



ORIGINAL ARTICLE

Spirometry Reference Equations for Asian Migrant Workers in Korea: A Proposal

Hwa-Yeon LEE, Yonglim WON

Occupational Health Research Bureau, Occupational Safety and Health Research Institute, Ulsan, Korea

아시아 외국인 근로자의 폐활량검사 결과해석을 위한 예측식 제안

이화연, 원용림

산업안전보건연구원 직업건강연구소

ARTICLE INFO

Received February 15, 2023
Revised March 7, 2023
Accepted March 9, 2023

Key words

Migrant workers
Reference value
Spirometry

ABSTRACT

This study proposes a spirometry reference equation suitable for Asian migrant workers undergoing special health examinations. The study participants were divided according to their region: Central Asia, Northeast Asia, and South Asia Pacific. We confirmed results of the spirometry analysis of migrant workers and the interpretation consistency between the prediction equations. Based on this data, we propose a reference equation suitable for domestic migrant workers and suggest a scaling factor applicable to the spirometer wherein the reference equation is not easily applicable. The kappa-values obtained for men and women, respectively, between the global lung function initiative 2012 (GLI2012)-Southeast Asian and the Southeast Asian equations were 0.819 and 0.770, between the GLI2012-Southeast Asian and the South Asian equations were 0.881 and 0.866, and between the GLI2012-Northeast Asian and the Central Asian equations were 0.831 and 0.833. We propose applying the GLI2012-Northeast Asian equation for Northeast Asian and Central Asian countries, whereas the GLI2012-Southeast Asian equation was found to be more suitable for predicting Southeast Asian and South Asian populations. For spirometry, we recommend applying a scaling factor of 0.87 to the Dr. Choi equation, wherein the GLI2012-Southeast Asian equation is not applicable.

Copyright © 2023 The Korean Society for Clinical Laboratory Science.

서론

호흡기계에 악영향을 주는 유해인자에 노출되는 근로자는 산업안전보건법 제130조(특수건강진단 등)에 따라 폐활량검사 등이 포함된 건강진단을 받아야 하는데[1], 2019년 한국산업안전보건공단의 데이터베이스에 저장된 특수건강진단 폐활량검사자 수는 1,048,560명이었고 이중 외국인은 82,831명이었었다. 2019년 기준 외국인취업자 86만3천명 중 최소 82,831명

(9.6%)은 호흡기계 질환을 유발할 수 있는 작업환경에서 근무하였다고 할 수 있으며, 이로 인해 발생할 수 있는 직업성 호흡기질환을 예방하기 위해서는 정확한 폐활량검사결과와의 해석이 요구된다[2]. 일반적으로 폐활량검사의 한 항목인 강제폐활량(forced vital capacity, FVC)은 예측치 대비 비율로 결과를 해석한다. 그러나 현재 한국에는 외국인 근로자를 대상으로 진행하는 폐활량검사의 해석을 위한 예측식 선택 지침이 없다[3].

폐활량검사의 예측치에 영향을 주는 주요 요인은 성별, 나이, 키, 인종 등이다. 폐활량은 남성이 여성보다, 노인보다는 20대 초반이, 키가 클수록 크다. 폐활량검사 결과에 인종 차이가 주는 기여도는 10% 정도로 보고되었으며[4], 같은 성별, 나이, 키라면 백인이 가장 크고 흑인이 가장 작은 것으로 알려져 있다. 18~

Corresponding author: Yonglim WON

Occupational Health Research Bureau, Occupational Safety and Health Research Bureau, 400 Jongga-ro, Jung-gu, Ulsan 44429, Korea

E-mail: herhand@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6744-4798>

25세 성인남성 평균 키는 한국 1.75 m, 캄보디아 1.65 m로 평균 0.1 m 정도의 차이를 보이는데[5], 이 차이가 FVC 예측치에 주는 영향은 예측식에 따라 차이가 있으나 0.53~0.84 L 정도로 계산된다. 키가 동일할 경우에도 ‘최정근식(Dr. Choi equation)’과 ‘global lung function initiative 2012 (GLI2012)-동남아시아식’은 FVC 예측치가 0.44~0.52 L 차이를 보이는 것으로 나타났다.

2021년 고용허가제를 통해 국내에 취업중인 외국인 근로자 수는 캄보디아(2.5만 명), 미얀마(1.8만 명), 베트남(1.8만 명), 태국(1.7만 명) 순으로 많았고 한국인과 인종적 차이가 명확한 동남아시아 국적의 근로자가 93.5%이었다[6]. 폐활량검사 예측식은 수검자의 국적 또는 인종을 고려하여 선택해야 하나, 수검자의 국적 또는 인종에 상관없이 한국인 또는 백인을 대상으로 만들어진 예측식을 적용하는 사례가 확인되며, 검사기에서 선택 가능한 인종의 한계로 폐활량검사 결과에 따른 환기장애가 과대 또는 과소진단 될 우려가 있으므로, 결과의 합리적인 해석을 위해 적합한 예측식의 선택이 요구된다.

