Review Article

J Korean Soc Radiol 2023;84(1):34-50
https://doi.org/10.3348/jksr.2022.0136
eISSN 2951-0805

JOURNAL of THE KOREAN SOCIETY of RADIOLOGY

Lung Imaging Reporting and Data System (Lung-RADS) in Radiology: Strengths, Weaknesses and Improvement

영상의학에서 폐영상 판독과 자료체계: 강점, 단점, 그리고 개선

Gong Yong Jin, MD*

Department of Radiology, Research Institute of Clinical Medicine of Jeonbuk National University-Biomedical Research Institute of Jeonbuk National University Hospital, Jeonbuk National University and Medical School, Jeonju, Korea

ORCID iD
Gong Yong Jin https://orcid.org/0000-0002-1426-554X

Received October 9, 2022
Revised December 5, 2022
Accepted December 27, 2022

***Corresponding author**
Gong Yong Jin, MD
Department of Radiology, Research Institute of Clinical Medicine of Jeonbuk National University-Biomedical Research Institute of Jeonbuk National University Hospital, Jeonbuk National University and Medical School, 20 Geonji-ro, Deokjin-gu, Jeonju 54907, Korea.

Tel 82-63-250-1150
Fax 82-63-272-0481
E-mail gyjin@chonbuk.ac.kr

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

In 2019, the American College of Radiology announced Lung CT Screening Reporting & Data System (Lung-RADS) 1.1 to reduce lung cancer false positivity compared to that of Lung-RADS 1.0 for effective national lung cancer screening, and in December 2022, announced the new Lung-RADS 1.1, Lung-RADS® 2022 improvement. The Lung-RADS® 2022 measures the nodule size to the first decimal place compared to that of the Lung-RADS 1.0, to category 2 until the juxtapleural nodule size is < 10 mm, increases the size criterion of the ground glass nodule to 30 mm in category 2, and changes categories 4B and 4X to extremely suspicious. The category was divided according to the airway nodules location and shape or wall thickness of atypical pulmonary cysts. Herein, to help radiologists understand the Lung-RADS® 2022, this review will describe its advantages, disadvantages, and future improvements.

Index terms Lung Neoplasms; Tomography, X-Ray Computed; Cancer Screening; Quality Control

서론

2021년도 발표된 우리나라 국가암등록사업 연례 보고서에 따르면 2019년에 최근 5년 동안 암 유병자 수를 살펴보면 갑상선암이 전체 암 유병자의 16.2%로 가장 많았고, 위암(13.8%), 대장암(12.7%), 유방암(12.0%), 폐암(7.2%), 전립선암(6.4%) 순이었다. 그러나 2019년도에만 발생한 암 종별로는 갑상선암, 폐암, 위암, 대장암, 유방암, 전립선암, 간암 순이었고, 폐암의 발생이 최근에

Copyrights © 2023 The Korean Society of Radiology

매우 증가된 것을 알 수 있다. 또한, 성별과 연령별로 나누어 분석을 해보면, 남자에서는 폐암(20331명/2019년, 15.2%), 위암, 대장암, 전립선암, 간암 순으로 발생하였고, 연령별로도 65세 이상의 남자에서 폐암이 발생 1위를 차지하였다. 2010–2014년 사이 발생한 암 환자의 10년 상대생존율은 67.5%로 1993–1995년 39.1% 대비 28.4% 증가하고, 1996–2000년 41.2% 대비 26.3% 증가하여 지속적인 향상이 되었으며, 특히 위암과 유방암이 국가암검진을 통한 조기 검진을 시행하면서 생존율이 매우 증가하였다. 이에 비해서 2010–2014년 사이 발생한 폐암 환자의 10년 상대생존율은 20.9%로 다른 암에 비해서 생존율이 매우 낮았다(1). 향후 우리나라에서 암 환자의 10년 상대생존율을 증가시키기 위해서는 폐암의 생존율을 더 높여야 하는데, 현재 폐암의 생존율을 높이기 위한 방법으로는 저선량 흉부 CT로 폐암 검진을 시행하여 폐암을 조기 발견하는 것이 유일하다.

지금까지 잘 알려져 있는 폐암의 조기 발견을 위한 흉부 CT의 유용성을 검증한 연구로는 미국에서 2002–2004년 사이에 53454명의 폐암 고위험군을 대상으로 대규모 무작위 비교임상시험인 National Lung Screening Trial (이하 NLST)이다. 이 연구는 저선량 흉부 CT로 폐암 검진을 시행하였을 때 흉부 X선을 시행한 대조군과 비교하여 폐암 사망률이 약 20% 감소되었다고 보고하였고, 이 연구가 폐암을 조기 발견하기 위한 저선량 흉부 CT의 폐암 검진 효과를 처음으로 증명하였다(2). 우리나라에서도 NLST 결과에 근거하여 폐암 검진 도입의 타당성을 평가하기 위하여 2017년도에 국가 폐암 검진 시범사업(Korean Lung Cancer Screening Project; 이하 K-LUCAS)을 시행하였고, 5692명의 폐암 고위험군을 대상으로 저선량 흉부 CT를 시행한 결과 336명(5.9%)에서 폐암이 의심되었고, 이중 42명 (0.7%)이 폐암으로 진단되었다. 진단된 폐암 환자 중 66.7%가 조기 폐암으로 진단이 되었으며, 이를 근거로 2019년 후반기부터 세계 최초로 국가 폐암 검진을 시행하고 있다(3, 4).

저선량 흉부 CT로 국가 폐암 검진을 효과적으로 시행하기 위해서는 저선량 흉부 CT 촬영을 표준화를 해야 하고, CT를 판독하는 영상의학과 전문의의 교육을 시행함으로써 국가 폐암 검진의 질 관리를 반드시 해야 한다. 현재 폐암 검진 CT 판독을 표준화하기 위해서 미국방사선의학회(American college of Radiology; 이하 ACR)에서 제시한 Lung CT Screening Reporting & Data System (이하 Lung-RADS)을 사용하고 있으며, 이를 통해서 폐암 검진 CT 판독과 보고 및 관리 권고사항을 표준화함으로써 폐암 검진 CT 해석의 혼동을 줄이고자 노력을 하고 있다(5). Lung-RADS는 영상의학과 의사가 저선량 흉부 CT의 결과를 보고할 때 공통 어휘 및 표준화된 결절 추적 관리 패러다임을 제공한다. Lung-RADS의 범주는 결절 크기, 성장 및 형태를 기반으로 만들었으며, 불완전한 검사를 나타내는 범주 0을 제외하고 번호가 높은 범주는 점차 악성종양의 위험이 증가함을 의미한다(6). ACR에서 2014년도에 폐암 검진을 위해 시행한 저선량 흉부 CT의 결과 보고에 대한 표준화된 형식과 범주에 따른 관리 권고 사항을 위해 Lung-RADS 1.0을 발표하였고, 2014년도 이후에 발표된 논문들을 다시 분석해서 Lung-RADS 1.0보다 위양성을 줄이는 방향으로 2019년도에 Lung-RADS 1.1을 배포하였다(Table 1) (6, 7). Lung-RADS 1.0은 미국의 폐암 검진 데이터를 기반으로 만들어졌기 때문에 우리나라의 실정에는 맞지 않을 수 있다. 따라서 우리나라의 경우 2017년도에 국가 폐암 검진 시범 사업을 시행하기 전에 우리나라의 실정에 맞게 Lung-RADS 1.0을 변형한 Korean Lung-RADS (이하 K-RADS)를 만들었고, 이를 국가 폐암 검진 시범

Table 1. Comparison of the Lung-RADS 1.0 and. Lung-RADS 1.1

	Lung-RADS 1.0	Lung-RADS 1.1
Pure GGN		
Category 2	< 20 mm or ≥ 20 mm and unchanged or slow growing	< 30 mm or ≥ 30 mm and unchanged or slow growing
Category 3	≥ 20 mm on baseline CT or new	≥ 30 mm on baseline CT or new
Perifissural nodules		
< 10 (< 524 mm^3)	Determine categories based on the size of the nodule	Category 2 for typical intrapulmonary lymph nodes
≥ 10 (≥ 524 mm^3)	Determine categories based on the size of the nodule	Determine categories based on the size of the nodule
Nodule size measurement	To calculate nodule mean diameter, measure both the long and short axis. To one decimal point, and report mean nodule diameter	To calculate nodule, mean diameter, measure both the long and short axis to one decimal point, and report mean nodule diameter to one decimal point
Volumetric measurements	No record	To calculate nodule mean diameter, measure both the long and short axis to one decimal point, and report mean nodule diameter to one decimal point
New large category 4B nodules	Apply on the same basis as 4B nodules	A low-dose CT is taken a month later and determined after confirmation
Modifier C	Previously diagnosed with lung cancer	Category removed

GGN = ground glass nodule, Lung-RADS = Lung CT Screening Reporting & Data System

사업에 적용하였으며, 현재는 우리나라 국가 폐암 검진에 적용하고 있다(4). K-RADS는 대한흉부영상의학회에서 전문가의 의견을 수렴하여 Lung-RADS 1.0에 4X에 대한 새로운 내용을 추가하고, 범주 2와 범주 3 사이에 2b를 신설하였다. 추가된 4X의 내용으로는 폐 결절이 없어도 폐쇄성 폐렴, 폐경화성 폐암, 림프절 비대만 단독으로 있는 경우도 4X로 하도록 하였다. 새로 신설된 2b는 크기는 범주 3 또는 4에 해당되지만 양성 가능성이 높은 경우로, 예를 들어 결핵과 동반된 육아종 또는 폐 내 림프절 등 연례 폐암 검진만으로도 충분하다고 판단되는 경우 범주 2b로 분류하기로 하였다(4). 그러나 Lung-RADS 1.1이나 K-RADS는 저선량 흉부 CT에서 발견된 기관지내 결절과 비정형 폐 낭종(atypical pulmonary cyst; 이하 APC)이 어떤 범주에 해당이 되는지 정확하게 기술을 하지 않았으며, 이로 인해서 기관지내 결절은 폐암 검진시 위양성의 요인이 되었으며, APC의 경우에는 판독자 간에 혼란을 초래하였다. 이를 해결하고자 ACR에서 2022년 12월에 Lung-RADS 1.1을 개선한 Lung-RADS® 2022를 발표하였다(Table 2) (8).

