 3.4	24.1 ± 3.3
FVC (L)	4.27 ± 0.81	2.99 ± 0.57	3.57 ± 0.94
FEV ₁ (L)	3.35 ± 0.79	2.45 ± 0.53	2.85 ± 0.80
FEV ₁ /FVC (%)	78.08 ± 9.06	81.75 ± 6.79	80.08 ± 8.11
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	1,496 (56.7)	1,991 (63.3)	3,487 (60.3)
제한성환기장애	254 (9.6)	272 (8.6)	526 (9.1)
폐쇄성환기장애	292 (11.1)	113 (3.6)	405 (7.0)
판정불능	595 (22.6)	769 (24.5)	1,364 (23.6)

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

2009년 국민건강영양조사에서 폐기능검사를 시행한 남성 대상자 중 비흡연자는 548명이고 흡연자는 2,074명으로 흡연자의 비율이 79.1%를 차지하였다. 나이는 비흡연자가 46.3세이고 흡연자가 49.9세이었으며 통계적으로 유의하였다. 신체 측정 값에서 몸무게, BMI의 평균값이 두 집단에서 유의한 차이가 나타났다.

이들을 대상으로 폐활량검사 FEV₁ 평균값의 경우 비흡연자 3.46L, 흡연자 3.32L로 유의한 차이가 나타났고 FEV₁/FVC(%)의 평균값은 비흡연자에서 80.31%이고 흡연자에서 77.49%로 대상자의 흡연여부에 따라 FEV₁/FVC(%) 값이 유의하게 달랐다. 폐기능 판정결과에서도 유의한 차이를 나타냈다.

〈표 III-23〉 국민건강영양조사 2009년 폐기능검사 남성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성

변수	비흡연(n=548)	흡연(n=2,074)	p-value
연령 (세)	46.3 ± 16.5	49.9 ± 15.0	< 0.001 [†]
연령 범위 (세)	19 - 80	19 - 80	
연령군, No.(%)			
-29	111 (20.3)	194 (9.4)	< 0.001 [†]
30-39	101 (18.4)	389 (18.8)	
40-49	97 (17.7)	477 (23.0)	
50-59	100 (18.2)	391 (18.9)	
60-69	89 (16.2)	376 (18.1)	
70-	50 (9.1)	247 (11.9)	
신장 (cm)	169.9 ± 6.8	169.4 ± 6.4	0.091 [†]
신장 범위 (cm)	144.6 - 189.0	145.5 - 188.8	
몸무게 (kg)	71.1 ± 11.0	69.9 ± 10.9	0.019 [†]
BMI (kg/m ³)	24.6 ± 3.2	24.3 ± 3.1	0.046 [†]
FVC (L)	4.30 ± 0.84	4.27 ± 0.81	0.340 [†]
FEV ₁ (L)	3.46 ± 0.79	3.32 ± 0.79	< 0.001 [†]
FEV ₁ /FVC (%)	80.31 ± 8.40	77.49 ± 9.15	< 0.001 [†]
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	316 (57.7)	1,172 (56.5)	< 0.001 [†]
제한성환기장애	52 (9.5)	201 (9.7)	
폐쇄성환기장애	33 (6.0)	258 (12.4)	
판정불능	147 (26.8)	443 (21.4)	

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

[†]t-test; [‡]chi square test

2009년 국민건강영양조사에서 폐기능검사를 시행한 여성대상자 중 비흡연자는 2,812명이고 흡연자는 317명으로 흡연자의 비율이 10.1%를 차지하였다. 나이는 비흡연자가 50.9세이고 흡연자가 45.3세이었으며 통계적으로 유의하였다. 신체 측정 값에서 신장, BMI의 평균값이 두 집단에서 유의한 차이가 나타났다.

폐활량 검사에서 FVC의 평균값이 비흡연자에서 2.98L, 흡연자에서 3.09L로 유의한 차이가 보였고, FEV₁의 평균값은 비흡연자에서 2.44L, 흡연자에서 2.53L로 흡연 여부에 따라 유의미한 차이가 나타났다. 폐기능 판정결과는 대상자의 흡연여부에 따라 유의하게 달라지지 않았다.

〈표 III-24〉 국민건강영양조사 2009년 폐기능검사 여성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성

변수	비흡연(n=2,812)	흡연(n=317)	p-value
연령 (세)	50.9 ± 14.7	45.3 ± 17.1	< 0.001 [†]
연령 범위 (세)	19 - 80	19 - 80	
연령군, No.(%)			
-29	220 (7.8)	66 (20.8)	< 0.001 [‡]
30-39	469 (16.7)	79 (24.9)	
40-49	665 (23.6)	53 (16.7)	
50-59	578 (20.6)	43 (13.6)	
60-69	531 (18.9)	35 (11.0)	
70-	349 (12.4)	41 (12.9)	
신장 (cm)	156.0 ± 6.4	157.6 ± 6.7	< 0.001 [†]
신장 범위 (cm)	132.4 - 178.3	133.1 - 176.7	
몸무게 (kg)	58.2 ± 9.1	58.2 ± 10.1	0.974 [†]
BMI (kg/m ³)	23.9 ± 3.4	23.4 ± 3.7	0.019 [†]
FVC (L)	2.98 ± 0.57	3.09 ± 0.64	0.003 [†]
FEV ₁ (L)	2.44 ± 0.52	2.53 ± 0.60	0.012 [†]
FEV ₁ /FVC (%)	81.77 ± 6.66	81.49 ± 7.99	0.549 [†]
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	1,787 (63.5)	192 (60.6)	0.057 [‡]
제한성환기장애	244 (8.7)	27 (8.5)	
폐쇄성환기장애	93 (3.3)	20 (6.3)	
판정불능	688 (24.5)	78 (24.6)	

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

[†]t-test; [‡]chi square test

2016년 국민건강영양조사 대상자 중 폐기능검사를 시행한 대상자는 3,444명으로 남성 1,513명이고 여성 1,931명이었다. 평균 나이는 남성 58.3세이고 여성 58.2세이었고 연령군은 남성과 여성 모두 40-80세이었다. 평균 신장은 남성 168.7cm이고 여성 155.8cm이었으며 신장의 범위는 남성 149.0-189.3cm이고 여성 132.4-174.8cm이었다. 이들을 대상으로 폐기능 판정결과 정상으로 판정된 비율은 남성 대상자의 58.5%이고 여성 대상자의 75.5%로 여성에서 정상 비율이 높았다. 제한성 환기장애의 비율은 각각 남성에서 12.9%이고 여성에서 12.5%이었고, 폐쇄성 환기장애 비율은 각각 남성 22.7%이고 여성 7.1%로 남성에서 제한성 및 폐쇄성 환기장애 비율이 높았다.

〈표 III-25〉 국민건강영양조사 2016년 폐기능검사 대상자의 일반적 특성

변수	남성(n=1,513)	여성(n=1,931)	전체(n=3,444)
연령 (세)	58.3 ± 11.5	58.2 ± 11.1	58.3 ± 11.2
연령 범위 (세)	40 - 80	40 - 80	40 - 80
연령군, No.(%)			
-29	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
30-39	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
40-49	436 (28.8)	525 (27.2)	961 (27.9)
50-59	402 (26.6)	561 (29.1)	963 (28.0)
60-69	365 (24.1)	473 (24.5)	838 (24.3)
70-	310 (20.5)	372 (19.3)	682 (19.8)
신장 (cm)	168.7 ± 6.1	155.8 ± 6.1	161.5 ± 8.8
신장 범위 (cm)	149.0 - 189.3	132.4 - 174.8	132.4 - 189.3
몸무게 (kg)	70.0 ± 10.4	58.9 ± 9.2	63.8 ± 11.2
BMI (kg/m ³)	24.6 ± 3.0	24.2 ± 3.4	24.4 ± 3.3
FVC (L)	4.04 ± 0.74	2.86 ± 0.55	3.38 ± 0.87
FEV ₁ (L)	3.03 ± 0.68	2.27 ± 0.48	2.61 ± 0.68
FEV ₁ /FVC (%)	74.69 ± 8.46	79.26 ± 6.03	77.25 ± 7.55
폐기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	885 (58.5)	1,458 (75.5)	2,343 (68.0)
제한성환기장애	195 (12.9)	242 (12.5)	437 (12.7)
폐쇄성환기장애	343 (22.7)	137 (7.1)	480 (13.9)
판정불능	90 (5.9)	94 (4.9)	184 (5.3) ☞ 40 55

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

2016년 국민건강영양조사에서 폐기능검사를 시행한 남성 대상자 중 비흡연자는 311명이고 흡연자는 1,189명으로 흡연자의 비율이 79.3%를 차지하였다. 나이는 비흡연자가 57.9세이고 흡연자가 58.4세이었으며 통계적으로 유의하지는 않았다.

이들을 대상으로 폐활량검사 FEV₁의 평균값은 비흡연자 3.10L, 흡연자 3.02L로 유의한 차이가 나타났다. FEV₁/FVC(%)의 평균값은 비흡연자에서 76.87%이고 흡연자에서 74.13%로 대상자의 흡연여부에 따라 FEV₁/FVC(%) 값이 유의하게 달라졌다. 폐기능 판정결과에서도 흡연여부에 따른 유의한 차이가 나타났다.