본 연구의 목적은 국내에 취업 중인 외국인의 특수건강진단 폐활량검사 결과 해석의 기준이 되는 예측식을 제안하는 것이다.

를 분석하였으므로 심의면제대상에 해당한다.

1. 연구대상

연구는 고용허가제 대상 국가의 국적을 가진 외국인 중 특수건강진단 폐활량검사기록이 있는 근로자를 대상으로 진행하였으며, 산업안전보건법 시행령 제105조에 따라 2019년에 특수건강진단기관에서 한국산업안전보건공단으로 제출한 특수건강진단 결과 데이터베이스를 활용하였다. 자료는 근로자의 이름, 주민등록번호 또는 외국인등록번호 등 개인을 식별할 수 있는 정보를 삭제하고 한국산업안전보건공단의 데이터베이스 관리자로부터 제공받았다(Table 1).

2019년 특수건강진단 데이터베이스 중 폐활량검사 결과자료는 1,048,560건이었다. 최종 분석대상은 한국인, 국적확인이 불가능한 외국인 근로자, 키·몸무게 등의 기본정보 또는 결과입력 오류자료, 고용허가제 적용대상이 아닌 국적의 외국인 근로자를 제외하고 남성 17,211명, 여성 1,200명이었다(Figure 1).

자료 및 방법

연구는 산업안전보건연구원 생명윤리심의위원회의 심의 후 진행하였다(심의면제 OSHRI-202102-HR-002). 새로운 정보를 수집하지 않고 개인을 식별할 수 없는 기준에 생성된 자료

Table 1. Obtained data

2019 Spirometry date in special health examination results
Testing date, height, weight, birth date, and sex
Spirometry interpretation, FVC, FVC (%), FEV1, and FEV1 (%)

Abbreviations: FVC, forced vital capacity; FEV1, forced expiratory volume in 1 second.

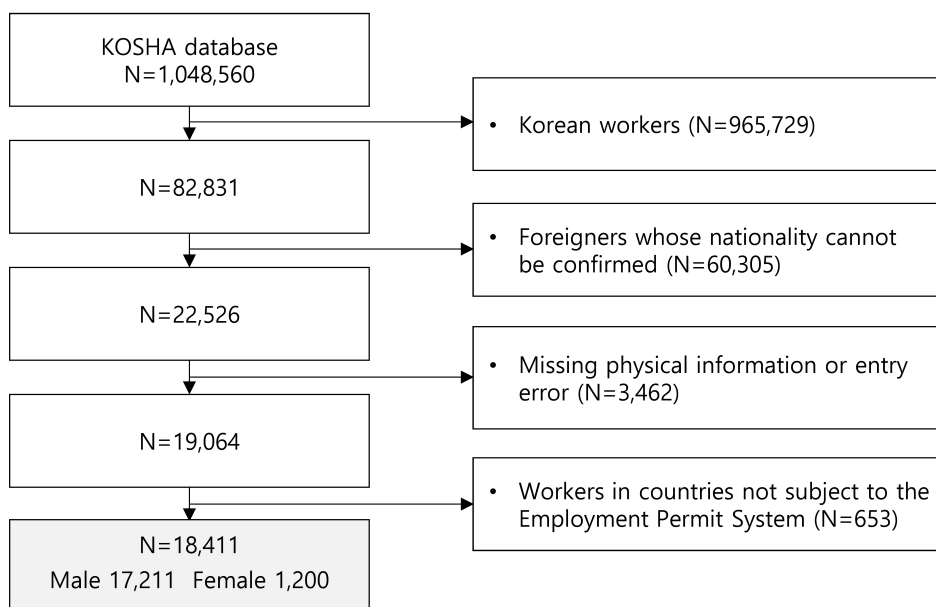


Figure 1. Sampling process. Abbreviation: KOSHA, Korea Occupational Safety and Health Agency.

2. 검토대상 예측식 선정

연구대상 국가의 인종특성 또는 국가별 특성을 고려한 예측식을 조사하였다. 예측식 선정은 Kim 등[7]의 방법을 준용하였으며, 첫째, 미국흉부학회의 지침에 따라 폐활량검사를 실시한 결과치로 산출된 것, 둘째, FVC와 1초간 강제호기량(forced expiratory volume in 1 second, FEV1) 예측식의 확인이 가능한 것, 셋째, 적용 가능한 연령대로 20대~40대를 포함하는 것, 넷째, 연구대상자수는 300명 이상인 것 등 네 가지를 고려하여 가장 최근에 개발된 것을 선택하였다. Crapo 등[8]이 1999년에 제안한 중앙아시아인 예측식, Gnanou 등[9]이 2011년에 제안한 동남아시아인 예측식, Memon 등[10]이 2007년에 제안한 남아시아인 예측식을 대표예측식으로 선정하였다(Table 2).