이 종설에서는 우리나라에서 시행하고 있는 저선량 흉부 CT를 이용한 국가 폐암 검진 저선량 흉부 CT를 판독할 때 향후 사용할 Lung-RADS® 2022의 장점, 단점, 그리고 향후 개선이 필요한 것에 대해서 기술하고자 한다.

본론

강점

위에서 언급을 했던 것처럼 2014년도에 저선량 흉부 CT로 폐암을 선별검사를 할 때 판독 보고

Table 2. Lung-RADS® 2022: Summary of Changes and Update of Lung-RADS 1.1

Lung-RADS	Category Descriptor	Findings	Management
0	Incomplete	Prior chest CT examination being located for comparison	Comparison to prior chest CT
		Findings suggestive of an inflammatory or infectious process	1–3 month LDCT
2	Benign	Juxtapleural nodule*	
		Airway nodule - subsegmental at baseline, new, or stable	
		Non-solid nodule (GGN): ≥ 30 mm (≥ 14137 mm^3) slow-growing†	
3	Probably benign	Atypical pulmonary cyst: growing‡ cystic component (mean diameter) of a thick-walled cyst	
4A	Suspicious	Airway nodule: segmental or more proximal at baseline or new	
		Atypical pulmonary cyst: thick-walled (≥ 2 mm) cyst OR multilocular cyst at baseline OR thin- or thick-walled cyst that becomes multilocular	
4B	Very suspicious	Airway nodule: segmental or more proximal, and stable or growing	
		Atypical pulmonary cyst: thick-walled cyst with growing‡ wall thickness/nodularity OR growing multilocular cyst (mean diameter) OR multilocular cyst with increased loculation or new/increased opacity (nodular, ground glass, or consolidation)	
		Slow-growing-solid or part-solid nodule† that demonstrates growth over multiple screening exams	
4X		Frank metastatic disease, a GGN that doubles in size in 1 year	

*Juxtapleural nodule include peri-fissural, costal pleural, peri-mediastinal, and peri-diaphragmatic nodule.
†Slow-growing means nodule that demonstrates growth over multiple screening exams but does not meet the > 1.5 mm threshold increase in size for any 12-month interval.
‡Growth defined > 1.5 mm increase in nodule size (mean diameter), wall thickness, and/or size of the cystic component (mean diameter) occurring within a 12-month interval.
GGN = ground glass nodule, Lung-RADS = Lung CT Screening Reporting & Data System

를 표준화할 수 있는 질 관리 도구로 ACR에서 Lung-RADS 1.0을 제시하였고, 그로부터 5년 후에 Lung-RADS 1.0을 보완해서 Lung-RADS 1.1을 배포하였다(5, 9). Lung-RADS 1.1은 Lung-RADS 1.0과 비교했을 때 범주 2, 3, 4A에서 결절의 성상과 크기 변화에서 폐암 진단의 위양성을 감소시키는 방향으로 보완이 되었다(5, 6, 9). 간단하게 요약을 하면 저선량 흉부 CT에서 발견된 결절의 크기를 소수점 첫째 자리까지 측정을 하고, 엽간열근처 결절(폐 내 림프절)의 크기가 10 mm 미만인 경우 범주 2로 간주하며, 범주 2에서 간유리 결절의 크기 기준을 30 mm로 높이고, 범주 4B와 4X를 매우 의심(very suspicious)으로 변경함으로써 범주 4A와 구분을 했으며, 추적 저선량 흉부 CT에서 새로 생긴 4B나 4X의 경우 염증성 결절이 의심되면 저선량 CT를 한 달 후 촬영하여 확인한 후 추가 검사를 하도록 했다. 마지막으로 과거 폐암 병력을 의미하는 "C"를 삭제하였다. Lung-RADS 1.1을 발표하고 3년 후인 2022년 12월에 그동안 시행해왔던 저선량 흉부 CT의 자료를 분석해서 Lung-RADS 1.1의 제한점을 보완한 Lung-RADS® 2022를 발표하였다. Lung-RADS® 2022에서 새로 개선된 내용으로는 기관지의 결절은 기관지 위치에 따라 범주를 분류를 하였고, APC의 형태와 벽의 두께에 따라서 범주를 분류하였다. 또한 폐에 염증성 또는 감염성 병변의 경우 범주 0으로 분류를 하였으며, 서서히 자라는 폐 결절(slow-growing lung nodule)에 대해서도 범주별 분류를 하였다.

지금부터 Lung-RADS 1.1과 Lung-RADS® 2022에서 개선된 점에 대해 구체적으로 기술을 하겠다.

1) 범주 2와 3에서 간유리 결절의 크기 측정 기준이 개정되었다. Lung-RADS 1.0에서는 간유리 결절이 처음 저선량 흉부 CT에서 20 mm 미만이거나 20 mm 이상이더라도 추적 저선량 흉부 CT에서 변화가 없거나 서서히 자라는 경우 범주 2로 간주를 하였다. 범주 3은 간유리 결절의 크기가 20 mm 이상이거나 새로운 결절이 생기는 경우이다. Lung-RADS 1.1에서는 Lung-RADS 1.0과 비교할 때 내용의 변화는 없이 크기만 30 mm로 변경을 하였다. 사실 아직까지 간유리 결절의 추적 검사를 결정할 때 30 mm를 기준으로 하는 것에 대한 연구는 아직까지 없다. 그러나 폐암 검진 저선량 흉부 CT에서 발견되는 간유리 결절에 대해서 범주를 결정하기 위한 크기 측정 기준을 변경한 이유는 간유리 결절이 매우 천천히 크기가 증가된다는 연구 결과를 바탕으로 한다(10, 11). Kastner 등(5)에 따르면 NLST에 등록된 흡연자를 대상으로 Lung-RADS 1.0에서 Lung-RADS 1.1로 변경했을 때 간유리 결절의 범주와 폐암 진단율 변화를 보면 간유리 음영이 있던 대상자의 67%가 범주 3에서 범주 2로 하향되었지만 폐암 진단율에는 차이가 없었다고 보고하였다. 따라서 Lung-RADS 1.1이 위양성을 감소시킴으로써 폐암 검진에서 간유리 결절이 발견되는 경우 불필요한 추적 CT를 감소시킬 수 있다.

2) 엽간열근처 결절(폐내 림프절)이란 용어 대신 늑막옆 결절(juxtapleural nodule)을 사용하도록 하였으며, 늑막옆 결절은 엽간열근처(peri-fissural), 갈비가슴막(costal pleural), 종격동과 횡격막 주변의 결절을 포함하며, 결절의 크기가 10 mm 미만인 경우 범주 2로 간주하기로 하였다(Fig. 1). Lung-RADS에서 정의한 늑막옆 결절은 부드러운 경계면을 가진 타원형, 원형, 또는 삼각형 모양의 단단한 결절을 말한다. 폐암 검진 저선량 흉부 CT에서 엽간열근처 결절은 흔히 보이지만 엽간열근처 결절이 양성인지 악성인지, 또는 추적 CT상 크기 변화는 어떻게 될 건지에 대한 의문점들은 항상 가질 수밖에 없다. Ahn 등(12)은 147명의 폐암 고위험 흡연자 147명을 저선량 흉부 CT로 선별검사를 했을 때 1/3에서 엽간열근처 결절이 발견이 되었으나 2년 동안 추적 검사를 했을 때 암으로 진단된 경우는 없었다고 보고를 하였다. 또한, Dutch-Belgian Randomized Lung Cancer Multi-Slice Screening Trial (이하 NELSON)에서도 1729명에서 4026개의 결절이 발견되었고, 이 중 19.7% (794/4026)가 엽간열근처 결절로 진단이 되었지만, 5.5년 동안 추적 검사를 했

Fig. 1. A 68-year-old male with a 30-pack-year smoking history with perifissural lymph node. There is a 7 mm triangular solid nodule (arrow) near the right major fissure on low-dose chest CT. It is category 3 in Lung RADS 1.0, but downgraded to category 2 in Lung RADS 1.1. and Lung-RADS® 2022.
Lung-RADS = Lung CT Screening Reporting & Data System

Fig. 2. A 57-year-old male with a 32-pack-year smoking history with perifissural lymph node.
A. There is a 20 mm lobular, ellipsoidal solid nodule (arrow) near the left major fissure on low-dose chest CT. In Lung RADS 1.1, it is considered category 4A.
B. After one year, a follow-up low-dose chest CT shows no change in this perifissural lymph node (arrow) near the left major fissure. It is category 2 in Lung RADS 1.1. and Lung-RADS® 2022 and assigned to follow-up low-dose chest CT.
Lung-RADS = Lung CT Screening Reporting & Data System