〈표 III-26〉 국민건강영양조사 2016년 폐기능검사 남성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성

변수	비흡연(n=311)	흡연(n=1,189)	p-value
연령 (세)	57.9 ± 11.9	58.4 ± 11.4	0.507 [†]
연령 범위 (세)	40 - 80	40 - 80	
연령군, No.(%)			
-29	0 (0.0)	0 (0.0)	0.143 [‡]
30-39	0 (0.0)	0 (0.0)	
40-49	103 (33.1)	333 (28.0)	
50-59	70 (22.5)	327 (27.5)	
60-69	70 (22.5)	292 (24.6)	
70-	68 (21.9)	237 (19.9)	
신장 (cm)	168.7 ± 6.2	168.7 ± 6.1	0.899 [†]
신장 범위 (cm)	151.7 - 187.8	149.0 - 189.3	
몸무게 (kg)	69.8 ± 10.3	70.1 ± 10.5	0.555 [†]
BMI (kg/m ³)	24.5 ± 3.1	24.6 ± 3.0	0.492 [†]
FVC (L)	4.03 ± 0.72	4.05 ± 0.74	0.580 [†]
FEV ₁ (L)	3.10 ± 0.65	3.02 ± 0.68	0.042[†]
FEV ₁ /FVC (%)	76.87 ± 7.13	74.13 ± 8.68	< 0.001[†]
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	213 (68.5)	668 (56.2)	< 0.001[†]
제한성환기장애	42 (13.5)	150 (12.6)	
폐쇄성환기장애	41 (13.2)	297 (25.0)	
판정불능	15 (4.8)	74 (6.2)	

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

[†]t-test; [‡]chi square test

2016년 국민건강영양조사에서 폐기능검사를 시행한 여성대상자 중 비흡연자는 1,765명이고 흡연자는 146명으로 흡연자의 비율이 7.6%를 차지하였다. 나이는 비흡연자가 58.3세이고 흡연자가 55.4세이었으며 흡연여부에 따라 통계적으로 유의하였다. 신체계측 값에서 신장 평균의 경우 비흡연자 155.8cm, 흡연자 156.9cm로 통계적으로 유의하였다.

폐활량 검사에서 FVC 평균은 비흡연자 2.85L, 흡연자 3.02L로 흡연자에서 더 높게 나타났으며 흡연여부에 따라 유의하게 달라졌다. FEV₁의 평균값은 비흡연자에서 2.27L, 흡연자에서 2.36L로 흡연자에서 더 높게 나타났고 통계적으로 유의하였다. FEV₁/FVC(%)의 평균값은 비흡연자에서 79.37%, 흡연자에서 78.03%로 비흡연자에서 높게 나타났으며 통계적으로 유의하였다. 폐기능 판정결과는 대상자의 흡연여부에 따라 유의하게 달라지지 않는 않았다.

〈표 III-27〉 국민건강영양조사 2016년 폐기능검사 여성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성

변수	비흡연(n=1,765)	흡연(n=146)	p-value
연령 (세)	58.3 ± 11.1	55.4 ± 10.4	0.002 [†]
연령 범위 (세)	40 - 80	40 - 80	
연령군, No.(%)			
-29	0 (0.0)	0 (0.0)	0.005 [‡]
30-39	0 (0.0)	0 (0.0)	
40-49	473 (26.8)	50 (34.2)	
50-59	504 (28.6)	53 (36.3)	
60-69	443 (25.1)	23 (15.8)	
70-	345 (19.5)	20 (13.7)	
신장 (cm)	155.8 ± 6.1	156.9 ± 6.2	0.031 [†]
신장 범위 (cm)	132.4 - 174.8	141.3 - 169.5	
몸무게 (kg)	58.8 ± 8.9	60.4 ± 12.2	0.106 [†]
BMI (kg/m ³)	24.2 ± 3.3	24.5 ± 4.4	0.451 [†]
FVC (L)	2.85 ± 0.55	3.02 ± 0.57	0.001 [†]
FEV ₁ (L)	2.27 ± 0.47	2.36 ± 0.53	0.019 [†]
FEV ₁ /FVC (%)	79.37 ± 5.90	78.03 ± 7.43	0.035 [†]
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	1,332 (75.5)	112 (76.7)	0.122 [‡]
제한성환기장애	227 (12.9)	12 (8.2)	
폐쇄성환기장애	120 (6.8)	16 (11.0)	
판정불능	86 (4.9)	6 (4.1)	

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

[†]t-test; [‡]chi square test

2017년 국민건강영양조사 대상자 중 폐기능검사를 시행한 대상자는 3,598명으로 남성 1,606명이고 여성 1,992명이었다. 평균 나이는 남성 58.3세이고 여성 58.3세이었고 연령군은 남성과 여성 모두 40-80세이었다. 평균 신장은 남성 168.8cm이고 여성 156.1cm이었으며 신장의 범위는 남성 141.0-187.8cm이고 여성 135.9-176.7cm이었다. 이들을 대상으로 폐기능 판정결과 정상으로 판정된 비율은 남성 대상자의 51.9%이고 여성 대상자의 68.2%로 여성에서 정상 비율이 높았다. 제한성 환기장애의 비율은 각각 남성에서 14.5%이고 여성에서 9.6%이었고, 폐쇄성 환기장애 비율은 각각 남성 20.4%이고 여성 6.9%로 남성에서 제한성 및 폐쇄성 환기장애 비율이 높았다.

〈표 III-28〉 국민건강영양조사 2017년 폐기능검사 대상자의 일반적 특성

변수	남성(n=1,606)	여성(n=1,992)	전체(n=3,598)
연령 (세)	58.3 ± 11.3	58.3 ± 11.2	58.3 ± 11.3
연령 범위 (세)	40 - 80	40 - 80	40 - 80
연령군, No.(%)			
-29	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
30-39	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
40-49	433 (27.0)	526 (26.4)	959 (26.7)
50-59	467 (29.1)	594 (29.8)	1,061 (29.5)
60-69	390 (24.3)	504 (25.3)	894 (24.8)
70-	316 (19.7)	368 (18.5)	684 (19.0)
신장 (cm)	168.8 ± 6.2	156.1 ± 6.0	161.7 ± 8.8
신장 범위 (cm)	141.0 - 187.8	135.9 - 176.7	135.9 - 187.8
몸무게 (kg)	69.6 ± 10.0	58.6 ± 9.0	63.5 ± 10.9
BMI (kg/m ³)	24.4 ± 2.9	24.1 ± 3.5	24.2 ± 3.3
FVC (L)	3.94 ± 0.75	2.80 ± 0.53	3.31 ± 0.86
FEV ₁ (L)	2.95 ± 0.69	2.20 ± 0.46	2.53 ± 0.68
FEV ₁ /FVC (%)	74.43 ± 8.68	78.64 ± 6.15	76.76 ± 7.67
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	833 (51.9)	1,359 (68.2)	2,192 (60.9)
제한성환기장애	233 (14.5)	192 (9.6)	425 (11.8)
폐쇄성환기장애	328 (20.4)	137 (6.9)	465 (12.9)
판정불능	212 (13.2)	304 (15.3)	516 (14.3)

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

2017년 국민건강영양조사에서 폐기능검사를 시행한 남성 대상자 중 비흡연자는 334명이고 흡연자는 1,265명으로 흡연자의 비율이 79.1%를 차지하였다. 나이는 비흡연자가 58.5세이고 흡연자가 58.3세이었지만 통계적으로 유의하지는 않았다.

이들을 대상으로 폐활량검사 FEV₁의 평균값은 비흡연자 3.02L, 흡연자 2.92L로 통계적으로 유의하였다. FEV₁/FVC(%)의 평균값은 비흡연자에서 76.75%이고 흡연자에서 73.82%로 대상자의 흡연여부에 따라 FEV₁/FVC(%) 값이 유의하게 달라졌다. 폐기능 판정결과도 흡연여부에 따라 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.

〈표 III-29〉 국민건강영양조사 2017년 폐기능검사 남성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성

변수	비흡연(n=334)	흡연(n=1,265)	p-value
연령 (세)	58.5 ± 11.6	58.3 ± 11.2	0.835 [†]
연령 범위 (세)	40 - 80	40 - 80	
연령군, No.(%)			
-29	0 (0.0)	0 (0.0)	0.803 [†]
30-39	0 (0.0)	0 (0.0)	
40-49	89 (26.6)	340 (26.9)	
50-59	100 (29.9)	367 (29.0)	
60-69	75 (22.5)	313 (24.7)	
70-	70 (21.0)	245 (19.4)	
신장 (cm)	168.4 ± 6.5	168.9 ± 6.1	0.196 [†]
신장 범위 (cm)	146.2 - 186.6	141.0 - 187.8	
몸무게 (kg)	69.8 ± 9.7	69.6 ± 10.1	0.731 [†]
BMI (kg/m ³)	24.6 ± 2.8	24.4 ± 2.9	0.207 [†]
FVC (L)	3.93 ± 0.76	3.94 ± 0.75	0.810 [†]
FEV ₁ (L)	3.02 ± 0.66	2.92 ± 0.69	0.020[†]
FEV ₁ /FVC (%)	76.75 ± 6.81	73.82 ± 9.01	< 0.001[†]
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	189 (56.6)	642 (50.8)	0.005[†]
제한성환기장애	49 (14.7)	182 (14.4)	
폐쇄성환기장애	45 (13.5)	281 (22.2)	
판정불능	51 (15.3)	160 (12.6)	

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

[†]t-test; [‡]chi square test

2017년 국민건강영양조사에서 폐기능검사를 시행한 여성대상자 중 비흡연자는 1,851명이고 흡연자는 133명으로 흡연자의 비율이 6.7%를 차지하였다. 나이는 비흡연자가 58.6세이고 흡연자가 53.1세이었으며 흡연여부에 따라 통계적으로 유의하였다. 연령군 비율에서도 두 집단 간 유의한 차이를 보였다. 신체계측값에서 신장 평균의 경우 비흡연자 155.9cm, 흡연자 158.2cm로 통계적으로 유의하였다.

폐활량 검사에서 FVC 평균은 비흡연자 2.78L, 흡연자 3.01L로 흡연자에서 더 높게 나타났으며 흡연여부에 따라 유의하게 달라졌다. FEV₁의 평균값은 비흡연자에서 2.19L, 흡연자에서 2.36L로 흡연자에서 더 높게 나타났고 통계적으로 유의하였다. FEV₁/FVC(%)의 평균값이나 폐기능 판정결과는 통계적으로 유의하지는 않았다.