비교예측식으로는 현재 특수건강진단기관에서 적용 가능한 예측식 중 가장 많이 사용하는 예측식[11]과 유럽호흡기학회에서 동북아시아인과 동남아시아인을 대상으로 제안한 예측식[12]을 선정하였다.

3. 연구대상의 분류

지리적 위치에 따라 동남아시아인과 남아시아인을 구분하여 예측식을 제시하였으나, 두 예측식의 해석일치도(kappa-value, κ)는 남성 κ=0.934, 여성 κ=0.987로 '거의 완벽'하였다(Table 3)[13]. 따라서 남성과 여성 모두 동남아시아, 남아시아의 국가인

종적 차이가 폐활량 환기장애 해석에 미치는 영향이 적다고 판단하여, 두 그룹을 남아시아태평양으로 묶어 분석하였다.

연구대상인 14개 아시아 국가는 지리적, 인종적 특성을 고려하여 중앙아시아(2개국), 동북아시아(2개국), 남아시아태평양(10개국)으로 구분하였다(Table 4).

4. 자료분석

그룹별 키, FVC, FVC가 예측치의 80% 미만인 경우를 비교하였으며, 건강진단기관에서 환기장애가 없는 것으로 해석한 결과를 근로자건강진단 실무지침의 해석 예에 따라 재해석하고 결과를 비교하였다. 대표예측식을 적용하였을 때의 해석결과와 비교예측식을 적용하였을 때의 해석결과의 일치도를 확인하였고 아시아 외국인 근로자의 폐활량검사 해석에 가장 적합한 예측식을 제안하였다. 국가 또는 인종을 고려한 예측식의 적용이 불가능한 검사기의 예측치 보정을 위한 보정계수를 산출하였다. 보정계수를 적용할 예측식은 국내 대부분 특수건강진단기관에

Table 3. Interpretation consistency between Southeast Asian equation and South Asian equation

Sex	κ	SE	95% CI
Male	0.934	0.005	0.924~0.944
Female	0.987	0.005	0.977~0.996

Abbreviations: κ, kappa-value; SE, standardized error; CI, confidence interval.

Table 2. Representative reference equations applicable to the subjects under study

Author, reference		Reference equation formula		application subject	Reference equation (discretionary name)
		FEV1	FVC		
Crapo et al. 1999 [8]	M	$-2.0956+0.04052 \times H-0.02411 \times A$	$-3.5922+0.05207 \times H-0.01532 \times A$	Central Asia	Central Asian equation
	F	$-1.1576+0.03053 \times H-0.02234 \times A$	$-2.1706+0.03889 \times H-0.01495 \times A$		
Gnanou et al. 2011 [9]	M	$-1.284+0.03167 \times H-0.027 \times A$	$-2.176+0.03889 \times H-0.027 \times A$	Southeast Asia	Southeast Asian equation
	F	$-0.643+0.02265 \times H-0.02 \times A$	$-1.147+0.02695 \times H-0.018 \times A$		
Memon et al. 2007 [10]	M	$-1.44+0.03 \times H-0.02 \times A$	$-0.848+0.032 \times H-0.02 \times A$	South Asia	South Asian equation
	F	$-1.866+0.032 \times H-0.019 \times A$	$-3.072+0.042 \times H-0.02 \times A$		
Choi et al. 2005 [11]	M	$-3.4132+0.04578 \times H-0.0002484 \times A^2$	$-4.8434-(0.00008633 \times A^2)+0.01095 \times W+0.05292 \times H$	Korea	Dr.Choi equation
	F	$-2.4114+0.03558 \times H-0.000192 \times A^2$	$-3.0006-(0.0001273 \times A^2)+0.006892 \times W+0.03951 \times H$		
Quanjer et al. 2012 [12]	M	$\exp(-10.3420+0.0574 \times \ln(A)+2.2196 \times \ln(H)-0.0351+\mu\text{-spline})$	$\exp(-11.2281+0.0865 \times \ln(A)+2.4135 \times \ln(H)-0.0405+\mu\text{-spline})$	Northeast Asia	GLI2012-Northeast Asian equation
	F	$\exp(-9.6987-0.0270 \times \ln(A)+2.1211 \times \ln(H)-0.0149+\mu\text{-spline})$	$\exp(-10.4030-0.0234 \times \ln(A)+2.2633 \times \ln(H)-0.0262+\mu\text{-spline})$		
Quanjer et al. 2012 [12]	M	$\exp(-10.3420+0.0574 \times \ln(A)+2.2196 \times \ln(H)-0.0881+\mu\text{-spline})$	$\exp(-11.2281+0.0865 \times \ln(A)+2.4135 \times \ln(H)-0.1177+\mu\text{-spline})$	Southeast Asia	GLI2012-Southeast Asian equation
	F	$\exp(-9.6987-0.0270 \times \ln(A)+2.1211 \times \ln(H)-0.1208+\mu\text{-spline})$	$\exp(-10.4030-0.0234 \times \ln(A)+2.2633 \times \ln(H)-0.1516+\mu\text{-spline})$		

Abbreviations: A, age; H, height; W, weight; FEV1, forced expiratory volume in 1 second; FVC, forced vital capacity; GLI, global lung function initiative; M, male; F, female.