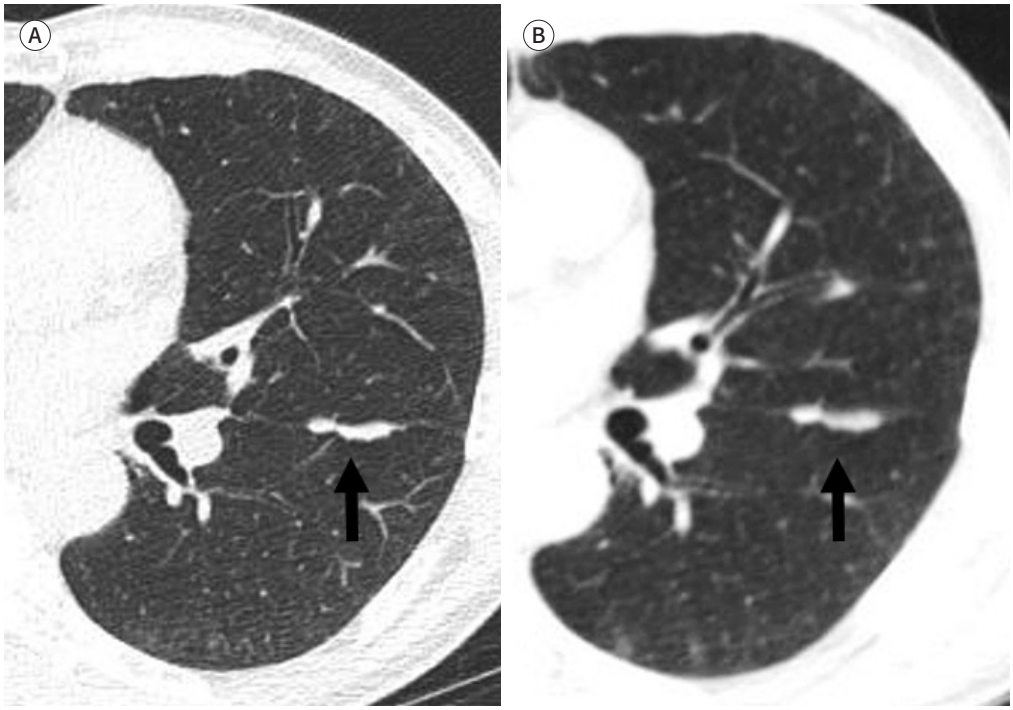
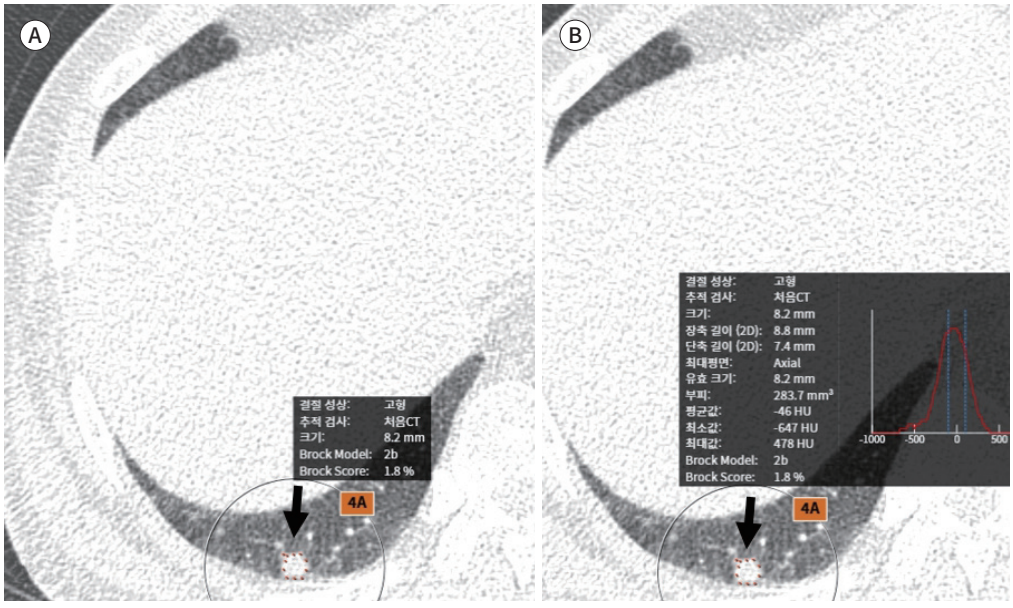


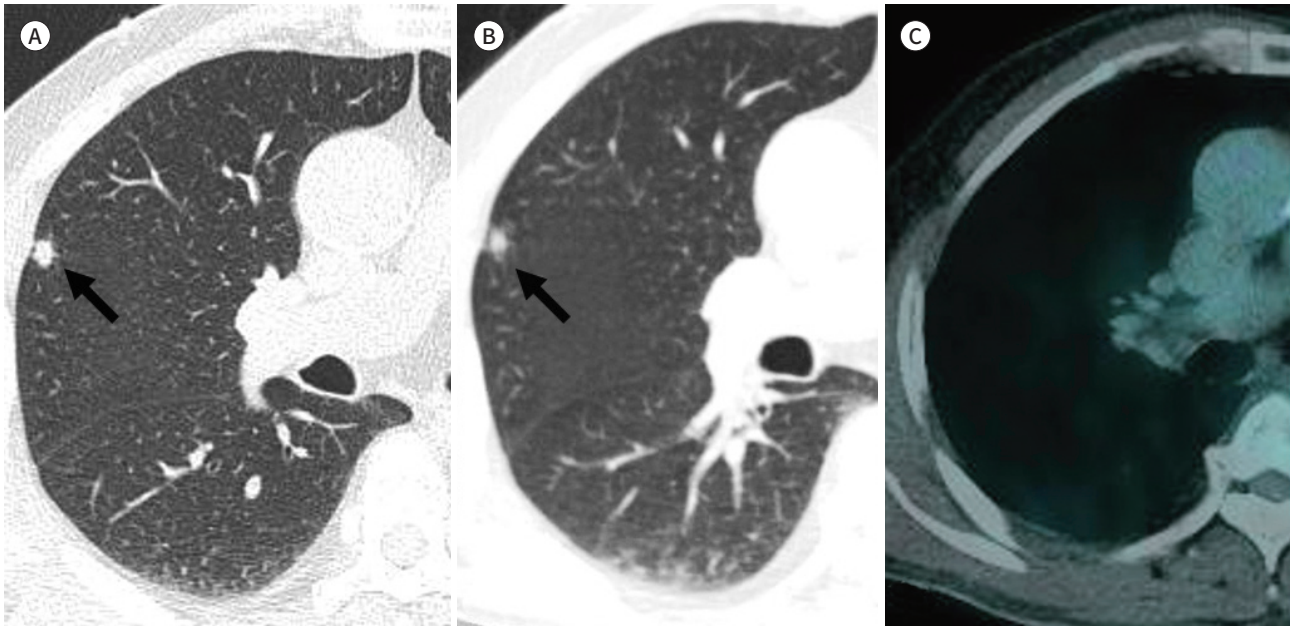
Fig. 3. A 60-year-old male with a 30-pack-year smoking history classified as category 4A in Lung RADS 1.1. and Lung-RADS® 2022.
A, B. If measured two-dimensionally, the nodule of the right lower lobe (A, arrow) is 8.2 mm, and the addition of the volumetric measurement (B) is 283.7 mm^3 (arrow), all of which are category 4A.
Lung-RADS = Lung CT Screening Reporting & Data System



을 때 흉부 CT상 암으로 진단된 경우는 없었다(13). 이러한 연구 결과를 토대로 크기가 10 mm 미만인 엽간열근처 결절은 범주 2로 하고, 10 mm 이상인 경우에만 결절의 크기에 따라 범주를 결정하도록 했다(Fig. 2).

3) 저선량 흉부 CT에서 발견된 결절의 크기를 이차원적 측정(two dimensional measurement)을 한 후 소수점 첫째 자리까지 측정하여 보고하도록 하였고, 이와 더불어 이차원적 측정을 한 후 용량을 측정(volumetric measurement) 하여 추가로 기록하도록 하였다(Fig. 3). Lung-RADS 1.1에서 결절의 용량을 추가로 측정하도록 한 이유는 결절을 이차원적으로 측정하는 방법이 결절의 크기를 측정할 때 일관성(consistency)과 신뢰성(reliability)의 측면에서 문제가 있기 때문이다(14). 특히 악성 결절의 경우 경계면이 불규칙하게 크기가 증가하는 것도 고려되었다. 실제로 Lung-RADS 1.0과 Lung-RADS 1.1에서 추적 저선량 흉부 CT에서 결절의 크기가 1.5 mm 초과 증가된 경우 크기가 증가된 것으로 하지만 추적 저선량 흉부 CT에서 1.73 mm 미만의 크기 증가를 기준으로 하더라고 실제로 크기가 증가된 경우는 5% 이하였다. 그 이유로는 추적 검사에서 발견된 결절의 크기를 측정할 때 1.5 mm 정도의 크기 변화는 측정자들 사이에 통계학적으로 유의미할 정도로 변동성이 있기 때문이다(9). 이를 보완하고자 Lung-RADS 1.1에서 결절의 용량을 추가로 기록하도록 권고하였다. 그러나 K-RADS에서는 아직까지 결절의 용량을 추가로 기록할지에 대해서는 결정되지 않았다. 비록 처음 CT와 추적 CT에서 발견된 결절의 용량을 측정하는 방법에 여전히 문제가 있는 것이 사실이지만, 결절의 크기를 측정할 때 이차원적인 방법이 가지고 있는 문제

Fig. 4. A 62-year-old male with a 30-pack-year smoking history with inflammatory nodule at follow-up CT.
A. There is a 9 mm sized cavitary nodule with spiculated margin (arrow) in right upper lobe. In Lung RADS 1.1 and Lung-RADS® 2022, it is considered as category 4X and 4A, respectively.
B. After one month, on non-enhanced chest CT, the nodule size in the right upper lobe (arrow) reduced from 9 mm to 7 mm, and the nodule border changed from spiculated margin to irregular margin.
C. No FDG uptake was noted on the nodule in the right upper lobe on ^{18}F-FDG PET/CT. Video-assisted thoracic surgery was performed on the right upper lobe nodule, and the pathologic result was high grade glandular hyperplasia.
FDG = fluorodeoxyglucose, Lung-RADS = Lung CT Screening Reporting & Data System



를 보완하고자 Lung-RADS 1.1에서는 결절의 용량을 추가로 측정한 후 기록하도록 권고하였다.