〈표 III-30〉 국민건강영양조사 2017년 폐기능검사 여성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성

변수	비흡연(n=1,851)	흡연(n=133)	p-value
연령 (세)	58.6 ± 11.2	53.1 ± 10.8	< 0.001 [†]
연령 범위 (세)	40 - 80	40 - 80	
연령군, No.(%)			
-29	0 (0.0)	0 (0.0)	< 0.001 [‡]
30-39	0 (0.0)	0 (0.0)	
40-49	462 (25.0)	64 (48.1)	
50-59	557 (30.1)	34 (25.6)	
60-69	480 (25.9)	23 (17.3)	
70-	352 (19.0)	12 (9.0)	
신장 (cm)	155.9 ± 5.9	158.2 ± 6.3	< 0.001 [†]
신장 범위 (cm)	135.9 - 176.7	138.5 - 173.5	
몸무게 (kg)	58.5 ± 8.8	59.1 ± 10.8	0.523 [†]
BMI (kg/m ³)	24.1 ± 3.5	23.6 ± 4.0	0.190 [†]
FVC (L)	2.78 ± 0.52	3.01 ± 0.58	< 0.001 [†]
FEV ₁ (L)	2.19 ± 0.44	2.36 ± 0.56	0.001 [†]
FEV ₁ /FVC (%)	78.71 ± 5.98	77.83 ± 7.93	0.210 [†]
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	1,267 (68.4)	91 (68.4)	0.263 [‡]
제한성환기장애	179 (9.7)	12 (9.0)	
폐쇄성환기장애	120 (6.5)	14 (10.5)	
판정불능	285 (15.4)	16 (12.0)	

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

[†]t-test; [‡]chi square test

2018년 국민건강영양조사 대상자 중 폐기능검사를 시행한 대상자는 3,762명으로 남성 1,631명이고 여성 2,131명이었다. 평균 나이는 남성 58.7세이고 여성 58.3세이었고 연령군은 남성과 여성 모두 40-80세이었다. 평균 신장은 남성 169.2cm이고 여성 156.4cm이었으며 신장의 범위는 남성 150.1-188.3cm이고 여성 136.8-175.0cm이었다. 이들을 대상으로 폐기능 판정결과 정상으로 판정된 비율은 남성 대상자의 50.5%이고 여성 대상자의 71.8%로 여성에서 정상 비율이 높았다. 제한성 환기장애의 비율은 각각 남성에서 16.9%이고 여성에서 9.3%이었고, 폐쇄성 환기장애 비율은 각각 남성 17.7%이고 여성 5.3%로 남성에서 제한성 및 폐쇄성 환기장애 비율이 높았다.

〈표 III-31〉 국민건강영양조사 2018년 폐기능검사 대상자의 일반적 특성

변수	남성(n=1,631)	여성(n=2,131)	전체(n=3,762)
연령 (세)	58.7 ± 11.3	58.3 ± 11.3	58.5 ± 11.3
연령 범위 (세)	40 - 80	40 - 80	40 - 80
연령군, No.(%)			
-29	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
30-39	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
40-49	418 (25.6)	574 (26.9)	992 (26.4)
50-59	446 (27.3)	621 (29.1)	1,067 (28.4)
60-69	435 (26.7)	513 (24.1)	948 (25.2)
70-	332 (20.4)	423 (19.8)	755 (20.1)
신장 (cm)	169.2 ± 6.1	156.4 ± 6.1	162.0 ± 8.8
신장 범위 (cm)	150.1 - 188.3	136.8 - 175.0	136.8 - 188.3
몸무게 (kg)	70.3 ± 10.1	58.5 ± 8.9	63.6 ± 11.1
BMI (kg/m ³)	24.5 ± 2.9	23.9 ± 3.3	24.2 ± 3.2
FVC (L)	3.89 ± 0.72	2.79 ± 0.53	3.27 ± 0.83
FEV ₁ (L)	2.93 ± 0.67	2.21 ± 0.46	2.52 ± 0.66
FEV ₁ /FVC (%)	74.87 ± 8.32	79.04 ± 5.77	77.23 ± 7.29
폐기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	823 (50.5)	1,529 (71.8)	2,352 (62.5)
제한성환기장애	275 (16.9)	198 (9.3)	473 (12.6)
폐쇄성환기장애	288 (17.7)	112 (5.3)	400 (10.6)
판정불능	245 (15.0)	292 (13.7)	537 (14.3)

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

2018년 국민건강영양조사에서 폐기능검사를 시행한 남성 대상자 중 비흡연자는 298명이고 흡연자는 1,328명으로 흡연자의 비율이 81.7%를 차지하였다. 나이는 비흡연자가 59.2세이고 흡연자가 58.7세이었지만 통계적으로 유의하지는 않았다. 신체계측 값에서 신장 평균의 경우 비흡연자 168.2cm, 흡연자 169.4cm으로 통계적으로 유의하였다.

이들을 대상으로 폐활량검사 FEV₁/FVC(%)의 평균값은 비흡연자에서 76.80%이고 흡연자에서 74.44%로 대상자의 흡연여부에 따라 FEV₁/FVC(%) 값이 유의하게 달라졌다. 폐기능 판정결과에서도 흡연 여부에 따른 유의한 차이가 나타났다.

〈표 III-32〉 국민건강영양조사 2018년 폐기능검사 남성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성

변수	비흡연(n=298)	흡연(n=1,328)	p-value
연령 (세)	59.2 ± 11.7	58.7 ± 11.2	0.474 [†]
연령 범위 (세)	40 - 80	40 - 80	
연령군, No.(%)			
-29	0 (0.0)	0 (0.0)	0.505 [†]
30-39	0 (0.0)	0 (0.0)	
40-49	80 (26.8)	337 (25.4)	
50-59	71 (23.8)	372 (28.0)	
60-69	81 (27.2)	353 (26.6)	
70-	66 (22.1)	266 (20.0)	
신장 (cm)	168.2 ± 6.3	169.4 ± 6.1	0.002[†]
신장 범위 (cm)	150.8 - 188.3	150.1 - 187.8	
몸무게 (kg)	69.4 ± 9.7	70.5 ± 10.2	0.086 [†]
BMI (kg/m ³)	24.5 ± 2.7	24.5 ± 3.0	0.792 [†]
FVC (L)	3.85 ± 0.68	3.90 ± 0.73	0.218 [†]
FEV ₁ (L)	2.97 ± 0.62	2.91 ± 0.68	0.252 [†]
FEV ₁ /FVC (%)	76.80 ± 7.24	74.44 ± 8.50	< 0.001[†]
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	174 (58.4)	645 (48.6)	0.006[†]
제한성환기장애	47 (15.8)	227 (17.1)	
폐쇄성환기장애	35 (11.7)	253 (19.1)	
판정불능	42 (14.1)	203 (15.3)	

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

[†]t-test; [‡]chi square test

2018년 국민건강영양조사에서 폐기능검사를 시행한 여성대상자 중 비흡연자는 1,945명이고 흡연자는 179명으로 흡연자의 비율이 8.4%를 차지하였다. 나이는 비흡연자가 58.7세이고 흡연자가 54.0세이었으며 흡연여부에 따라 통계적으로 유의하였다. 연령군 비율에서도 두 집단 간 유의한 차이를 보였다. 신체계측값에서 신장 평균의 경우 비흡연자 156.4cm, 흡연자 157.3cm로 통계적으로 유의하였다.

폐활량 검사에서 FVC 평균은 비흡연자 2.78L, 흡연자 2.91L로 흡연자에서 더 높게 나타났으며 흡연여부에 따라 유의하게 달라졌다. FEV₁의 평균값은 비흡연자에서 2.20L, 흡연자에서 2.29L로 흡연자에서 더 높게 나타났고 통계적으로 유의하였다. FEV₁/FVC(%)의 평균값이나 폐기능 판정결과는 통계적으로 유의하지 않았다.

〈표 III-33〉 국민건강영양조사 2018년 폐기능검사 여성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성

변수	비흡연(n=1,945)	흡연(n=179)	p-value
연령 (세)	58.7 ± 11.3	54.0 ± 10.6	< 0.001 [†]
연령 범위 (세)	40 - 80	40 - 80	
연령군, No.(%)			
-29	0 (0.0)	0 (0.0)	< 0.001 [‡]
30-39	0 (0.0)	0 (0.0)	
40-49	501 (25.8)	72 (40.2)	
50-59	573 (29.5)	47 (26.3)	
60-69	467 (24.0)	43 (24.0)	
70-	404 (20.8)	17 (9.5)	
신장 (cm)	156.4 ± 6.1	157.3 ± 5.9	0.044 [†]
신장 범위 (cm)	137.0 - 175.0	136.8 - 173.2	
몸무게 (kg)	58.5 ± 8.8	59.2 ± 10.4	0.343 [†]
BMI (kg/m ³)	23.9 ± 3.3	23.9 ± 3.8	0.979 [†]
FVC (L)	2.78 ± 0.52	2.91 ± 0.54	0.001 [†]
FEV ₁ (L)	2.20 ± 0.45	2.29 ± 0.50	0.026 [†]
FEV ₁ /FVC (%)	79.12 ± 5.69	78.28 ± 6.54	0.063 [†]
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	1,401 (72.0)	122 (68.2)	0.084 [‡]
제한성환기장애	177 (9.1)	20 (11.2)	
폐쇄성환기장애	96 (4.9)	16 (8.9)	
판정불능	271 (13.9)	21 (11.7)	

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

[†]t-test; [‡]chi square test

2) 특수건강진단 자료

특수건강진단 자료에는 FVC, FVC(%), FEV₁, FEV₁(%), FEV₁/FVC(%), 폐기능검사 판정결과 변수가 있었다. 호흡기계 판정 관련 변수로는 흉부방사선 판정결과와 호흡기계 판정결과 변수가 있었다. 성별, 생년월일, 키, 몸무게 변수도 있으며, 흡연 관련 변수로는 평생 흡연 여부(5갑 이상), 흡연 년수, 흡연량, 과거 흡연년수, 과거흡연량, 금연년수 변수가 있었다. 호흡기계병력, 심장관련 질환과 근육계질환력 등은 설문 항목으로 조사하고 있었다.