서 적용 가능한 예측식(최정근식)으로 선정하였으며, 최정근식에 0.84에서 0.89까지의 보정계수를 적용시키면서 환기장애 해석일치도의 변화를 확인하였다.

환기장애 해석은 근로자건강진단 실무지침의 해석 예에 따라 실시하였다. 1초율은 70%를 기준으로 정상과 이상으로 구분하였으며, 1초율이 70% 미만일 경우 '폐쇄환기장애'로 해석하였다[14]. FVC (%)는 80%를 기준으로 정상(80% 이상)과 이상(80% 미만)으로 구분하였으며, FVC (%)가 80%미만인 경우 '제한환기장애'로 해석하였다[14]. 제한환기장애와 폐쇄환기장애에 동시에 해당하는 경우 '혼합환기장애'로 해석하였다[14].

5. 실태조사

246개 특수건강진단기관 중 외국인 근로자의 비중이 높은 32개 기관을 선정하여 외국인의 폐활량검사 시 적용하는 예측식과 폐활량검사 결과 해석기준을 조사하였다. 검사자 면담을 통해 수검자의 국적 확인방법, 내국인에 비해 폐활량검사의 수치가 상대적으로 낮은 원인 등을 확인하였으며, 기관 별 30건의 자료를 검토하여 적용 예측식, 국적기록, 검사결과의 적절성 등을 확인하였다.

6. 통계처리

측정값의 평균비교는 일원배치분산분석을 이용하였고 사후 분석은 Student-Newmann-Keuls 테스트를 실시하였다. 환기장애 해석 비율의 비교는 카이제곱검정, 환기장애 해석일치도는 카파분석을 이용하였다. 통계분석은 SPSS 25.0 (IBM Co., Armonk, NY, USA)을 활용하였으며, 통계적 유의성은 0.05미만으로 하였다.

결 과

1. 그룹별 평균 키 및 폐활량검사결과 비교

평균 키는 남성 중앙아시아>동북아시아>남아시아태평양, 여성 중앙아시아>남아시아태평양>동북아시아 순이었다. FVC는 남성과 여성 동일하게 중앙아시아>동북아시아>남아시아태평양 순이었다. 각 그룹간 평균 키와 FVC는 의미 있는 차이를 보였다. FVC가 예측치의 80% 미만인 비율은 남아시아태평양그룹이 남성 22.7%, 여성 21.2%로 가장 높았고, 세 그룹간 의미 있는 차이를 보였다(Table 5).

Table 4. Classification of study subjects

Subject group	Country	Male (N=17,211)	Female (N=1,200)
Central Asia (N=2)	Uzbekistan (N=1,033), Kyrgyzstan (N=48)	1,020 (5.9)	61(5.1)
Northeast Asia (N=2)	Mongolia (N=82), China (N=11,147)	10,274 (59.7)	955 (79.6)
South Asia Pacific group (N=10)	[Southeast Asia Vietnam (N=1,484), Cambodia (N=578), Thailand (N=560), Philippines (N=526), Myanmar (N=922), Indonesia (N=511) [South Asia] Nepal (N=845), Pakistan (N=91), Sri Lanka (N=387), Bangladesh (N=197)	5,917 (34.4)	184 (15.3)

Data are presented as number (%).

Table 5. Subject groups's mean height and spirometry test results

Sex	Subject group	Mean height (cm)	FVC (L)	FVC below 80%
Male	Central Asia (N=1,020)	173.4±6.0**†	4.9±0.7**†	50 (4.9)**†
	Northeast Asia (N=10,274)	167.2±5.9**†	4.2±0.7**†	1,346 (13.1)**†
	South Asia Pacific group (N=5,917)	166.9±5.8**†	4.0±0.6**†	1,344 (22.7)**†
Female	Central Asia (N=61)	159.9±6.6**†	3.4±0.6**†	6 (9.8)**§
	Northeast Asia (N=955)	155.1±5.4**†	3.0±0.5**†	137 (14.3)**§
	South Asia Pacific group (N=184)	155.4±5.2**†	2.9±0.4**†	39 (21.2)**§

Data are presented as number only, number (%), mean±standard or deviation.

Abbreviations: FVC, forced vital capacity; FEV1, forced expiratory volume in 1 second.