4) 범주 0에 저선량 흉부 CT에서 염증성 또는 감염성 병변으로 생각되는 경우를 포함시켰으며, 저선량 흉부 CT로 1–3개월 추적 검사를 하도록 권고하였다. 저선량 흉부 CT에서 염증성 또는 감염성 병변으로 생각되는 경우로는 분절(segmental) 또는 엽(lobar) 경화, 6개 이상의 새로 생긴 결절, 짧은 기간 내에 생긴 8 mm 이상의 고형 결절, 그리고 임상적으로 면역이 억제된 환자 등에서 새로 생긴 결절로 언급을 하였다(Fig. 4). Lung-RADS 1.0에서는 폐암 검진 저선량 흉부 CT에서 추적 검사 CT 여부와 관계없이 폐암이 의심되는 경우는 범주 4로 한 후 크기와 폐암 가능성에 따라서 4A, 4B, 4X로 구분하였다. 이로 인해 추적 저선량 흉부 CT에서 새로 생긴 염증성 결절이 폐암 의심 범주로 기록이 되는 경우가 생겼다. Zhao 등(15)의 연구에 의하면 NELSON 코호트에서 일부 선별한 770명의 참가자에서 발견된 964개의 불확실한 고형 결절을 분석했을 때, 964개의 결절 중, 75명의 참가자의 97개의 결절이 추적 검사에서 소실되었다. 소실된 결절 중 75%가 3개월 추적 CT상 저절로 없어졌으며, 특히 결절의 위치가 폐 주변(peripheral portion)이 아니면서 8 mm 이상의 크기의 불규칙한 경계면을 가진 결절들이 추적 CT에서 소실되는 경향이 높았다고 보고하였다. 이런 연구를 바탕으로 Lung-RADS® 2022에서는 염증성 또는 감염성 결절은 범주 0으로 하고 저선량 흉부 CT로 1–3개월 추적 검사를 하도록 권고하였다. 사실 염증성 또는 감염성 결절이 추적 검사에서 크기가 감소하거나 소실되는 기간은 다양하기 때문에 1개월로 정한 근거는 아직 분명하지는 않다. 실제로 많은 일시적으로 생긴 결절들이 1개월이 지나도 부분적으로 크기가 감소하기 때문에 젊은 연령에서는 반대로 1개월 후에 폐암 진단을 위해서 추가 검사가 증가할 수도 있다(15, 16). 또한, 저선량 흉부 CT로 판독을 할 때 과거에 촬영했던 영상이 있어서 정확한 판독을 위해서 과거 흉부 CT가 필요한 경우에 과거 흉부 CT와 비교해서 정확한 범주를 결정할 때까지 일시적으로 범주 0으로 하도록 권고를 하였다(8).

5) Lung-RADS® 2022에서는 지금까지 논란이 되어왔던 저선량 흉부 CT에서 보이는 기관지 결절에 대해서 개선을 하였다. Lung-RADS 1.0과 Lung-RADS 1.1에서 기관지내 결절은 범주 4A로 하였으며, 기관지내 가래와 구분하기 어려운 경우가 종종 있었고, 이로 인해 위양성이 증가되는 원인이었다. Lung-RADS® 2022에서 기관지내 결절을 기관지의 위치에 따라 범주를 구분하였으며, 구역기관지가지(subsegmental bronchus) 이하 부위에서 발견된 기관지내 결절은 범주 2로 권고하였고, 기도를 포함한 구역기관지(segmental bronchus) 이상 부위의 고형 기도내 또는 기관지내 결절은 범주 4A로 권고하였다. 범주 4A로 진단된 기도 또는 기관지내 고형 결절은 3개월 후 저선량 흉부 CT로 추적 검사를 해야 하며, 추적 CT에서 변화가 없으면 범주 4B로 결정하고, 기관지 내시경을 하도록 권고하였다(8).

6) 저선량 흉부 CT에서 진단되는 조기 폐암의 경우 APC와 동반되는 경우가 종종 있다. 그러나 Lung-RADS 1.0과 Lung-RADS 1.1에서 이런 경우 폐암이 의심되면 4X로 하도록 했으며, 이로 인해 판독자 간에 혼동을 초래하였다. Lung-RADS® 2022에서는 APC에 대해서 새로운 기준과 권고사항을 제시하였다. 먼저 의미가 있는 폐 낭종의 벽의 두께는 2 mm 기준으로 하였으며, 2 mm 미만의 벽 두께를 보이는 균일한 폐 낭종(uniform thin walled cyst)의 경우는 모두 양성으로 간주했다. Lung-RADS® 2022에 정의한 APC란 2 mm 이상의 균일한 벽 두께를 가진 균일한 낭종(uni-

locular with uniform wall thickness), 2 mm 이상의 비대칭 벽을 가진 낭종(asymmetric wall thickening), 2 mm 이상의 결절성 벽 두께(nodular wall thickening ≥ 2 mm)를 가진 낭종, 벽의 두께와 상관없이 내부중격형성(internal septation)을 가진 폐 낭종 즉 여러칸낭(multilocular cyst)이 해당된다. 처음 저선량 흉부 CT에서 APC는 범주 4A에 해당된다. 추적 저선량 흉부 CT에서 APC의 크기가 증가되거나 음영이 증가되면 4B로 권고하였다. 그러나 과거 CT와 비교했을 때 거의 변화가 없는 APC이면서 평균 직경의 크기가 1년 이내에 1.5 mm 초과 증가되는 경우는 범주 3으로 하고 6개월 추적 관찰을 권고하였다(8).

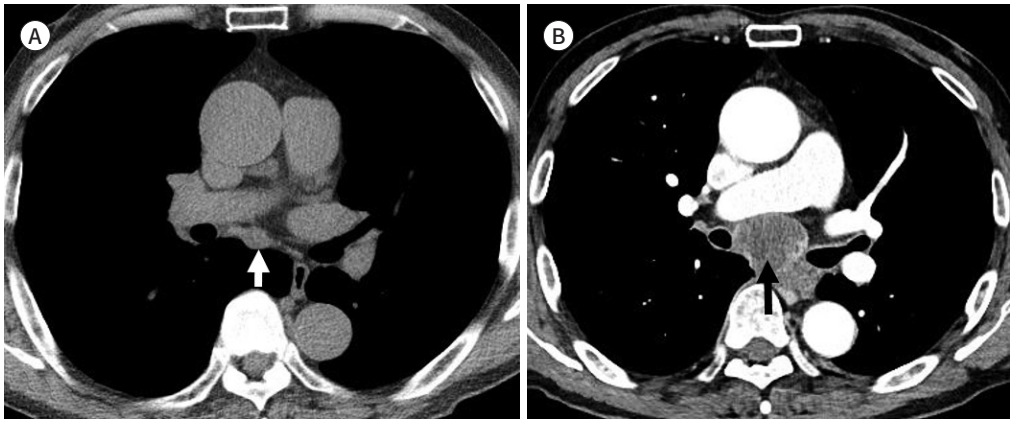
7) Lung-RADS 1.1에서 폐암 검진은 저선량 흉부 CT로 1년마다 추적 검사를 하도록 권고하고 있고, 추적 저선량 흉부 CT에서 결절의 크기 증가의 정의는 1년 전에 촬영한 저선량 흉부 CT를 기준으로 크기가 1.5 mm 초과 증가된 경우로 한다. 이로 인해 천천히 크기가 증가되는 폐암의 경우 1년 이내에 1.5 mm 미만의 크기로 증가되므로 이런 경우 폐암임에도 불구하고 범주 2로 했었다. 그러나 Lung-RADS® 2022에서는 천천히 자라는 결절(slow-growing nodule)에 대한 정의를 1년 이내에는 결절의 크기 증가가 1.5 mm 미만이지만 과거에 촬영된 다수의 저선량 흉부 CT를 비교했을 때 1.5 mm 초과로 크기가 증가된 경우 범주 4B로 간주하고, 추가적인 검사를 하도록 권고하였다.

8) 범주 4X는 판독자가 결절의 크기와 관계없이 모양이나 음영이 폐암이 의심되면 결정할 수가 있다. Lung-RADS® 2022에서는 이 범주에 분명한 전이 결절과 1년 이내 2배로 크기가 증가되는 간유리 결절도 추가를 하였다.