2018년 특수건강진단 대상자 중 폐기능검사를 시행한 대상자는 688,563명으로 남성 624,139명이고 여성 64,424명으로 여성의 비율이 9.4%를 차지하였다. 평균 나이는 남성 43.1세이고 여성 43.0세이었다.

이들을 대상으로 폐기능 판정결과 정상으로 판정된 비율은 남성 대상자의 84.7%이고 여성 대상자의 87.1%로 여성에서 정상 비율이 높았다. 제한성 환기장애의 비율은 각각 남성에서 10.6%이고 여성에서 11.2%이었고, 폐쇄성 환기장애의 비율은 각각 남성 3.9%이고 여성 1.2%이었고, 혼합성 환기장애의 비율은 각각 남성 0.7%이고 여성 0.3%로 남성에서 제한성, 폐쇄성, 혼합성 환기장애 비율이 높았다.

〈표 III-34〉 특수건강진단 2018년 폐기능검사 대상자의 일반적 특성

변수	남성(n=624,139)	여성(n=64,424)	전체(n=688,563)
연령 (세)	43.1 ± 11.3	43.0 ± 12.0	43.1 ± 11.3
연령 범위 (세)	16 - 89	17 - 79	16 - 89
연령군, No.(%)			
-29	83,087 (13.3)	12,446 (19.3)	95,533 (13.9)
30-39	170,942 (27.4)	11,801 (18.3)	182,743 (26.5)
40-49	174,177 (27.9)	16,739 (26.0)	190,916 (27.7)
50-59	152,143 (24.4)	19,842 (30.8)	171,985 (25.0)
60-69	41,608 (6.7)	3,432 (5.3)	45,040 (6.5)
70-	2,182 (0.3)	164 (0.3)	2,346 (0.3)
FVC (L)	4.48 ± 18.21	3.17 ± 12.25	4.36 ± 17.74
FEV ₁ (L)	3.51 ± 1.89	2.57 ± 0.63	3.42 ± 1.83
FEV ₁ /FVC (%)	80.65 ± 214.62	83.54 ± 56.03	80.92 ± 205.05
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	528,688 (84.7)	56,145 (87.1)	584,833 (84.9)
제한성환기장애	66,156 (10.6)	7,207 (11.2)	73,363 (10.7)
폐쇄성환기장애	24,234 (3.9)	759 (1.2)	24,993 (3.6)
혼합성환기장애	4,141 (0.7)	203 (0.3)	4,344 (0.6)
측정불가	920 (0.1)	110 (0.2)	1,030 (0.1)

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

2018년 특수건강진단 대상자 중 폐기능검사를 시행한 남성대상자 중 비흡연자는 163,303명이고 흡연자는 451,531명으로 흡연자의 비율이 73.4%를 차지하였다. 나이는 비흡연자가 41.5세이고 흡연자가 43.6세로 흡연자에서 연령이 높았다.

이들을 대상으로 폐활량검사 FEV₁의 평균값은 비흡연자에서 3.57L이고 흡연자에서 3.48L로 대상자의 흡연여부에 따라 FEV₁ 값이 유의하게 달라졌다. 폐기능 판정결과 정상으로 판정된 비율은 비흡연자의 85.7%이고 흡연자의 84.4%로 비흡연자에서 정상 비율이 높았다. 제한성 환기장애의 비율은 각각 비흡연자에서 27.8%이고 흡연자에서 10.4%이었고, 폐쇄성 환기장애의 비율은 각각 비흡연자에서 2.5%이고 흡연자에서 4.4%이었고, 혼합성 환기장애의 비율은 각각 비흡연자에서 0.5%이고 흡연자에서 0.7%로 흡연자에서 폐쇄성 및 혼합성 환기장애 비율이 높았다.

〈표 III-35〉 특수건강진단 2018년 폐기능검사 남성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성

변수	비흡연(n=163,303)	흡연(n=451,531)	p-value
연령 (세)	41.5 ± 12.5	43.6 ± 10.7	< 0.0001 [†]
연령 범위 (세)	16 - 86	16 - 89	
연령군, No.(%)			
-29	33,152 (20.3)	48,851 (10.8)	< 0.0001 [†]
30-39	47,485 (29.1)	121,486 (26.9)	
40-49	33,513 (20.5)	138,251 (30.6)	
50-59	35,861 (24.1)	113,225 (25.1)	
60-69	12,345 (7.6)	28,522 (6.3)	
70-	947 (0.6)	1,196 (0.3)	
FVC (L)	4.53 ± 22.42	4.47 ± 16.62	0.279 [†]
FEV ₁ (L)	3.57 ± 3.54	3.48 ± 0.63	< 0.0001 [†]
FEV ₁ /FVC (%)	81.44 ± 48.81	80.41 ± 250.61	0.098 [†]
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	139,974 (85.7)	380,895 (84.4)	< 0.0001 [†]
제한성환기장애	18,141 (27.8)	47,093 (10.4)	
폐쇄성환기장애	4,083 (2.5)	19,667 (4.4)	
혼합성환기장애	783 (0.5)	3,281 (0.7)	
측정불가	322 (0.2)	595 (0.1)	

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

[†]t-test; [‡]chi square test

2018년 특수건강진단 대상자 중 폐기능검사를 시행한 여성대상자 중 비흡연자는 58,322명이고 흡연자는 5,332명으로 흡연자의 비율이 8.4%를 차지하였다. 나이는 비흡연자가 43.7세이고 흡연자가 35.0세로 흡연자에서 연령이 유의하게 낮았다.

이들을 대상으로 폐활량 검사 FEV₁의 평균값은 비흡연자에서 2.55L이고 흡연자에서 2.77L로 대상자의 흡연여부에 따라 FEV₁ 값이 유의하게 달라졌다. 흡연자에서 오히려 FEV₁이 높은 이유는 여성 흡연자군의 연령이 유의하게 낮았기 때문인 것으로 해석된다.

폐기능 판정결과 정상으로 판정된 비율은 비흡연자의 87.3%이고 흡연자의 85.7%로 비흡연자에서 정상 비율이 높았다. 제한성 환기장애의 비율은 각각 비흡연자에서 11.1%이고 흡연자에서 9.2%이었고, 폐쇄성 환기장애의 비율은 각각 비흡연자에서 1.1%이고 흡연자에서 1.5%이었고, 혼합성 환기장애의 비율은 각각 비흡연자에서 0.3%이고 흡연자에서 0.3%로 흡연자에서 폐쇄성 환기장애 비율이 높았다.

〈표 III-36〉 특수건강진단 2018년 폐기능검사 여성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성

변수	비흡연(n=58,322)	흡연(n=5,332)	p-value
연령 (세)	43.7 ± 11.9	35.0 ± 10.1	< 0.0001 [†]
연령 범위 (세)	17 - 79	19 - 73	
연령군, No.(%)			
-29	10,442 (17.9)	1,920 (36.0)	< 0.0001 [‡]
30-39	9,945 (17.1)	1,751 (32.8)	
40-49	15,388 (26.4)	1,139 (21.4)	
50-59	19,098 (32.7)	438 (8.2)	
60-69	3,289 (5.6)	83 (1.6)	
70-	160 (0.3)	1 (0.0)	
FVC (L)	3.16 ± 12.87	3.31 ± 1.12	0.406 [†]
FEV ₁ (L)	2.55 ± 0.57	2.77 ± 1.06	< 0.0001 [†]
FEV ₁ /FVC (%)	83.55 ± 58.86	83.64 ± 6.51	0.914 [†]
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	50,898 (87.3)	4,572 (85.7)	0.008 [‡]
제한성환기장애	6,470 (11.1)	655 (9.2)	
폐쇄성환기장애	668 (1.1)	81 (1.5)	
혼합성환기장애	183 (0.3)	17 (0.3)	
측정불가	103 (0.2)	7 (0.1)	

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

[†]t-test; [‡]chi square test

2019년 특수건강진단 대상자 중 폐기능검사를 시행한 대상자는 891,293명으로 남성 804,336명이고 여성 86,957명으로 여성의 비율이 9.8%를 차지하였다. 평균 나이는 남성 43.3세이고 여성 42.3세이었다.

이들을 대상으로 폐기능 판정결과 정상으로 판정된 비율은 남성 대상자의 83.0%이고 여성 대상자의 86.4%로 여성에서 정상 비율이 높았다. 제한성 환기장애의 비율은 각각 남성에서 11.9%이고 여성에서 11.9%이었고, 폐쇄성 환기장애의 비율은 각각 남성 4.1%이고 여성 1.2%이었고, 혼합성 환기장애의 비율은 각각 남성 0.9%이고 여성 0.3%로 남성에서 폐쇄성 및 혼합성 환기장애 비율이 높았다.