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$; † P -values were calculated by ANOVA. post hoc by Student-Newmann-Keuls test, ‡ P -value was calculated by chi-squared test, § P -value was calculated by chi-squared test, $\chi^2=357.553$; § P -value was calculated by chi-squared test, $\chi^2=7.046$.

2. 폐활량검사 정상으로 해석한 근로자의 재해석 결과

특수건강진단기관에서 환기장애가 없는 것으로 해석한 자료의 재검토 결과 제한·폐쇄 또는 혼합환기장애로 확인된 자료는 남성 292명, 여성 5명이었다. 남성과 여성 모두 남아시아태평양그룹에서 제한환기장애로 재해석된 사례가 가장 많았다(남성 4.2%, 여성3.4%) (Figure 2).

3. 예측식간 환기장애 해석일치도

비교예측식 중 중앙아시아안식과 해석일치도가 가장 높은 예측식은 최적근식 이었고 다음으로 GLI2012-동북아시아안식이었다. 동남아시아안식과 해석일치도가 가장 높은 예측식은 GLI2012-

동남아시아안식이었으며, 남아시아안식과 해석일치도가 가장 높은 예측식은 GLI2012-동남아시아안식이었다. 해석일치도가 높은 순서는 남성과 여성이 동일하였으며, 여성에서 동남아시아안식과 GLI2012-동남아시아안식을 제외하고 0.8 이상의 '강한' 해석일치도를 보이는 예측식을 확인하였다(Table 6).

4. GLI2012-동남아시아안식과 최적근식의 보정계수

남성은 최적근식에 보정계수 0.87을 곱하였을 때, 해석일치도가 가장 높았으며($\kappa=0.904$), 여성은 최적근식에 보정계수 0.85를 적용할 경우 해석일치도가 가장 높았다($\kappa=0.923$) (Table 7).



Figure 2. Analysis results of spirometry of workers without ventilation disorder.

Table 6. Interpretation consistency between reference equation and comparative reference equation

Reference equation	Comparative Reference equation	Male			Female		
		κ	SE	95% CI	κ	SE	95% CI
Central Asian equaiton	Dr. Choi equation	0.848	0.005	0.838~0.858	0.855	0.020	0.816~0.894
	GLI2012-Northeast Asian equation	0.831	0.005	0.821~0.841	0.833	0.023	0.788~0.878
	GLI2012-Southeast Asian equation	0.602	0.008	0.586~0.618	0.382	0.038	0.308~0.456
Southeast Asian equaiton	Dr. Choi equation	0.397	0.008	0.381~0.413	0.211	0.031	0.150~0.272
	GLI2012-Northeast Asian equation	0.588	0.009	0.570~0.606	0.337	0.044	0.251~0.423
	GLI2012-Southeast Asian equation	0.819	0.008	0.803~0.835	0.770	0.051	0.670~0.870
South Asian equation	Dr. Choi equation	0.440	0.008	0.424~0.456	0.251	0.033	0.186~0.316
	GLI2012-Northeast Asian equation	0.644	0.009	0.626~0.662	0.396	0.044	0.310~0.482
	GLI2012-Southeast Asian equation	0.881	0.006	0.869~0.893	0.866	0.038	0.792~0.940

Abbreviations: κ , kappa-value; GLI, global lung function initiative; SE, standardized error; CI, confidence interval.

Table 7. Interpretation consistency between the scaling factor-applied Dr. Choi equation and global lung function initiative 2012–Southeast Asia equation

Scaling factor	Male			Female		
	κ	SE	95% CI	κ	SE	95% CI
not applied	0.526	0.008	0.510~0.542	0.211	0.031	0.150~0.272
×0.89	0.892	0.006	0.880~0.904	–	–	–
×0.88	0.899	0.005	0.889~0.909	0.847	0.035	0.778~0.916
×0.87	0.904	0.005	0.894~0.914	0.885	0.032	0.822~0.948
×0.86	0.903	0.005	0.893~0.913	0.883	0.032	0.820~0.946
×0.85	0.897	0.006	0.885~0.909	0.923	0.027	0.870~0.976
×0.84	–	–	–	0.911	0.029	0.854~0.968

Abbreviations: κ , kappa-value; SE, standardized error; CI, confidence interval.

5. 특수건강진단기관의 국적 또는 인종에 따른 예측식 적용 실태 확인

외국인 폐활량검사 시 국적을 확인하는 기관은 32개소 중 1개소이었으며, 외국인등록증을 확인한다고 하였고 그 외 31개소는 외모로 판단하거나 구두로 확인한다고 하였다. 그러나 검사결과지에 수검자의 국적을 기록하는 기관은 없었다.