단점 및 진화

Lung-RADS는 국가 폐암 검진을 실행하는 데 있어서 표준화를 유지하고, 높은 질 관리를 얻기 위해 매우 중요한 요건이다. 2014년도, 2019년도, 2022년도에 ACR에서 배포한 Lung-RADS 1.0, Lung-RADS 1.1, 그리고 Lung-RADS® 2022는 국가 폐암 검진이나 폐암의 조기 진단을 위한 전향적 임상 연구를 근거로 만들었다(2, 17-19). 그러나 폐암 검진에 대한 전향적인 임상 연구를 하기 위해서 모집한 대상자들이 국가폐암선별검진을 위해 만든 Lung-RADS의 범주나 폐암의 발생 가능성을 대변할 수 있는 적합한 그룹이 아닐 수도 있다. 실제로 국가폐암선별검진에 참여한 대상자들은 연령이 대부분 젊고, 건강하며, 높은 교육을 받았고, 참여한 인종도 제한적이며, 검사 후 추적 과정 중에 금연을 더 잘하는 경향이 있다. 이런 대상자에서 얻어진 전향적인 임상 결과를 근거로 만들어진 Lung-RADS가 우리나라를 포함한 전 세계의 모든 나라에 일률적으로 적용하는 것은 분명히 한계가 있다. 또한, 실제 외래에서 진료하는 폐암 환자들은 국가 폐암 검진에 참여한 대상자들보다 건강상태가 더 안 좋고, 고흡연자인 경우가 많다. 이런 이유로 최근에 발표된 실제 진료 현장에서 폐암 검진에 대한 연구 결과들이 Lung-RADS 결과와 비교할 때 범주 4 이상의 폐암 발생률이 더 높고, 예후도 더 좋지 않다. Kim 등(20)은 28294명의 퇴역 군인을 대상으로 폐암 검진을 했을 때 Lung-RADS 1.1에서 제시되었던 것보다 범주 3과 4가 2배 더 많았다고 보고하였다. 이런 이유로 Lung-RADS가 실제 진료를 할 때에는 잘 맞지 않은 결과를 초래한다. 그러나 향후 폐암 검진에 대한 국가적인 데이터와 실제 진료 현장의 임상적인 데이터가 쌓이게 될 것이고, 이를 근거로

Fig. 5. A 71-year-old male with a 40-pack-year smoking history diagnosed with lung cancer within a year.
A. In low-dose chest CT, the subcarnial lymph node (arrow) had a short diameter of 6 mm; therefore, it was category 1.
B. After 10 months, a follow-up chest CT with enhancement was performed for chronic cough, and the subcarinal lymph node (arrow) increased to 3 cm and was diagnosed with metastatic neuroendocrine carcinoma.



Lung-RADS는 앞으로 지속적으로 국가 폐암 검진이나 실제 임상에서 적용할 수 있게 개선될 것이다(18, 19, 21, 22).

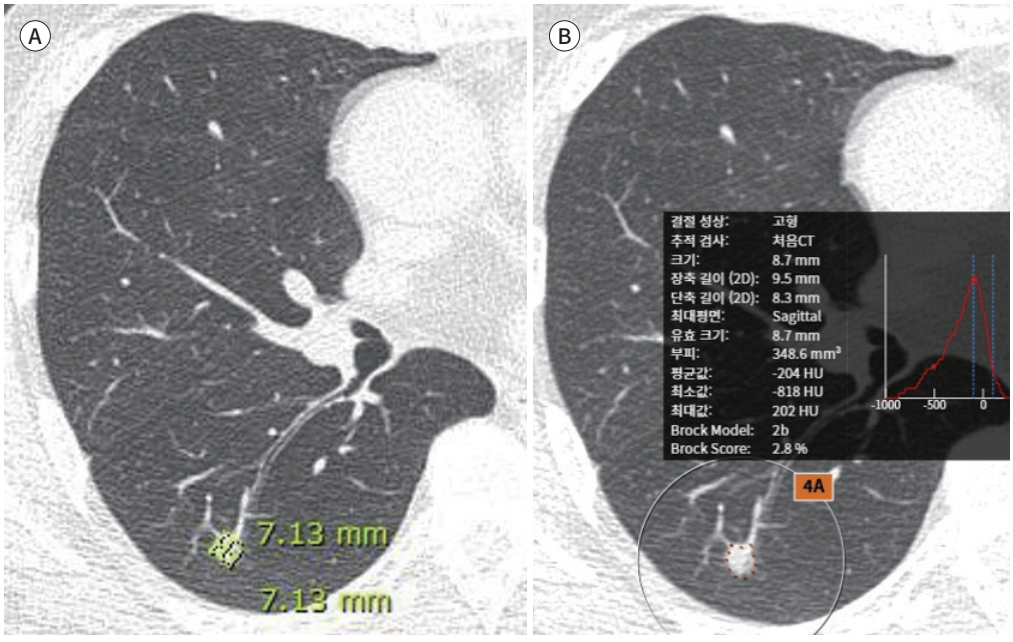
Lung-RADS에서 여전히 논란이 되는 것이 추적 검사 기간이다. Lung-RADS를 사용하는 기본적인 추적 검사 기간은 1년이다(6). 그러나 실제로 폐암의 종류에 따라서 크기가 두 배로 커지는 기간이 매우 다양하기 때문에 처음 저선량 흉부 CT에서 발견된 결절을 모두 1년이란 기간으로 결정해서 추적 검사 CT를 하는 것은 논란의 여지가 있다(Fig. 5) (6, 23). 폐암의 크기가 2배로 되는 기간이 1년 이하가 되는 폐암의 경우나 매우 천천히 자라는 폐암의 경우에 1년마다 추적 검사하는 것이 옳은 것인가 대해서는 여전히 논란의 여지가 있다. Lung-RADS 1.1로 적용을 하면 범주 3에 해당하는 결절이 범주 2로 하향될 수 있고, 범주 2는 음성으로 판단되어서 1년마다 추적 검사를 하도록 권고한다. 이런 경우에 일부 폐암에서는 범주 3으로 판정되어 6개월 추적 검사에서 폐암이 진단될 수 있는 경우가 범주 2로 하향되어 1년 후에 추적 검사를 하게 된다면 폐암 진단이 지연될 가능성도 있다. 아직까지 폐암 검진을 위한 최적의 추적 검사 기간에 대한 의견을 일치하는 것은 매우 어렵다. 따라서 새로 개편된 Lung-RADS® 2022를 통한 지속적인 데이터 축적이 필요하다.

Lung-RADS 1.1은 저선량 흉부 CT상 발견된 결절의 용량을 추가하도록 권고하였다. 폐암 검진에 결절의 용량을 측정하여 범주를 결정하는 방법을 처음 시도한 연구는 NELSON 코호트 연구이다(24, 25). 이 연구에서는 폐 결절을 LungCare software (Version Somaris/5 VB 10A-W)를 이용하여 반자동으로 측정을 하였다. NELSON 코호트 연구에서 결절의 측정을 반자동 소프트웨어를 이용해서 측정했던 이유는 Lung-RADS에서 범주 3 정도에 해당하는 참가자들, 즉 양성과 악성을 결정하기에 모호한 크기의 결절들에 대해서 추적 검사를 감소시키는 것이 목적이었다. van Klaveren 등(25)에 의하면 7557명의 참가자를 대상으로 1, 2, 4년 동안 3회에 걸쳐서 폐 결절의 용량을 측정하는 방법으로 저선량 흉부 CT 폐암 검진을 했을 때 폐암 양성률이 각각 2.6%와 1.8%로 폐암 양성률이 감소하였다. 따라서 폐 결절의 용량을 측정하는 것이 폐암 검진에서 불필요한 추적 검사를 감소시킬 수 있다고 했다. 그러나 여전히 결절의 용량을 추가하는 것이 범주를 결정하고

관리하는 데 도움이 되는가에 대해서는 논란이 있다. 반복적으로 언급하지만, Lung-RADS는 폐암 검진에서 저선량 흉부 CT상 발견되는 결절의 크기를 근거로 범주를 결정하도록 되어 있어서 영상의학과 전문의들이 저선량 흉부 CT에서 발견한 결절을 정확히 이차원적으로 측정하는 것이 매우 중요하다. 그러나 결절을 이차원적으로 측정했을 때 측정자들 사이에 상당한 변이가 있다는 것은 잘 알려져 있다(9, 14). van Riel 등(14)이 NELSON 연구에서 120명의 저선량 흉부 CT를 임의로 선택해서 8명의 영상의학과 전문이들에게 결절을 측정해 보도록 했을 때 측정자들 사이의 일치도는 $\kappa = 0.51$ 정도로 중간 정도의 일치를 보였으나 부분 고형 결절의 경우 일치도가 매우 낮았다($p = 0.012$와 $p < 0.001$). 특히 불일치 결절(discordant nodule)로 분류된 경우는 36.4% (1630/4480)나 되었고, 이것은 저선량 흉부 CT에서 발견된 결절의 관리에 매우 중요한 영향을 초래한다고 보고하였다. 또한, 측정자들의 측정 방법에 차이 이외에도 촬영할 때 환자의 흡기 정도, 촬영 후 절편 두께에 따라 CT상 결절의 크기가 변한다(26). 이런 촬영과 관련된 문제는 주로 처음 CT와 추적 CT의 비교에서 결절의 크기 변화를 결정할 때 생긴다. 이와 같은 촬영과 관련된 내재된 문제를 해결하는 것은 매우 어려운 것이 사실이다. 그러나 Lung-RADS 1.0에 내재되어 있는 결절 측정 방법의 오류를 어느 정도 해결하고자 Lung-RADS 1.1에서 결절의 용량도 추가할 수 있도록 권고한 것이다.