〈표 III-37〉 특수건강진단 2019년 폐기능검사 대상자의 일반적 특성

변수	남성(n=804,366)	여성(n=86,957)	전체(n=891,293)
연령 (세)	43.3 ± 11.4	42.3 ± 12.3	43.2 ± 11.5
연령 범위 (세)	16 - 87	17 - 81	16 - 87
연령군, No.(%)			
-29	106,910 (13.3)	18,359 (21.1)	125,269 (14.1)
30-39	215,487 (26.8)	18,440 (21.7)	234,327 (26.3)
40-49	221,853 (27.6)	19,187 (22.1)	241,040 (27.0)
50-59	196,407 (24.4)	24,798 (28.5)	221,205 (24.8)
60-69	60,766 (7.6)	5,579 (6.4)	66,345 (7.4)
70-	2,913 (0.4)	194 (0.2)	3,107 (0.3)
FVC (L)	4.50 ± 17.21	3.23 ± 14.49	4.38 ± 16.96
FEV ₁ (L)	3.52 ± 5.07	2.60 ± 0.45	3.43 ± 4.83
FEV ₁ /FVC (%)	80.47 ± 204.85	83.26 ± 6.78	80.74 ± 194.62
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	667,924 (83.0)	75,098 (86.4)	743,022 (83.4)
제한성환기장애	95,653 (11.9)	10,331 (11.9)	105,984 (11.9)
폐쇄성환기장애	32,638 (4.1)	1,041 (1.2)	33,679 (3.6)
혼합성환기장애	6,891 (0.9)	269 (0.3)	7,160 (0.8)
측정불가	1,230 (0.2)	218 (0.3)	1,448 (0.2)

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

2019년 특수건강진단 대상자 중 폐기능검사를 시행한 남성대상자 중 비흡연자는 230,454명이고 흡연자는 568,909명으로 흡연자의 비율이 71.2%를 차지하였다. 나이는 비흡연자가 41.7세이고 흡연자가 44.0세로 흡연자에서 연령이 높았다.

이들을 대상으로 폐활량검사 FEV₁의 평균값은 비흡연자에서 3.57L이고 흡연자에서 3.50L로 대상자의 흡연여부에 따라 FEV₁ 값이 유의하게 달라졌다. FEV₁/FVC(%)의 평균값도 비흡연자에서 81.80%이고 흡연자에서 79.94%로 흡연자에서 FEV₁/FVC(%)가 낮았다.

폐기능 판정결과 정상으로 판정된 비율은 비흡연자의 84.4%이고 흡연자의 82.4%로 비흡연자에서 정상 비율이 높았다. 제한성 환기장애의 비율은 각각 비흡연자에서 12.2%이고 흡연자에서 11.8%이었고, 폐쇄성 환기장애의 비율은 각각 비흡연자에서 2.7%이고 흡연자에서 4.6%이었고, 혼합성 환기장애의 비율은 각각 비흡연자에서 0.5%이고 흡연자에서 1.0%로 흡연자에서 폐쇄성 및 혼합성 환기장애 비율이 높았다.

〈표 III-38〉 특수건강진단 2019년 폐기능검사 남성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성

변수	비흡연(n=230,454)	흡연(n=568,909)	p-value
연령 (세)	41.7 ± 12.4	44.0 ± 10.9	< 0.0001 [†]
연령 범위 (세)	16 - 87	16 - 87	
연령군, No.(%)			
-29	44,045 (19.1)	62,636 (11.0)	< 0.0001 [†]
30-39	68,305 (29.6)	145,710 (25.6)	
40-49	47,989 (20.8)	171,517 (30.1)	
50-59	49,783 (21.6)	145,825 (25.6)	
60-69	19,033 (8.3)	41,608 (7.3)	
70-	1,299 (0.6)	1,613 (0.3)	
FVC (L)	4.54 ± 20.31	4.49 ± 15.86	0.201 [†]
FEV ₁ (L)	3.57 ± 3.00	3.50 ± 5.72	< 0.0001 [†]
FEV ₁ /FVC (%)	81.80 ± 233.88	79.94 ± 192.80	< 0.0001 [†]
폐기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	194,436 (84.4)	468,930 (82.4)	< 0.0001 [†]
제한성환기장애	28,126 (12.2)	67,353 (11.8)	
폐쇄성환기장애	6,139 (2.7)	26,279 (4.6)	
혼합성환기장애	1,240 (0.5)	5,632 (1.0)	
측정불가	513 (0.2)	715 (0.1)	

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

[†]t-test; [‡]chi square test

2019년 특수건강진단 대상자 중 폐기능검사를 시행한 여성대상자 중 비흡연자는 73,361명이고 흡연자는 13,435명으로 흡연자의 비율이 15.5%를 차지하였다. 나이는 비흡연자가 44.0세이고 흡연자가 33.2세로 흡연자에서 연령이 유의하게 낮았다.

이들을 대상으로 폐활량 검사 FEV₁의 평균값은 비흡연자에서 2.55L이고 흡연자에서 2.81L로 대상자의 흡연여부에 따라 FEV₁ 값이 유의하게 달라졌다. 흡연자에서 오히려 FEV₁이 높은 이유는 여성 흡연자군의 연령이 유의하게 낮았기 때문인 것으로 해석된다.

폐기능 판정결과 정상으로 판정된 비율은 비흡연자의 86.0%이고 흡연자의 88.6%로 비흡연자에서 정상 비율이 높았다. 제한성 환기장애의 비율은 각각 비흡연자에서 12.3%이고 흡연자에서 9.5%이었고, 폐쇄성 환기장애의 비율은 각각 비흡연자에서 1.2%이고 흡연자에서 1.2%이었고, 혼합성 환기장애의 비율은 각각 비흡연자에서 0.3%이고 흡연자에서 0.2%이었다.

〈표 III-39〉 특수건강진단 2019년 폐기능검사 여성 대상자의 흡연 여부에 따른 일반적 특성

변수	비흡연(n=73,361)	흡연(n=13,435)	p-value
연령 (세)	44.0 ± 12.16	33.2 ± 8.63	< 0.0001 [†]
연령 범위 (세)	17 - 81	18 - 71	
연령군, No.(%)			
-29	13,011 (17.7)	5,316 (39.6)	< 0.0001 [‡]
30-39	13,372 (18.2)	5,413 (40.3)	
40-49	17,223 (23.5)	1,932 (14.4)	
50-59	24,123 (32.9)	639 (4.8)	
60-69	5,440 (7.4)	133 (1.0)	
70-	192 (0.3)	2 (0.0)	
FVC (L)	3.22 ± 15.77	3.33 ± 0.46	0.387 [†]
FEV ₁ (L)	2.55 ± 0.44	2.81 ± 0.41	< 0.0001 [†]
FEV ₁ /FVC (%)	83.04 ± 6.86	84.47 ± 6.22	< 0.0001 [†]
폐 기능 판정 결과, No.(%)			
폐기능정상	63,054 (86.0)	11,901 (88.6)	< 0.0001 [‡]
제한성환기장애	9,044 (12.3)	1,271 (9.5)	
폐쇄성환기장애	881 (1.2)	159 (1.2)	
혼합성환기장애	242 (0.3)	26 (0.2)	
측정불가	140 (0.2)	78 (0.6)	

BMI, body mass index; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced expiratory volume in one second

[†]t-test; [‡]chi square test

코로나-19가 처음 국내에 발생한 2020년부터 특수건강진단 폐활량검사는 일시적으로 기관 선택 사항으로 완화되었다. 이에 먼저 1월부터 12월까지 전 기간동안 폐활량검사가 완화된 2021년의 자료를 분석하였다.

2021년에 특수건강진단 폐활량검사 대상자 중 25.5%에서 폐활량검사를 수행하지 않았다. 폐활량검사 시행자는 남성 412,930명이었고 여성 39,640명으로 남성이 91.2%이었다(data not shown). 폐활량검사에서 정상 판정은 364,642명(80.6%), 제한성 환기장애 62,103명(13.7%), 폐쇄성 환기장애 17,821명(3.9%), 혼합성 환기장애 4,631명(1.0%), 측정불가 3,373명(0.7%)이었다.

코로나-19가 처음 국내에 발생한 2020년부터 특수건강진단 폐활량검사는 일시적으로 기관 선택 사항으로 완화되었고, 이에 2020년 특수건강진단 폐활량검사 대상자 중 17.5%에서 폐활량검사를 수행하지 않았다. 2022년에는 특수건강진단 폐활량검사 대상자 중 15.2%에서 폐활량검사를 수행하지 않았다. 2020년 이후 특수건강진단 폐활량검사자료는 폐활량검사를 수검하지 않은 비율이 높아 LLN 등 분석에 적합하지 않은 것으로 판단하였다.

한편 특수건강진단에서 판정에 대한 분석결과는 해석에 주의할 필요가 있다. 각 특수건강진단기관별로 사용하는 예측식이 다를 수 있는데, 이 예측식 현황은 수집하고 있지 않다. 현재 예측식 대비 관측치의 %에 따라 판정이 이루어지고 있기 때문에 이에 대한 고려가 필요하다.

종합하면 국민건강영양조사 자료와 특수건강진단 자료는 구성에서 매우 많은 차이점이 있었다. 먼저, 국민건강영양조사 자료는 남성의 자료가 매우 적고, 특수건강진단 자료는 여성의 자료가 매우 적어 성별 불균형이 존재하였다. 19세 이상에서 폐활량검사를 시행했던 2007년 - 2009년 국민건강영양조사 자료와 2018-2019년 특수건강진단 자료의 특성을 비교해 보면 국민건강영양조사 대상자의 평균 나이는 약 49세이고 특수건강진단에서는 약 43세로 국민건강영양조사 대상자의 평균 연령이 더 높았다.

연령군을 보면 2007-2009년 국민건강영양조사 자료는 20대와 70대의 비중이 조금 적기는 하지만 대체적으로 고른 연령대 분포를 보였다. 이는 국민건강영양조사의 대상자 수집 방법이 전 국민을 대표할 수 있도록 표본추출하였기 때문이다. 이에 반해 특수건강진단 자료는 30대부터 50대까지 연령군이 주를 이루고 60대와 70대 이상의 연령군은 거의 없는 분포를 보였다. 특수건강진단 수검자는 현직 근로자를 대상으로 하였기 때문에 생산가능인구가 좀 더 많이 포함된 것으로 보인다.