동남아시아 국적을 가진 외국인을 검사하였을 때 한국인에 비해 폐활량검사 수치가 낮은 이유에 대한 답변은 31개 기관에서 의사소통의 어려움으로 인한 검사 이해도 부족을 원인으로 답하였으나, 1개 기관에서 인종의 차이로 발생할 수 있는 폐활량검사 결과라고 답하였다.

31개 기관에서는 외국인도 한국인과 동일한 예측식을 적용하고 있었으며, 1개 기관에서 동남아시아인 예제만 GLI2012-동남아시아인 예측식을 적용하였다.

폐활량검사 결과의 해석은 32개 기관 모두 FVC 80%, 1초율 70%로 한국인과 동일하게 적용한다고 답하였다.

5개 기관에서 망설임, 고평부 미확인 등의 적합성 문제가 확인되었고 1개 기관에서 FVC 재현성이 부족한 결과가 확인되었다.

고찰

2019년 특수건강진단 폐활량검사를 수검한 외국인 근로자 중 국적이 확인된 근로자는 18,411명이었다. 중국을 제외하면 대부분은 한국인과 인종적 차이가 확연한 베트남, 우즈베키스탄, 미얀마, 네팔 등의 국적이었다. 연구의 목적은 한국에서 호흡기 유해인자에 노출되는 외국인 근로자가 폐활량 이상을 정확히 평가받을 수 있도록 해석의 기준이 되는 예측식을 제안하는 것으로 예측식에 따라 결과해석이 바뀌는 FVC (%)의 변화를 중심으로 연구하였다. 새로운 예측식을 개발하여 적용하는 것이

가장 좋은 방법이나 수검자의 특성에 맞는 예측식이 만들어진다 하더라도 검사에 적용하기까지 10년 이상의 시간이 소요되어 당장의 변화를 기대 할 수 없다. 한국인을 대상으로도 여러 예측식들이 제시되고 있으나[15, 16], 검증에 시간이 필요하고 검사기에 적용되지 못하고 있는 등 실용성은 낮은 상태이다. 따라서 특수건강진단기관에서 바로 적용이 가능한 가장 적절한 예측식을 검토하고자 하였다.

연구대상자는 국적에 따라 중앙아시아, 동북아시아, 남아시아태평양으로 분류하였다. 인종에 따라 분류하고자 하였으나, 인종의 분류방법은 형태적·계측적 기준이 매우 다양하며, 실제 각 인종 간에 혼혈이 많아 엄밀히 구분하기가 어려웠다. 또한 연구대상 중 몽골인종과 말레이인종이 대부분을 차지하며, 인종의 분포가 지리적 위치와 많은 부분 일치하였고 모든 인종을 조사하더라도 실무에 반영하기 어려운 점 등을 고려하여 국가·지역 기준에 따라 분류하였다. 이는 외교부의 국가분류기준이기도 하다.

연구에서는 FVC가 예측치의 80% 미만인 비율이 남성과 여성 모두 남아시아태평양그룹에서 다른 그룹에 비해 높았다. 이에 대해 특수건강진단기관의 검사자 대부분은 외국인들과 의사소통이 어려워 검사진행이 제대로 되지 않았을 것이라고 답하였으나 자료 검토 결과 외삽용적, 조기중단, 막힘, FVC재현성 부족 등 FVC 측정에 영향을 준 부적합 사례는 한국인을 대상으로 평가한 자료(외삽용적 8.9% 부적절, 조기중단 33.3% 부적절, FVC 재현성 20.7% 부적절[17])와 비슷하거나 오히려 더 좋은 결과를 보여주었다. 또한 남아시아태평양그룹 각 국가의 제한환기장애 비율이 다른 국가에 비해 높다는 문헌은 찾을 수 없었다. 따라서 주원인은 인종과 지리적 특성에 의해 폐활량이 작은 그룹을 한국인과 동일한 예측식을 적용하여 환기장애 결과를 해석하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 실태조사에서 모든 기관이 결과해석에 FVC 80%, 1초율 70%의 기준을 한국인과 동일

하게 적용한다고 하였으나, 기관에서 정상으로 해석한 자료 중 일부에서 제한환기장애에 해당하는 자료가 확인되었고 대부분은 남아시아태평양그룹이었다. 이는 FVC가 예측치의 80%에 미치지 못하나 해당 그룹의 폐활량이 작음을 감안한 해석으로 적절하지 못한 예측식 적용이 불명확한 해석으로 이어진 것으로 보인다.