폐암 검진 저선량 흉부 CT에서 발견된 결절의 용량을 추가로 기술하기 위해서는 반자동 또는 자동으로 결절의 용량을 측정할 수 있는 소프트웨어가 필요하다. 흉부 CT에서 발견된 결절을 소

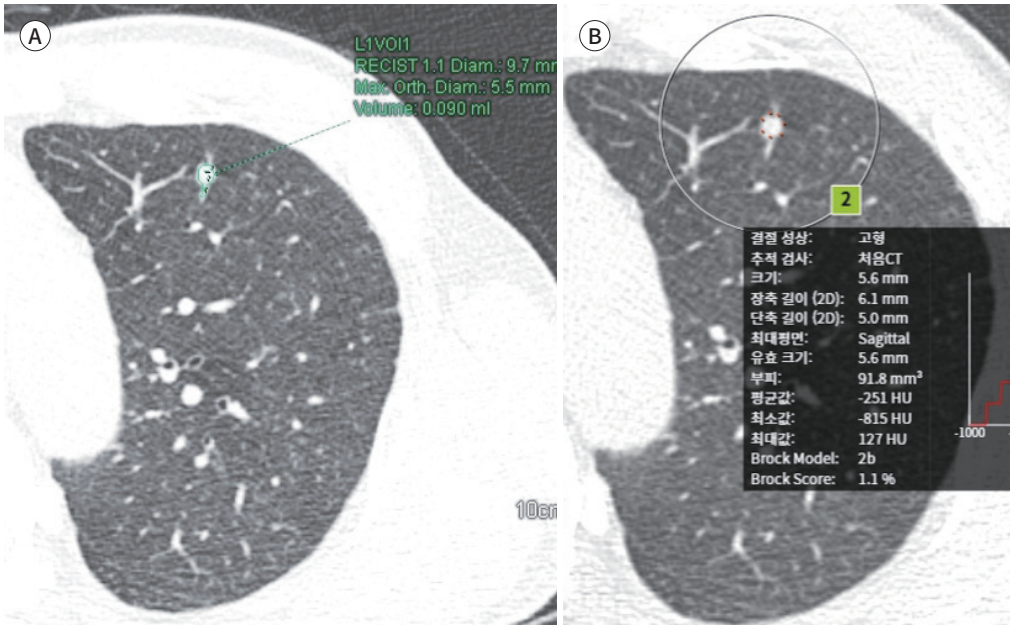
Fig. 6. A 62-year-old male with a 42-pack-year smoking history classified as category 3 in Lung RADS 1.1 and Lung-RADS® 2022.
A. If measured two-dimensionally, there is a solid nodule with an irregular margin of 7.1 mm in right lower lobe. In Lung RADS 1.1 and Lung-RADS® 2022, it is categorized as Lung-RADS 3.
B. If measured three-dimensionally, the same solid nodule is measured at 8.7 mm. In Lung RADS 1.1 and Lung-RADS® 2022, it is considered as category 4A. Consequently, the Lung-RADS for this nodule and false positive increased.
Lung-RADS = Lung CT Screening Reporting & Data System



프트웨어를 이용하여 삼차원적으로 측정하는 것이 더 측정자 간의 변이가 작다는 연구가 있다(27). 최근까지 결절을 측정할 수 있는 다양한 소프트웨어가 개발되어왔고, 일부 연구에서는 이런 소프트웨어를 이용하여 흉부 CT에서 발견된 결절을 측정함으로써 임상적인 유용성에 대해서 연구 결과를 보고했다(28, 29). 소프트웨어를 이용하면 쉽게 결절의 용량을 알 수 있기 때문에 Lung-RADS 1.1의 권고안을 적용할 수 있다. 하지만 결절을 삼차원으로 측정할 때 이차원적인 측정 방법보다 결절의 크기를 과하게 측정할 수도 있고, 측정 방법에 따른 변이는 발생할 수 있다(6, 14, 26-28). 특히 결절의 경계가 불규칙(irregular) 하거나 뾰족한 경우(speculated)에는 이차원적인 방법에 비해서 삼차원적인 방법이 더 변이 차이가 크다(Fig. 6) (6). 결절의 삼차원적인 측정 방법은 소프트웨어를 이용하기 때문에 측정자 간의 결절 측정 변이는 감소할 수 있지만 개발된 소프트웨어 간에 결절을 측정하는 방법의 차이가 여전히 존재하므로 개발된 소프트웨어들의 검증이 없다면 결절 측정의 오류를 해결할 수는 없다. 또한, 영상의학과 의사가 개발된 소프트웨어를 모니터링을 해야 하는 기간도 필요하며, 개발된 소프트웨어가 팍스에 연동이 되어 영상의학과 의사들이 쉽게 이용할 수 있는 기술적인 개선이 요구된다(Fig. 7). 결국 영상의학과 의사들이 폐 결절 용량을 측정하기 위해 소프트웨어를 이용할 수 없다면 Lung-RADS 1.1에서 결절의 용량을 추가로 기록하는 권고안을 받아들이기에는 매우 어렵다.

폐암 검진 저선량 흉부 CT에서 발견된 공동 결절(cavitory nodule)은 어떻게 측정을 해야 하는

Fig. 7. Verification of variation in three-dimensional measurement of nodule in Lung-RADS 1.1 and Lung-RADS® 2022 using two different softwares.
A. The left upper lobe nodule on low-dose chest CT is 5.5 mm in diameter and 90 mm^3 in volume if measured using software, which is category 2.
B. If the same left upper lobe nodule is measured using another software, it is 5.6 mm in diameter and 91.8 mm^3 in volume, which is category 2. In monitoring the same nodule measurement using two different softwares, there is a slight difference in the diameter and volume, but the category is the same.
Lung-RADS = Lung CT Screening Reporting & Data System



지에 대해서 Lung-RADS 1.1에서 특별히 언급은 하고 있지 않았지만 Lung-RADS® 2022에서는 전체 평균 직경을 측정한 후 고형 결절과 같은 방법으로 관리하도록 권고하였다. 공동 결절은 증상이 있는 환자의 경우에 혈관염(vasculitis), 염증성 질환(infectious disease), 폐 전이 결절(metastatic nodule)에서 볼 수 있지만 폐암에서도 12%–22% 정도에서 공동(cavity)을 동반한다(30). 그러나 폐암 검진 저선량 흉부 CT에서는 대부분 참가자가 무증상이므로 공동 결절은 더 적으며, 폐암의 경우도 5.5% 정도 발견이 된다는 보고가 있다(31). 폐암 검진 저선량 흉부 CT에서 공동 결절이 발견되었을 때 고형 결절로 간주하고 크기를 측정하도록 권고를 했지만, 벽의 두께를 측정을 해서 양성과 악성을 분류해야 하는지에 대해서 여전히 논의가 되고 있다. 그 이유로는 지금까지 발표된 공동을 동반한 폐암에 관한 연구들의 결과가 다양하기 때문이다. 공동 결절에서 벽의 두께가 두꺼울수록 폐암의 가능성이 있지만 어느 정도의 두께부터 폐암일 가능성이 있는지에 대한 연구에서는 양성 결절과 악성 결절이 서로 겹치고, 일부 논문에서는 벽의 두께가 양성과 악성을 나누는 기준이 될 수 없다는 연구도 있다(30, 32-34). 현재 Lung-RADS 1.1에서는 발견된 공동 결절의 내부 두께가 불규칙적으로 두껍고(irregular inner wall thickening), 주변에 중심엽 결절들(centrilobular nodules)이 없으며, 공동 결절을 둘러싸고 있는 만성 섬유성 변화가 없으면 폐암

Fig. 8. A 72-year-old male with a 40-pack-year smoking history with atypical pulmonary cyst.
A. In the initial low-dose chest CT, 6 mm sized nodules and thin-walled cyst with 2 mm sized mural nodule (arrow) are present in the right upper lobe. Lung-RADS 1.1 does not provide a criterion on methods to measure the size of the cyst nodule, but the overall size of the nodule, including cyst, is 6 mm, which can be considered category 2. However, in Lung-RADS® 2022, this atypical pulmonary cyst can be considered category 3.
B. After one year, if a follow-up examination was performed with low-dose chest CT, the cystic nodule in right upper lobe increased to 12.2 mm, and the thin walled cyst changed to the thickened irregular walled cavity with inner nodules (arrow). In Lung-RADS 1.1, it is considered as category 4X. However, the growing atypical pulmonary cyst can be considered as category 4B in Lung-RADS® 2022.
Lung-RADS = Lung CT Screening Reporting & Data System