FVC, FEV₁, FEV₁/FVC(%) 모두 특수건강진단 대상자가 국민건강영양조사 대상자보다 높았다. 또한 폐활량검사에서 정상으로 판정된 비율도 특수건강진단 대상자가 국민건강영양조사 대상자보다 높았다. 국민건강영양조사 내에서는 19-39세가 포함되어 있던 2007-2009년 자료보다 40세 이상을 조사한 2016-2018년 자료에서 제한성환기장애와 폐쇄성환기장애의 비율이 높았다.

각 자료원의 연도별 특성을 고려하면 먼저, 검진기관에서 가장 많이 활용되고 있는 최정근식에서 사용되었던 2001년 국민건강영양조사 자료에는 폐활량검사 관련 자료가 원시자료로 제공되지 않고 있었다. 2007-2009년 국민건강영양조사 자료는 19세부터 자료가 제공되고 있었으며 비교적 출생코호트 영향에서 자유로운 장점이 있는 반면, 남성 대상자가 매우 적고 특히 고령 인구집단에서 과대진단 젊은 집단에서 과소진단의 위험이 있었다. 다른 년도의 국민건강영양조사 자료는 폐활량검사 대상이 40세 이상이어 젊은 층의 자료가 없다는 제한점이 있었다. 하지만 국민건강영양조사 자료의 가장 큰 장점은 전 국민에 대한 대표성이 있는 자료원이라는 점이다.

특수건강진단 자료는 먼저, 기존에 명준표 등(2016)의 LMS 방법을 사용하여 LLN을 계산한 2013-2014년도 특수건강진단 자료를 활용할 수 있을 것이다. 하지만 특수건강진단 자료는 근로자를 대상으로 하였기 때문에 대표성의 문제와 건강근로자 효과가 있다. 또한 2020년 이후 코로나-19 확산 시기에는 폐활량 검사를 수검하지 않은 비율이 높아 자료원으로 활용하는데 제한점이 있었다.

그렇기 때문에 LLN 도입을 위해 사용할 자료원과 년도에 대해서는 각각의 장단점을 고려하여 관계자 및 전문가와 충분한 논의를 거쳐 선정해야 한다. 한편, 본 연구에서는 2007-2009년 국민건강영양조사 자료와 2013-2014년 특수건강진단 자료가 현실적으로 적용 가능성이 있다고 판단하였다. 본 연구에서 탐색한 2018년-2019년 특수건강진단 자료는 대안적으로 가능하다고 판단하였다.

6. 전문가 및 관계자 회의

1) 1차 회의

- (1) 일시: 2023년 2월 20일 월요일 10:00-12:00
- (2) 장소: 신촌세브란스병원 중입자치료센터 705호
- (3) 참석자: 신촌세브란스병원 김영삼 교수, 산업안전보건연구원 이지혜, 원용림, 이화연
- (4) 회의 내용

가) 참고치 산출을 위한 정상 집단에 대한 고려사항

- 호흡기질환이 없어야 함: 설문 항목에서 고려할 수 있다.
- 비흡연자: 특히 최정근식에서 ever smoker를 모두 빼는 결정을 했었고 당시에 흡연자도 참고치 계산에 포함해야 한다는 주장이 있었다.
- X-ray에서 정상 여부: 이에 대한 raw data에 대한 접근성은 현재 없는 것으로 사료된다. 최정근식은 x-ray에서 정상인 집단으로 한정해서 예측식이 높게 나오지 않았나 분석되고 있다. 반면에 Knudson 식에서는 너무 낮게 나오는 경향이 있다.

- 연령 40세 이전 값에 대한 반영: 국민건강영양조사에서는 일부 조사년도를 제외하고 40세 이상의 연령대부터 폐기능검사를 수행하였다는 한계점이 있다.

나) 자료원

- 국민건강영양조사와 특수건강진단 DB를 사용할 수 있으며 특수건강진단 자료는 40세 이전 연령대에 대한 자료가 많아 도움이 될 수 있지만 대표성의 문제가 있음을 지적하였다.

다) 기타 논의사항

- FEF25-75%와 DLCO 항목은 사용할 필요가 없다고 생각된다.

2) 2차 회의

(1) 일시: 2023년 4월 20일 목요일 14:00-16:00

(2) 장소: 산업안전보건연구원 보건동 403호

(3) 참석자: 산업안전보건연구원 이지혜, 원용림, 이화연, 김용진

(4) 회의 내용

- 고찰할 문헌 선정, Hankinson et al(1999), 최정근 등(2005) 방법론 고찰, 정상치 아래한계치 계산식(90% CI($1.645 \times \text{SEE}$)) 고찰

3) 3차 회의

(1) 일시: 2023년 6월 1일 목요일 14:00-15:00

(2) 장소: 산업안전보건연구원 보건동 403호

(3) 참석자: 산업안전보건연구원 이지혜, 원용림, 이화연, 김용진

(4) 회의 내용

- GLI 동북아시안식 방법론 고찰, NIOSH 및 ERS 홈페이지 내용 분석

4) 4차 회의

(1) 일시: 2023년 7월 3일 월요일 14:00-16:00

(2) 장소: 산업안전보건연구원 보건동 403호

(3) 참석자: 산업안전보건연구원 이지혜, 원용림, 이화연, 김용진

(4) 회의 내용

- 최정근식에서 사용한 설문 문항 등 세부 방법론 고찰, 명준표 등(2016) 보고서 방법론 고찰, Jo et al(2018) 방법론 고찰, 특수건강진단 DB 추출 변수 선정

IV. 고찰 및 결론



IV. 고찰 및 결론

1. 폐활량검사의 LLN 도입 제언

현재 대부분의 특수건강진단기관에서 사용하는 폐활량검사의 해석 기준은 일초율과 FVC의 예측치 대비 %를 확인하는 고정 기준을 적용하고 있다. 하지만 FEV₁/FVC 비율은 연령에 따라 감소하므로 고정기준을 사용하면 젊은 근로자에서 위음성 결과가, 나이가 많은 근로자에서는 위양성 결과가 발생하게 된다. 이에 정상에 아래하한치 도입 필요성이 제기되었다. ATS/ERS에서는 고정 기준 대신에 비정상으로부터 정상을 구분할 수 있도록 정상에 아래한계치(lower limit of normal, LLN)를 사용할 것을 권고하고 있다. KOSHA-GUIDE(H-129-2021, 폐활량검사 및 판정에 관한 지침)에도 LLN을 적용할 수 있도록 제시하고 있다.

외국에서 이러한 LLN을 활용하고 있는지 조사하였다. 미국산업안전보건 연구원에서는 성별, 인종(백인, 아프리카계미국인, 멕시코계 미국인), 연령, 신장, 관측된 FVC값과 FEV₁값을 입력하면 각 예측값과 함께 LLN이 자동으로 계산되어 제공되고 있었다. 이는 Hankinson 등(1999)의 미국국민건강영양조사 3기 자료를 기반으로 다중회귀분석 방법을 사용한 결과이다. 유럽호흡기학회에서는 백인, 아프리카계미국인, 동북아시아인, 동남아시아인 및 기타로 인종을 구분하여 LMS 식을 이용한 LLN 계산 프로그램을 운영하고 있었다. 동북아시아인에는 한국과 중국의 일부 지역이 포함되었고 한국 데이터는 최정근 등(2005)에서 사용한 한국국민건강영양조사 자료를 사용하였다. 일본에서도 일본호흡기학회 홈페이지에 제공되고 있는 엑셀 함수를 이용하여 LLN을 계산할 수 있었다.

LLN은 고정기준과 달리 연령 등에 따라 달라지는 값이며 매우 객관적인 방법으로 특히 젊은 피험자에서 폐기능 이상을 민감하게 발견할 수 있을 것으로 기대된다. 이에 우리나라에서도 LLN 도입은 매우 필요한 상황이다. 다만 판정시

에는 폐활량 값을 직관적으로 보는 것이 능률적이므로 외국처럼 LLN을 자동으로 계산해 주는 프로그램 개발이 필요하다.

한국에서 LLN을 도입하기 위해 사용할 수 있는 자료원은 기존에 한국인을 대상으로 예측식 개발에 사용되었던 자료원인 국민건강영양조사 자료와 명준표 등(2016)이 시범적으로 사용했던 특수건강진단자료를 활용할 수 있을 것이다. 이에 특정 년도의 국민건강영양조사와 특수건강진단자료를 적용했을 때의 장단점을 분석하였다.

현재 한국 특수건강진단기관에서 가장 많이 사용하고 있는 최정근 식은 2001년 국민건강영양조사 대상자에게 폐기능검사를 추가로 수행하여 개발된 예측식이다. 일반적으로 예측식을 개발할 때 흡연자는 제외하고 있으므로 최정근 식을 포함하여 국민건강영양조사 자료를 사용한 연구들은 남성 대상자 수가 매우 적어 해석에 주의할 필요가 있다. 또한 최정근식은 예측식에 연령과 신장 외에 체중 변수가 포함되어 있어 다른 식에 비해 예측치를 약 10% 높게 추정하고 있으며 출생코호트 영향이 발생한다. 한국 최정근식 자료를 이용하여 만든 GLI 식은 중국 일부 지역이 포함되어 한국 인구 고유의 대표성을 반영했다고 보기 어렵다.

한편 타년도 국민건강영양조사에서는 40세 이상에서 폐기능검사를 수행하였는데, 2007-2009년 국민건강영양조사 제 4기에서는 19세 이상에서도 폐기능검사를 수행하여 자료원으로 가장 활용가능성이 높다고 사료된다. Eom & Kim(2013)과 Jo et al(2018)에서 각각 회귀분석과 LMS 방법을 사용하여 예측식을 개발하였는데 역시 남성의 대상자가 적었고 고령 인구에서도 해석에 주의가 필요하였다. 또한 Eom & Kim(2013)과 Jo et al(2018)이 개발한 예측식은 현재 특수건강진단기관에서 활용도가 낮다. 하지만 국민건강영양조사 자료의 가장 큰 장점은 전 국민에 대한 대표성이 있는 자료원이라는 점이다.