산업안전보건연구원의 보고에 따르면 국내 특수건강진단기관에서 폐활량검사에 적용중인 예측식은 6종류로 파악되며, MORRIS식과 최정근식을 가장 많이 사용한다[18]. 근로자의 국적 또는 인종을 고려한 예측식의 적용이 필요하지만 연구에서 검토한 중앙아시아식, 동남아시아식, 남아시아식을 사용하는 기관 또는 적용할 수 있는 검사기는 없었다. 따라서 중앙아시아식, 동남아시아식, 남아시아식을 대체할 수 있는 예측식의 선정이 필요하며, 대체 예측식 제안을 위한 비교대상 예측식으로 최정근식과 GLI2012식을 검토하였다. 최정근식은 2005년에 한국인을 대상으로 개발되었고 거의 모든 특수건강진단기관의 검사기에 적용 가능한 예측식이지만 동남아시아 등 외국인은 고려되지 않았다. GLI2012-동남아시아식과 GLI2012-동북아시아식은 한국, 중국, 홍콩, 대만, 태국 등의 자료를 활용하여 유럽 호흡기학회가 주관하여 만든 예측식이며, 예측식 중 가장 진보된 통계기법을 적용한 것으로 알려져 있다[16]. 예측식간 해석 일치도 분석에서 $\kappa=0.7$ 이상은 보통(moderate), 0.8 이상은 강한(strong) 해석일치도를 의미한다[13]. 중앙아시아식은 '강한' 해석일치도를 보이는 최정근식 또는 GLI2012-동북아시아식으로 대체가 가능할 것으로 사료된다. 몽골, 중국이 포함된 동북아시아그룹은 한국인과 인종적 차이가 크지 않으므로 최정근식 또는 GLI2012-동북아시아식의 적용이 가능하다. 다만 최정근식에 몸무게가 변수로 적용됨에 따라 예측치가 과대 계산되는 경향이 있으며, GLI2012-동북아시아 예측식이 정상 선별집단의 폐활량분포에 보다 적합한 예측곡선을 보여주므로, GLI2012-동북아시아를 우선 적용하고 이를 적용하기 어려운 폐활량검사기에는 선행연구의 제안에 따라 최정근식에 0.95의 보정계수를 적용하는 안도 검토해 볼 수 있을 것이다[19]. 동남아시아식과 남아시아식은 GLI2012-동남아시아식으로 대체 가능성을 확인하였다. 동남아시아 여성에서 '보통'의 해석일치도를 보이긴 하였으나 그 외 '강한' 해석일치도가 확인되었다. 다만 GLI2012-동남아시아식을 선택할 수 있는 폐활량검사기는 전체 특수건강진단기관에서 사용하고 있는 폐활량검사기의 35.5%에 불과하므로 이 예측식의 적용이 불가한 검사기를 위한 대안도 필요하다[19]. 남성은 최정근식에 보정계수 0.87, 여성은 보정계수 0.85를 적용하면 GLI2012-동남아시아식과의 κ 가 각

각 0.526에서 0.904, 0.211에서 0.923으로 증가한다. 수검자의 성에 따라 다른 보정계수를 적용할 수도 있으나 성별이 바뀔 때마다 설정 값을 변경하는 것은 상당히 번거로운 일이다. 여성에게도 0.87을 적용했을 때 κ 는 0.885로 감소하지만 여전히 '강한' 일치도이며, 남아시아태평양그룹에서 남성 근로자의 비율이 97%로 압도적이고 실무적인 관점에서 검사자의 실수를 줄이기 위해서는 동일한 보정계수의 적용이 적절하다고 판단한다.

연구결과는 국내의 외국인 근로자 중 동남아시아인과 남아시아인 국적의 근로자에게 적절하지 못한 폐활량 예측식을 적용하여 폐활량검사 결과가 잘못 해석되고 있음을 보여준다. 이를 해결하기 위해 외국인 근로자의 인종 및 지리적 특성을 고려한 대체 예측식과 보정계수를 제안하였다. 검사실무자와 판정의사에게 적절한 예측식 사용의 중요성을 주지시킬 필요가 있으며, 연구결과는 외국인 근로자의 폐활량검사 환기장애 해석을 표준화하기 위한 기초 자료로 활용 가능할 것으로 사료된다.

요 약

이 연구는 특수건강진단 폐활량검사 시 아시아인 외국인 근로자들에게 적절한 예측식을 제안하는 것이다.

연구 대상은 지리적 분포에 따라 중앙아시아, 동북아시아, 남아시아태평양 그룹으로 나누었으며, 그룹별 폐활량검사 결과와 예측식간 일치도를 확인하였다. 이를 기준으로 국내 외국인 근로자들에게 폐활량검사 시 적절한 예측식을 제안하였고, 제안한 예측식을 적용할 수 없는 폐활량검사기에는 보정계수를 제안하였다.

Global lung function initiative 2012 (GLI2012)-동북아시아식과 동남아시아식의 해석일치도는 남성 0.819, 여성 0.770이었고, GLI2012-동남아시아식과 남아시아식의 해석일치도는 남성 0.881, 여성 0.886이었다. GLI2012-동북아시아식과 중앙아시아식의 해석일치도는 남성 0.831, 여성 0.833이었다.