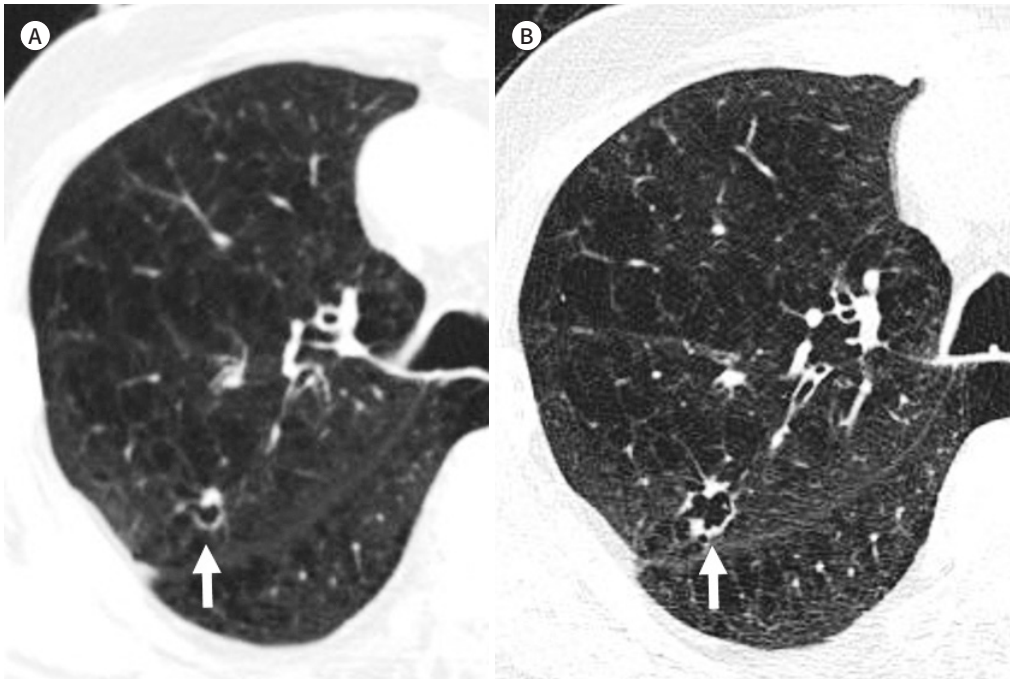
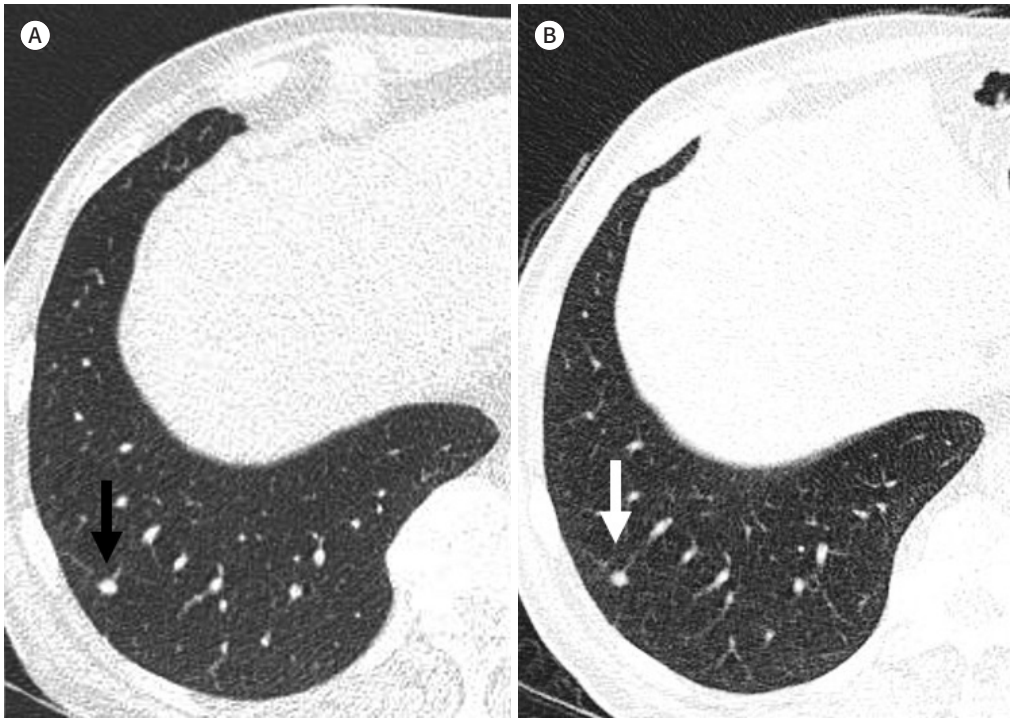


Fig. 9. A 62-year-old male with a 30-pack-year smoking history and a subpleural nodule.
A. In the initial low-dose chest CT, there is a 6 mm round nodule (arrow) in the right lower lobe. In Lung-RADS 1.1, it is considered as category 3. However, the solid nodule can be considered as category 2 in Lung-RADS® 2022.
B. After two years, the size of the right lower lobe nodule (arrow) reduced to 5 mm in follow-up low-dose chest CT, and its shape changed from round to circular.
Lung-RADS = Lung CT Screening Reporting & Data System



일 가능성이 높기 때문에 크기에 관계없이 범주 4x로 간주하도록 하였다(Fig. 8). 그러나 Lung-RADS® 2022에서 공동 결절의 크기는 고형 결절에 준해서 범주를 결정하도록 권고하였기 때문에 범주 2부터 범주 4까지 다양하게 나올 가능성이 있다. 따라서 향후 이에 대한 데이터가 축적이 되면 공동 결절에 대한 범주나 관리는 재논의가 필요할 것으로 생각된다.

6–10 mm 이하의 엽간열근처 결절들 중 타원형 또는 삼각형 모양의 경계가 분명한 고형 결절은 거의 폐내림프절이다. 이런 결절들은 거의 양성이고, 설사 악성이더라도 매우 천천히 커진다. 따라서 Lung-RADS 1.1에서는 이런 결절의 경우 범주 2로 하도록 권고하고 있다(13, 35, 36). 그러나 6–10 mm 크기의 늑막하 결절에 대해서는 어떻게 할 것인가에 대해서 Lung-RADS 1.1에서는 언급하고 있지 않았었다. 늑막하 결절의 경우 폐내림프절(intrapulmonary lymph node), 흉막석회(pleural plaque), 국소 흉터(focal scar), 전암(premalignant) 또는 암(malignant) 등 다양한 원인이 있으며, 늑막하결절의 18% 정도에서 폐내림프절로 진단되었다(36, 37). 그러나 다각형 모양의 고형 결절이 늑막하에 있는 경우 대부분이 양성이다(37). 따라서 이런 결절들은 엽간열근처의 결절들처럼 범주 2로 고려해야 한다. Lung-RADS® 2022에서는 이러한 문제점을 해결하고자 갈비가슴막(costal pleural), 종격동과 횡격막 주변의 결절을 늑막엽 결절에 포함하도록 하였으며, 크기가 10 mm 미만이면 범주 2로 권고하였다(Fig. 9). 그러나 아직까지 갈비가슴막 결절들에 대한 데

이터가 부족해서 위음성이 증가될 수 있다.

결론

저선량 흉부 CT를 이용한 폐암 검진은 폐암을 조기 발견함으로써 폐암의 생존율을 감소시킬 수 있는 것은 분명하다. 이때 반드시 필요한 것이 폐암 검진을 시행하는 저선량 흉부 CT에 대한 판독의 질을 지속적으로 관리하는 것이다. Lung-RADS 1.0에서 Lung-RADS 1.1 그리고 Lung-RADS® 2022로 개선되면서 저선량 흉부 CT로 폐암 검진을 시행할 때 판독의 질 관리를 하는데 많은 변화가 생겼다. 범주 2, 3, 4A에서 결절의 성상과 크기 변화에서 폐암 진단의 위양성을 감소시키는 방향으로 보완되고, 측정자 간의 변이를 감소시키고자 결절의 용적을 추가하도록 하였다. 또한 기관지 결절과 비정형 폐 낭종에 대한 범주와 관리를 추가함으로써 판독자 간에 편차나 폐암의 위양성을 감소하는 방향으로 개선하였다. 결과적으로 Lung-RADS 1.1과 Lung-RADS® 2022는 폐암 검진 저선량 흉부 CT를 판독하는 영상의학과 의사들이 Lung-RADS 1.0에 근거해서 결절의 범주를 결정할 때 혼동이 되었던 점들을 개선함으로써 임상적으로 좀 더 유연하게 대응할 수 있도록 했다. 물론 Lung-RADS® 2022가 여전히 결절의 크기 측정 방법, 크기 변화에 따른 범주 결정, 판독자들 간의 변이 등을 완벽하게 해결할 수는 없지만 향후 Lung-RADS® 2022를 이용해서 저선량 흉부 CT 판독에 대한 질 관리를 하고, 이를 통해서 축적된 데이터를 지속적으로 분석하게 된다면 더 개선된 Lung-RADS가 나올 것으로 예상된다.

Conflicts of Interest

The author has no potential conflicts of interest to disclose.