특수건강진단 자료는 먼저, 기존에 명준표 등(2016)의 LMS 방법을 사용하여 LLN을 계산한 2013-2014년도 특수건강진단 자료를 활용할 수 있을 것이다. 특수건강진단 자료는 40세 이전 근로자 자료가 많다는 장점이 있지만 국민건강

영양조사 자료와 반대로 여성 근로자의 비율이 낮다. 또한 특수건강진단 자료는 근로자를 대상으로 하였기 때문에 대표성의 문제가 있으며 건강근로자 효과로 일반 인구집단에 비해 LLN이 상대적으로 높을 것으로 추정된다. 이상을 종합하여 본 연구에서는 2007-2009년 국민건강영양조사 자료와 2013-2014년 특수건강진단 자료가 현실적으로 적용 가능성이 있다고 판단하였다. 본 연구에서 탐색한 2018년-2019년 특수건강진단 자료는 대안적으로 가능하다고 판단하였다.

실제 자료 분석 결과에서도 위에 기술한 장단점이 확인되었다. 국민건강영양조사 자료는 남성의 자료가 매우 적고, 특수건강진단 자료는 여성의 자료가 매우 적어 성별 불균형이 존재하였다. 19세 이상에서 폐활량검사를 시행했던 2007년-2009년 국민건강영양조사 자료와 2018-2019년 특수건강진단 자료의 특성을 비교해 보면 국민건강영양조사 대상자의 평균 나이는 약 49세이고 특수건강진단에서는 약 43세로 국민건강영양조사 대상자의 평균 연령이 더 높았다.

연령군을 보면 국민건강영양조사 자료는 20대와 70대의 비중이 조금 적기는 하지만 대체적으로 고른 연령대 분포를 보였다. 이에 반해 특수건강진단 자료는 30대부터 50대까지 연령군이 주를 이루고 60대와 70대 이상의 연령군은 거의 없는 분포를 보였다.

FVC, FEV₁, FEV₁/FVC(%) 모두 특수건강진단 대상자가 국민건강영양조사 대상자보다 높았다. 또한 폐활량검사에서 정상으로 판정된 비율도 특수건강진단 대상자가 국민건강영양조사 대상자보다 높았다. 국민건강영양조사 내에서도 40세 미만 대상자의 포함 여부에 따라 제한성 환기장애와 폐쇄성 환기장애의 비율이 달랐다.

그렇기 때문에 LLN 도입을 위해 사용할 자료원과 년도에 대해서는 각각의 장단점을 고려하여 관계자 및 전문가와 충분한 논의를 거쳐 선정해야 한다. 또한 LLN을 도입하게 되면 젊은 층에서 폐기능 이상을 민감하게 발견할 수 있을 것으로 추정되므로 이에 대한 고려를 포함한 전문가 합의가 필요하다.

본 연구의 제한점으로 분석한 특수건강진단 데이터에 예측식이 포함되어 있지 않았다. 현재 각 특수건강진단기관별로 사용하는 예측식이 다른데, 이 예측식 현황은 수집하고 있지 않고 있다. 이정오 & 최병순(2010)은 건강진단 수진자에서 폐활량측정 예측식을 바꾸어 사용하면 심폐기능 장애도 판정 평가에 유의한 영향을 미칠 수 있어, 장애도 판정을 할 때 유념해야 한다고 제안하였다. 이에 특수건강진단 폐활량검사에서 예측식을 단일화하거나 보정계수를 적용하여 자료를 표준화 할 방안을 마련할 필요가 있다.

2. 폐활량검사 추가 연구 제안

그 밖에 폐활량검사와 관련하여 추가 연구를 제안한다. 첫째, 여러 가지 예측식을 GLI 2012식과 같은 단일한 식으로 적용했을 때 판정에 미치는 영향을 데이터를 통하여 비교할 필요가 있다. 둘째, 현재 전년도와 금년도에 다른 특수건강진단기관에서 폐활량검사를 수검했을 경우에는 자료가 연계되어 있지 않아 이전년도와의 비교를 할 수 가 없다. 하지만 폐기능의 연간 감소율과 같은 이전 년도와의 비교 결과는 특히 처음에 정상 소견을 보였던 군에서 질병의 조기 진단에 매우 도움이 되는 것으로 알려져 있어 전년도와의 비교를 폐활량검사 판정에 확대 적용할 실제적인 방안에 대한 추가 연구가 필요하다.

참고문헌

- American Thoracic Society (ATS). ATS statement-snowbird workshop on standardization of spirometry. *Am Rev Respir Dis.* 1979;119(5):831-838
- American Thoracic Society (ATS). Lung function testing: Selection of reference values and interpretative strategies. *Amer Rev Resp Dis.* 1991;144(5):1202-1218
- American Throacic Society-European Respiratory Society: standardisation of lung function testing: the authors' replies to readers' comments. *Eur Respir J.* 2010;36:1496-1498
- Baughman P, Marott JL, Lange P et al., Health outcomes associate with lung function decline and respiratory symptoms and disease in a community cohort. *COPD.* 2011;8:103-113
- Beeckman LA, Wang ML, Petson EL et al., Rapid declines in FEV₁ and subsequent respiratory symptoms, illness, and mortality in coal miners in the United States. *Am J Repir Crit Care Med.* 2001;163:633-639
- Bottai M, Pistelli F, Di Pede F et al., Longitudinal changes of body mass index, spirometry and diffusion in a general population. *Eur Respir J.* 2002;20:665-673
- Brandi O, Schindler C, Kunzli N et al. Lung function in healthy never smoking adults: reference values and lower limits of normal of a Swiss population. *Thorax.* 1996;51:277-283

- Burrows B, Lebowitz MD, Camili AE et al., Longitudinal changes in forced expiratory volume in one second in adults: methodologic considerations and findings in health nonsmokers. *Am Rev Respir Dis.* 1986;133:974-980
- Cole TJ. Using the LMS method to measure skewness in the NCHS and Dutch National height standards. *Ann Hum Biol.* 1989;16(5):407-419
- Crapo RO, Morris AH, Gardner RM. Reference spirometric values using techniques and equipment that meet ATS recommendations. *Am Rev Respir Dis.* 1981. 123:659-664
- Eom SY, Kim H. Reference values for the pulmonary function of Korean adults using the data of Korea National Health and Nutrition Examination Survey IV (2007-2009). *J Korean Med Sci.* 2013;28(3):424-430
- Eom SY, Moon SI, Yim DH et al. Goodness-of-fits of the spirometric reference values for Koreans and USA caucasians to spirometry data from residents of a region within Chungbuk province. *Tuberc Respir Dis.* 2012;72(3):302-309
- Glindmeyer HW, Jefante JJ, McColloster C et al. Blue-collar normative spirometric values for Caucasian and African-American men and women aged 18 to 65. *Am J Respir Crit Care Med.* 1995;151:412-422
- Graham BL, Stseen Bruggen I, Miller MR et al., Standardization of spirometry 2019 update. An official American Thoracic Society and European Respiratory Society technical statement. *Am J*

Respir Crit Care Med. 2019;200(8):e70-e88

Hankinson JL & Bang KM. Acceptability and repeatability criteria of the American Thoracic Society as observed in a sample of the general population. *Am Rev Respir Dis.* 1991;143:516-521

Hankinson JL, Wagner GR. Medical screening using periodic spirometry for detection of chronic lung disease. *Occup Med.* 1993;8:353-361

Hankinson JL, Odencrantz JR, Fedan KB. Spirometry reference values from a sample of the general U.S. population. *Am J Respir Crit Care Med.* 1999;159:179-187

Haynes JM, Kaminsky DA. The American Thoracic Society/European Respiratory Society acceptability criteria for spirometry: asking too much or not enough? *Respir Care.* 2015;60:e113-e114

Hinzo E. The value of periodic spirometry for early recognition of long-term excessive lung function decline in individuals. *J Occup Environ Med.* 2012;54:1506-1512

Hinzo E, Glindmeyer HW, Peterson EL. Workplace spirometry monitoring for respiratory disease prevention: a methods review. *Int J Tuberc Lung Dis.* 2010;14:796-805

Jo BS, Myong JP, Rhee CK et al. Reference value for spirometry derived using lambda, mu, sigma (LMS) method in Korean adults: in comparison with previous references. *J Korean Med Sci.* 2018;33(3):e16

- Keifer EM, Hankinson JL, Barr RG. Similar relation of age and height to lung function among whites, African Americans, and Hispanics. *Am J Epidemiol*. 2011;173:376-387
- Knudson RJ, Lebowitz MD, Holberg J. Changes in the normal maximal expiratory flow-volume curve with growth and aging. *Am Rev Respir Dis*. 1983;127:725-734
- Kohansal R, Martinex-Cambolor P et al., The natural history of chronic airflow obstruction revisited: an analysis of the Framingham offspring cohort. *Am J Respir Crit Care Med*. 2009;180:3-10
- Kristensen K, Olesen PH, Roerback AK et al. Using random forest machine learning on data from a large, representative cohort of the general population improves clinical spirometry references. *Clin Respir J*. 2023;17(8):819-828
- Kubota M, Kobayashi H, Quanjer PH et al., Reference values for spirometry, including vital capacity, in Japanese adults calculated with the LMS method and compared with previous values. *Respir Investig*. 2014;52(4):242-250
- Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977;33(1):159-174
- Lee PN, Fry JS. Systematic review of the evidence relating FEV₁ decline to giving up smoking. *BMC Med*. 2010;8:84
- McKay RT, LeMasters GK, Hilbert TJ et al., A long term study of pulmonary function among US refractory ceramic fibre workers. *Occup Environ Med*. 2011;68:89-95