따라서 동북아시아, 중앙아시아 그룹에 속하는 외국인 근로자는 GLI2012-동북아시아식을 적용하고, 동남아시아, 남아시아 그룹에 속하는 외국인 근로자는 GLI2012-동남아시아식을 제안한다. GLI2012-동남아시아식을 선택할 수 없는 폐활량검사기의 경우 최정근식(Dr. Choi equation)에 보정계수 0.87을 적용할 것을 제안한다.

Acknowledgements: This research was supported by Occupational Safety and Health Research Institute. This article is based on a part of the first author's master's

thesis.

Conflict of interest: None

Author's information (Position): Lee HY, Researcher;
Won Y, Researcher.

REFERENCES

1. Ministry of Employment and Labor. Occupational safety and health acts [Internet]. Sejong: Ministry of Employment and Labor [cited 2021 January 15]. Available from: <https://www.law.go.kr/LSW/lsInfoP.do?efYd=20220818&lsiSeq=234717#0000>
2. Townsend MC; Occupational and Environmental Lung Disorders Committee. Spirometry in the occupational health setting—2011 update. *J Occup Environ Med.* 2011;53:569-584. <https://doi.org/10.1097/JOM.0b013e31821aa964>
3. Lee HY, Won YL, et al. Reference equation of spirometry migrant workers in Korea. 2021-OSHRI-745. Ulsan: Occupational Safety and Health Research Institute; 2021.
4. Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. American Thoracic Society. *Am Rev Respir Dis.* 1991;144:1202-1218. <https://doi.org/10.1164/ajrccm/144.5.1202>
5. WorldData.info. Weight and size in Cambodia [Internet]. Oldenburg: WorldData.info [cited 2021 June 5]. Available from: <https://www.worlddata.info/asia/cambodia/health.php>
6. Ministry of Employment and Labor. e-Employment and labor indicators: migrant workers by country (E-9 Visa) number of employees [Internet]. Sejong: Ministry of Employment and Labor [cited 2021 June 5]. Available from: https://eboard.moel.go.kr/indicator/detail?menu_idx=75
7. Kim N, Kim SY, Song Y, Suh C, Kim KH, Kim JH, et al. The effect of applying ethnicity-specific spirometric reference equations to Asian migrant workers in Korea. *Ann Occup Environ Med.* 2015;27:14. <https://doi.org/10.1186/s40557-015-0065-0>
8. Crapo RO, Jensen RL, Oyunchimeg M, Tsh T, DuWayne Schmidt C. Differences in spirometry reference values: a statistical comparison of a Mongolian and a Caucasian study. *Eur Respir J.* 1999;13:606-609. <https://doi.org/10.1183/09031936.99.13360699>
9. Gnanou J, Caszo B, Mohamad WH, Nawawi H, Yusoff K, Ismail T. Prediction equations for lung function in healthy, life time never-smoking Malaysian population. *Southeast Asian J Trop Med Public Health.* 2011;42:965-976.
10. Memon MA, Sandila MP, Ahmed ST. Spirometric reference values in healthy, non-smoking, urban Pakistani population. *J Pak Med Assoc.* 2007;57:193-195.
11. Choi JK, Paek D, Lee JO. Normal predictive values of spirometry in Korean population. *Tuberc Respir Dis.* 2005;58:230-242. <https://doi.org/10.4046/trd.2005.58.3.230>
12. Quanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ, Baur X, Hall GL, Culver BH, et al. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3-95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *Eur Respir J.* 2012;40:1324-1343. <https://doi.org/10.1183/09031936.00080312>
13. McHugh ML. Interrater reliability: the kappa statistic. *Biochem Med (Zagreb).* 2012;22:276-282.
14. Occupational Safety and Health Research Institute. Guidelines for Workers' Health Examination. 2021-OSHRI-805. Ulsan: Occupational Safety and Health Research Institute; 2021. p169-170.
15. 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;28:424-430. <https://doi.org/10.3346/jkms.2013.28.3.424>
16. Jo BS, Myong JP, Rhee CK, Yoon HK, Koo JW, Kim HR. Reference values for spirometry derived using Lambda, Mu, Sigma (LMS) method in Korean adults: in comparison with previous references. *J Korean Med Sci.* 2018;33:e16. <https://doi.org/10.3346/jkms.2018.33.e16>
17. Won YL, Kim EA, et al. Development of pulmonary function test guidelines for special and pneumoconiosis health examination. 2020-OSHRI-820. Ulsan: Occupational Safety and Health Research Institute; 2020. p15-26.
18. Won YL, Kim EA, et al. Current status of and measures to standardize spirometry findings in special health examinations. 2019-OSHRI-1533. Ulsan: Occupational Safety and Health Research Institute; 2019. p11.
19. Won Y, Lee HY. A proposal of spirometry reference equations for Korean workers. *Ann Occup Environ Med.* 2022;34:e14. <https://doi.org/10.35371/aoem.2022.34.e14>