Funding

None

REFERENCES

1. Kang MJ, Won YJ, Lee JJ, Jung KW, Kim HJ, Kong HJ, et al. Cancer statistics in Korea: incidence, mortality, survival, and prevalence in 2019. *Cancer Res Treat* 2022;54:330-344
2. Aberle DR, Adams AM, Berg CD, Black WC, Clapp JD, Fagerstrom RM, et al. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *N Engl J Med* 2011;365:395-409
3. Lee J, Kim Y, Kim HY, Goo JM, Lim J, Lee CT, et al. Feasibility of implementing a national lung cancer screening program: interim results from the Korean Lung Cancer Screening Project (K-LUCAS). *Transl Lung Cancer Res* 2021;10:723-736
4. Lee J, Lim J, Kim Y, Kim HY, Goo JM, Lee CT, et al. Development of protocol for Korean Lung Cancer Screening Project (K-LUCAS) to evaluate effectiveness and feasibility to implement national cancer screening program. *Cancer Res Treat* 2019;51:1285-1294
5. Kastner J, Hossain R, Jeudy J, Dako F, Mehta V, Dalal S, et al. Lung-RADS version 1.0 versus lung-RADS version 1.1: comparison of categories using nodules from the national lung screening trial. *Radiology* 2021;300:199-206
6. Chelala L, Hossain R, Kazerooni EA, Christensen JD, Dyer DS, White CS. Lung-RADS version 1.1: challenges and a look ahead, from the AJR special series on radiology reporting and data systems. *AJR Am J Roentgenol* 2021;216:1411-1422
7. American College of Radiology. Lung CT screening reporting & data system (Lung-RADS®, version 1.1). Avail-

able at. https://www.acr.org/Clinical-Resources/Reporting-and-Data-Systems/Lung-Rads. Accessed September 10, 2022
8. American College of Radiology. Lung CT screening reporting & data system (Lung-RADS®). Available at. https://www.acr.org/Clinical-Resources/Reporting-and-Data-Systems/Lung-Rads. Accessed December 1, 2022
9. Dyer SC, Bartholmai BJ, Koo CW. Implications of the updated lung CT screening reporting and data system (lung-RADS version 1.1) for lung cancer screening. *J Thorac Dis* 2020;12:6966-6977
10. de Hoop B, Gietema H, van de Vorst S, Murphy K, van Klaveren RJ, Prokop M. Pulmonary ground-glass nodules: increase in mass as an early indicator of growth. *Radiology* 2010;255:199-206
11. Tang EK, Chen CS, Wu CC, Wu MT, Yang TL, Liang HL, et al. Natural history of persistent pulmonary subsolid nodules: long-term observation of different interval growth. *Heart Lung Circ* 2019;28:1747-1754
12. Ahn MI, Gleeson TG, Chan IH, McWilliams AM, Macdonald SL, Lam S, et al. Perifissural nodules seen at CT screening for lung cancer. *Radiology* 2010;254:949-956
13. de Hoop B, van Ginneken B, Gietema H, Prokop M. Pulmonary perifissural nodules on CT scans: rapid growth is not a predictor of malignancy. *Radiology* 2012;265:611-616
14. van Riel SJ, Sánchez CI, Bankier AA, Naidich DP, Verschakelen J, Scholten ET, et al. Observer variability for classification of pulmonary nodules on low-dose CT images and its effect on nodule management. *Radiology* 2015;277:863-871
15. Zhao YR, Heuvelmans MA, Dorrius MD, van Ooijen PM, Wang Y, de Bock GH, et al. Features of resolving and nonresolving indeterminate pulmonary nodules at follow-up CT: the NELSON study. *Radiology* 2014;270:872-879
16. Lee SM, Park CM, Goo JM, Lee CH, Lee HJ, Kim KG, et al. Transient part-solid nodules detected at screening thin-section CT for lung cancer: comparison with persistent part-solid nodules. *Radiology* 2010;255:242-251
17. Henschke CI, Yip R, Yankelevitz DF, Smith JP; International Early Lung Cancer Action Program Investigators. Definition of a positive test result in computed tomography screening for lung cancer: a cohort study. *Ann Intern Med* 2013;158:246-252
18. Aberle DR, Adams AM, Berg CD, Clapp JD, Clingan KL, Gareen IF, et al. Baseline characteristics of participants in the randomized national lung screening trial. *J Natl Cancer Inst* 2010;102:1771-1779
19. Núñez ER, Caverly TJ, Zhang S, Glickman ME, Qian SX, Boudreau JH, et al. Adherence to follow-up testing recommendations in US veterans screened for lung cancer, 2015-2019. *JAMA Netw Open* 2021;4:e2116233
20. Kim RY, Rendle KA, Mitra N, Saia CA, Neslund-Dudas C, Greenlee RT, et al. Racial disparities in adherence to annual lung cancer screening and recommended follow-up care: a multicenter cohort study. *Ann Am Thorac Soc* 2022;19:1561-1569
21. Núñez ER, Gould MK, Wiener RS. Time to update lung-RADS v1.1? Incorporating evidence from recent observational studies. *J Am Coll Radiol* 2022 Aug 12 [Epub]. https://doi.org/10.1016/j.jacr.2022.06.010
22. Mendoza DP, Petranovic M, Som A, Wu MY, Park EY, Zhang EW, et al. Lung-RADS category 3 and 4 nodules on lung cancer screening in clinical practice. *AJR Am J Roentgenol* 2022;219:55-65
23. Mackintosh JA, Marshall HM, Yang IA, Bowman RV, Fong KM. A retrospective study of volume doubling time in surgically resected non-small cell lung cancer. *Respirology* 2014;19:755-762
24. Ru Zhao Y, Xie X, de Koning HJ, Mali WP, Vliegenthart R, Oudkerk M. NELSON lung cancer screening study. *Cancer Imaging* 2011;11 Spec No A:S79-S84
25. van Klaveren RJ, Oudkerk M, Prokop M, Scholten ET, Nackaerts K, Vernhout R, et al. Management of lung nodules detected by volume CT scanning. *N Engl J Med* 2009;361:2221-2229
26. Oxnard GR, Zhao B, Sima CS, Ginsberg MS, James LP, Lefkowitz RA, et al. Variability of lung tumor measurements on repeat computed tomography scans taken within 15 minutes. *J Clin Oncol* 2011;29:3114-3119
27. Petrick N, Kim HJ, Clunie D, Borradaile K, Ford R, Zeng R, et al. Comparison of 1D, 2D, and 3D nodule sizing methods by radiologists for spherical and complex nodules on thoracic CT phantom images. *Acad Radiol* 2014;21:30-40
28. Wang Y, van Klaveren RJ, van der Zaag-Loonen HJ, de Bock GH, Gietema HA, Xu DM, et al. Effect of nodule characteristics on variability of semiautomated volume measurements in pulmonary nodules detected in a lung cancer screening program. *Radiology* 2008;248:625-631
29. Bankier AA, MacMahon H, Goo JM, Rubin GD, Schaefer-Prokop CM, Naidich DP. Recommendations for measuring pulmonary nodules at CT: a statement from the Fleischner Society. *Radiology* 2017;285:584-600
30. Giacomelli IL, Barros M, Pacini GS, Altmayer S, Zanon M, Dias AB, et al. Multiple cavitary lung lesions on CT: im-

aging findings to differentiate between malignant and benign etiologies. *J Bras Pneumol* 2020;46:e20190024
31. Wagnetz U, Menezes RJ, Boerner S, Paul NS, Wagnetz D, Keshavjee S, et al. CT screening for lung cancer: implication of lung biopsy recommendations. *AJR Am J Roentgenol* 2012;198:351-358
32. Watanabe Y, Kusumoto M, Yoshida A, Shiraishi K, Suzuki K, Watanabe SI, et al. Cavity wall thickness in solitary cavitary lung adenocarcinomas is a prognostic indicator. *Ann Thorac Surg* 2016;102:1863-1871
33. Fintelmann FJ, Brinkmann JK, Jeck WR, Troschel FM, Digumarthy SR, Mino-Kenudson M, et al. Lung cancers associated with cystic airspaces: natural history, pathologic correlation, and mutational analysis. *J Thorac Imaging* 2017;32:176-188
34. Honda O, Tsubamoto M, Inoue A, Johkoh T, Tomiyama N, Hamada S, et al. Pulmonary cavitary nodules on computed tomography: differentiation of malignancy and benignancy. *J Comput Assist Tomogr* 2007;31:943-949
35. Kradin RL, Spirn PW, Mark EJ. Intrapulmonary lymph nodes. Clinical, radiologic, and pathologic features. *Chest* 1985;87:662-667
36. Xu DM, van der Zaag-Loonen HJ, Oudkerk M, Wang Y, Vliegenthart R, Scholten ET, et al. Smooth or attached solid indeterminate nodules detected at baseline CT screening in the NELSON study: cancer risk during 1 year of follow-up. *Radiology* 2009;250:264-272
37. Takashima S, Sone S, Li F, Maruyama Y, Hasegawa M, Kadoya M. Indeterminate solitary pulmonary nodules revealed at population-based CT screening of the lung: using first follow-up diagnostic CT to differentiate benign and malignant lesions. *AJR Am J Roentgenol* 2003;180:1255-1263

영상의학에서 폐영상 판독과 자료체계: 강점, 단점, 그리고 개선

진공용*

미국방사선의학회는 효과적인 국가 폐암 검진 시행을 위해 2019년도에 Lung CT Screening Reporting & Data System (이하 Lung-RADS) 1.0보다 폐암의 위양성을 줄이기 위해 개편된 Lung-RADS 1.1을 발표하였고, 2022년 12월에 새로운 Lung-RADS 1.1 개선안 Lung-RADS® 2022를 발표하였다. Lung-RADS® 2022은 Lung-RADS 1.0과 비교했을 때 결절의 크기는 소수점 첫째 자리까지 측정하고, 늑막근처 결절의 크기가 10 mm 미만인 경우까지 범주 2로 하며, 범주 2에서 간유리 결절의 크기 기준을 30 mm로 높이고, 범주 4B와 4X는 매우 의심으로 변경하며, 기도 결절의 위치와 비정형 폐 낭종의 형태와 벽 두께에 따라 범위를 나누었다. 이에 영상의학과 의사들의 개선된 Lung-RADS® 2022에 대한 이해를 돕고자, 이 종설에서는 Lung-RADS® 2022의 장점, 단점, 그리고 향후 개선점에 대해서 기술하고자 한다.

전북대학교 의과대학 전북대학교병원 임상의학연구소-의생명연구원, 영상의학과