- Mikulski MA, Gerke AK, Lourens S et al. Agreement between fixed-ratio and lower limit of normal spirometry interpretation protocols decrease with age: is there a need for a new GOLD standard? *J Occup Environ Med.* 2013;55(7):802-808
- Miller MR, Hankinson J, Brusasco V et al. ATS/ERA Task Force. Standardisation of spirometry. *European Resp Jr.* 2005;26(2):319-338
- Miller MR, Hankinson J, Brusasco V et al. Standardisation of lung function testing: the authors' replies to readers' comments. *European Resp Jr.* 2010;36(6):1496-1498
- Morris JF, Koski A, Johnson LC. Spirometric standards for health nonsmoking adults. *Am Rev Respir Dis.* 1971;103:57-67
- NIOSH spirometry monitoring technology web page. Spirometry longitudinal data analysis(SPIROLA) software. Available at: www.cdc.gov/niosh/topics/spirometry/spirola.html. Assessed February 22, 2020
- NIOSH reference value calculator. Available at: <https://cdc.gov/niosh/topics/spirometry/refcalculator.html>. Assessed June 28, 2023
- Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V et al., Interpretative strategies for lung function tests. *Eur Respir J.* 2005;26:948-968
- Quadrelli S, Roncoroni A, Montiel G. Assessment of respiratory function: influence of spirometry reference values and normality criteria selection: *Respiratory Medicine.* 1999;93(8):523-535

- Quanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ et al., ERS global lung function initiative. Multi-ethnic reference values for spirometry for 3-95-yr age range: the global lung function equations. *European Resp Jr.* 2012;40(6):1324-1343
- Redlich CA, Tarlo SM, Hankinson JL et al: American thoracic society committee on spirometry in the occupational setting. Official American thoracic society technical standards: spirometry in the occupational setting. *Am J Respir Crit Care Med.* 2014;189(8):983-993
- Roberts SD, Farber MO, Knox KS et al., FEV₁/FVC ratio of 70% misclassifies patients with obstruction at the extremes of age. *Chest.* 2006;130:200-206
- Ryan G, Knuiman MW, Divitini ML et al., Decline in lung function and mortality: the Busselton Health Study. *J Epidemiol Community Health.* 1999;53:230-234
- Sharp DS, Enright PL, Chiu D et al., Reference values for pulmonary function tests of Japanese-American men aged 71 to 90 years. *Am J Respir Crit Care Med.* 1996;153:805-811
- Sherril DL, Enright P, Cline M et al., Rates of decline in lung function among subjects who restart cigarette smoking. *Chest.* 1996;109:1001-1005
- Sircar K, Hnizdo E, Petsonk EL et al., Decline in lung function and mortality: implications for medical monitoring. *Occup Environ Med.* 2007;64:461-466
- Thyagarajan B, Jacobs DR Jr, Apostol GG et al., Longitudinal

- association of body mass index with lung function: the CARDIA study. *Respir Res.* 2008;9:31
- Townsend MC. Occupational and Environmental Lung Disorders Committee. Spirometry in the occupational health setting-2011 update. *J Occup Environ Med.* 2011;53:569-584
- Townsend MC. Spirometry in the occupational health-2020. *J Occup Environ Med.* 2020;62(5):e208-e230
- van Dijk WD, Gupta N, Tan WC et al. Clinical relevance of diagnosing COPD by fixed ratio or lower limit of normal: a systematic review. *COPD.* 2014;11(1):113-120
- Vestbo J, Hurd SS, Agusti AG et al., Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: GOLD executive summary. *Am J Respir Crit Care Med.* 2013;187(4):347-365
- Wang ML, Avashia BH, Petsonk EL. Interpreting longitudinal spirometry: weight gain and other factors affecting the recognition of excessive FEV₁ decline. *Am J Ind Med.* 2009;52:782-789(a)
- Wang ML, Avashia BH, Wood J et al. Excessive longitudinal FEV₁ decline and risks to future health: a case-control study. *Am J Ind Med.* 2009;52:909-915(b)
- Wang ML, McCabe L, Hankinson JL et al., Longitudinal and cross-sectional analysis of lung function in steelworkers. *Am J Respir Crit Care Med.* 1996;153:1907-1913

- Wang ML, McCabe L, Petsonk EL et al., Weight gain and longitudinal changes in lung function in steel workers. *Chest*. 1997;111:1526-1532
- Xiong H, Huang Q, Shuai T et al. Assessment of comorbidities and prognosis in patient with COPD diagnosed with the fixed ratio and the lower limit of normal: a systematic review and meta-analysis. *Respir Res*. 2020;21(1):189
- Xu X, Laird N, Dockery DW et al. Age, period, and cohort effects on pulmonary function in a 24-year longitudinal study. *Am J Epidemiol*. 1995;141:554-566
- 고용노동부. 2020년 근로자건강진단 실시결과. 세종, 고용노동부, 2020.12.
- 김수근 & 오상용. 특수건강진단 확대에 따른 새로운 유해인자 건강진단 방법. 산업안전보건연구원. 2001
- 김양호, 박정선, 김규상. 특수건강진단제도개선연구 최종결과보고서. - 유해인자별 건강진단방법 세부지침 개발을 중심으로(연구원 99-50-120). 산업안전보건연구원. 1999
- 명준표, 구정완, 김형렬 등. 근로자 건강진단 시 폐기능 검사의 적정성 평가 및 판정기준 개발(2016-연구원-767). 울산. 산업안전보건연구원. 2016: 102-111
- 산업안전보건법(법률 제 17326호, 2020.5.26., 타법개정). [http://law.go.kr/법령/산업안전보건법/\(20200526,17326,20200526\)/제130조](http://law.go.kr/법령/산업안전보건법/(20200526,17326,20200526)/제130조)
- 행정규칙. 특수건강진단기관의 정도관라에 관한 고시[시행 2020.1.16., 고용노동부고시 제 2020-61호, 2020.1.15., 일부개정]. <https://law.go.kr/LSW/admRulLsInfoP.do?admRulSez=2100000186108>

산업안전보건연구원. 근로자건강진단 실무지침. 2022

원용림. 한국인 노동자 특수건강진단 폐활량검사의 판정기준. 인제대학교 대학원. 2020

원용림, 김은아, 박종선 등. 특수건강진단 폐활량검사 판정 실태조사 및 표준화 방안. 산업안전보건연구원, 2019

원용림, 김은아, 이화연. 특수 및 진폐건강진단 폐기능검사 지침 개발. 산업안전보건연구원, 2020

이정오, 최병순. 폐기능 예측식에 따른 폐환기능 장애도 변화. 결핵 및 호흡기 질환. 2010;69:108-114

이화연, 원용림, 류향우. 외국인 근로자 대상 폐활량 검사의 결과해석을 위한 예측식. 산업안전보건연구원, 2021

정진은. 국민건강영양조사 자료의 복합표본설계효과와 통계적 추론. 한국영양학회지. 2012;45(6):600-612

최정근, 백도명, 이정오. 한국인의 정상 폐활량 예측치. 결핵 및 호흡기 질환. 2005;58(3):230-242

한국산업안전보건공단. 폐활량검사 및 판정에 관한 지침(KOSHA-GUIDE H-129-2021). <http://kosha.or.kr/kosha/data/guidanceDetail.do>

Abstract

Exploration of the possibility of applying the lower limit of normal (LLN) in spirometry

Objectives: Most of the Workers' Specific Health Examination institutions in Korea use fixed criteria for FEV₁/FVC(%) and FVC% in their assessments. Using such fixed criteria can lead to false-negative results in younger workers and false-positive results in older workers. Therefore, ATS/ERS recommends using LLN instead of fixed criteria.

Methods: First, an analysis was conducted on how LLN is being utilized in foreign countries. Second, an assessment was made on whether the introduction of LLN is necessary in South Korea. Third, an analysis was carried out on the data sources available for the introduction of LLN in South Korea.

Results: The United States, Europe and Japan were operating programs on their websites that calculate LLN. LLN is a highly objective method, and its introduction in South Korea is indeed very necessary. As data sources, there are the National Health and Nutrition Examination Survey data and Workers' Specific Health Examination data. NHNAES data is representative of the Korean population but has a very small sample size for males when excluding smokers. On the

contrary, Workers' Specific Health Examination data has very few female participants, and it raises concerns about representativeness and the health worker effect.

Conclusions: Introduction of LLN requires thorough discussions among relevant stakeholders and experts, taking into consideration the advantages and disadvantages of the data sources and years to be used.

key words: Spirometry, lower limit of normal, Korea National Health & Nutrition Examination Survey, Workers' Specific Health Examination,

연구진

연구기관 : 산업안전보건연구원

연구책임자 : 이지혜 (부장, 직업건강연구실 역학조사부)

연구원 : 원용림 (연구위원, 직업건강연구실)

연구원 : 이화연 (과장, 직업건강연구실)

연구원 : 김용진 (전공의, 직업건강연구실 역학조사부)

연구기간

2023. 01. 07. ~ 2023. 11. 30.

본 연구보고서의 내용은 연구책임자의 개인적 견해이며,
우리 연구원의 공식견해와 다를 수도 있음을 알려드립니다.

산업안전보건연구원장

**폐활량검사의 정상치 아래한계치(LLN) 도입 가능성 탐색연구
(2023-산업안전보건연구원-700)**

발 행 일 : 2023년 11월 30일

발 행 인 : 산업안전보건연구원 원장 김은아

연구책임자 : 직업건강연구실 부장 이지혜

발 행 처 : 안전보건공단 산업안전보건연구원

주 소 : (44429) 울산광역시 중구 종가로 400

전 화 : 052-703-0870

팩 스 : 052-703-0336

Homepage : <http://oshri.kosha.or.kr>

I S B N : 979-11-92782-94-2

공공안심글꼴 : 무료글꼴, 한국출판인회의, Kopub바탕체/돋움체