



Korean Clinical Imaging Guidelines for Justification of Diagnostic Imaging Study for COVID-19

한국형 COVID-19 흉부영상 진단 시행 가이드라인

Kwang Nam Jin, MD¹ , Kyung-Hyun Do, MD² , Bo Da Nam, MD³ ,
Sung Ho Hwang, MD⁴ , Miyoung Choi, RN⁵ , Hwan Seok Yong, MD^{6*} 

¹Department of Radiology, Seoul Metropolitan Government-Seoul National University Boramae Medical Center, Seoul, Korea

²Department of Radiology and Research Institute of Radiology, University of Ulsan College of Medicine, Asan Medical Center, Seoul, Korea

³Department of Radiology, Soonchunhyang University Hospital, Seoul, Korea

⁴Department of Radiology, Korea University Anam Hospital, Seoul, Korea

⁵Division for Healthcare Technology Assessment Research, National Evidence-Based Healthcare Collaborating Agency, Seoul, Korea

⁶Department of Radiology, Korea University Guro Hospital, Seoul, Korea

To develop Korean coronavirus disease (COVID-19) chest imaging justification guidelines, eight key questions were selected and the following recommendations were made with the evidence-based clinical imaging guideline adaptation methodology. It is appropriate not to use chest imaging tests (chest radiograph or CT) for the diagnosis of COVID-19 in asymptomatic patients. If reverse transcription-polymerase chain reaction testing is not available or if results are delayed or are initially negative in the presence of symptoms suggestive of COVID-19, chest imaging tests may be considered. In addition to clinical evaluations and laboratory tests, chest imaging may be contemplated to determine hospital admission for asymptomatic or mildly symptomatic non-hospitalized patients with confirmed COVID-19. In hospitalized patients with confirmed COVID-19, chest imaging may be advised to determine or modify treatment alternatives. CT angiography may be considered if hemoptysis or pulmonary embolism is clinically suspected in a patient with confirmed COVID-19. For COVID-19 patients with improved symptoms, chest imaging is not recommended to make decisions regarding hospital discharge. For patients with functional impairment after recovery from COVID-19, chest imaging may be considered to distinguish a potentially treatable disease.

Index terms COVID-19; Thorax; Guideline; Consensus; Radiology

Received June 22, 2021
Revised September 10, 2021
Accepted September 17, 2021

***Corresponding author**

Hwan Seok Yong, MD
Department of Radiology,
Korea University Guro Hospital,
148 Gurodong-ro, Guro-gu,
Seoul 08308, Korea.

Tel 82-2-2626-1342

Fax 82-2-863-9282

E-mail yhwanseok@naver.com

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.

ORCID iDs

Kwang Nam Jin 

<https://orcid.org/0000-0001-5494-9113>

Kyung-Hyun Do 

<https://orcid.org/0000-0003-1922-4680>

Bo Da Nam 

<https://orcid.org/0000-0001-7822-6104>

Sung Ho Hwang 

<https://orcid.org/0000-0003-1850-0751>

Miyoung Choi 

<https://orcid.org/0000-0002-2424-9965>

Hwan Seok Yong 

<https://orcid.org/0000-0003-0247-8932>

권고 개발 배경

흉부 질환의 영상 진단에 있어 가장 많이 사용되는 영상 기법은 흉부X선검사(chest X-ray; 이하 CXR)와 전산화단층촬영(이하 CT)이다. COVID-19는 수차례 대유행을 거치면서 지속되고 있으며 COVID-19 폐렴 진단과 환자 모니터링을 위한 진단검사로 흉부X선사진과 CT가 영상검사로 널리 활용되고 있다. 하지만 의료 방사선 피폭이 수반되기 때문에 임신부나 소아 등의 방사선에 민감한 환자군이나 반복적인 검사가 필요한 환자군에 있어서는 사용에 주의를 기울여야 한다. 또한 COVID-19 의심 또는 확진 환자에서 흉부영상검사의 적절한 활용에 대해 한국 의료 실정에 맞게 체계적으로 정리한 진료지침이 없는 상황이다. 불필요한 검사를 줄이고 치료와 관리에 유용한 영상검사 시행을 위해 한국 실정에 맞는 COVID-19 흉부영상 진단 가이드라인이 필요하다. 개발위원회, 실무위원회, 전문가협의체의 의견을 수렴하여 흉부영상검사의 적절한 활용에 대한 지침을 마련함으로써 흉부영상검사의 정당성을 확보하고자 본 권고안을 개발하였다.

진료지침 개발 과정

권고안은 이미 개발되어 있는 국외 가이드라인 및 임상적 의사결정 지원도구를 근거로 하여 임상진료지침 개발 방법 중 수용개작(adaptation) 방법을 활용하여 가이드라인을 개발하였다(1).

핵심 질문 선정

유관 학회의 자유로운 의견을 반영하여 실무위원회에서 일차 작성한 핵심 질문에 대해 개발위원회와 전문가 협의체의 자문을 받아 수정 후 최종 8개의 문장형 핵심 질문을 선정하였다. 최종 선정된 핵심 질문 8개는 다음과 같다.

핵심 질문 1. COVID-19 확진자와 접촉한 사람에 대하여 reverse transcription polymerase chain reaction (이하 RT-PCR) 검사를 이용할 수 없거나 결과가 지연되는 경우 COVID-19의 진단 과정에 흉부영상검사(CXR, CT)를 사용해야 합니까?

핵심 질문 2. COVID-19가 의심되는 증상이 있는 환자에 대하여 RT-PCR 검사를 이용할 수 없거나, 결과가 지연되는 경우, 또는 RT-PCR 검사와 함께 COVID-19의 진단 과정에 흉부영상검사(CXR, CT)를 사용해야 합니까?

핵심 질문 3. COVID-19가 확인된 무증상 또는 경미한 증상이 있는 입원하지 않은 환자에게 흉부영상검사(CXR, CT)를 사용해야 합니까?

핵심 질문 4. COVID-19가 확인된 입원 환자의 증상의 경중 및 위험요인의 유무에 따라 흉부영상검사(CXR, CT)를 사용해야 합니까?

핵심 질문 5. COVID-19가 확인된 입원 환자가 치료 방법을 결정하거나 수정하는데 흉부영상검사(CXR, CT)를 사용해야 합니까?

핵심 질문 6. COVID-19가 확인된 환자에서 임상적으로 객혈 또는 폐색전증이 의심되는 경우 영

상검사(CT 폐혈관조영술, CT하지정맥조영술 등)를 사용해야 하나?

핵심 질문 7. 증상이 호전된 COVID-19 환자의 경우, 병원 퇴원에 대한 결정을 하는데 흉부영상 검사(CXR, CT)를 추가해야 하나?

핵심 질문 8. COVID-19에서 회복된 환자를 추적 검사할 때 폐 손상 여부를 평가하기 위하여 흉부영상검사(CXR, CT)를 사용해야 하나?

진료지침 검색 전략

진료지침의 검색에는 국외 및 국내 문헌 검색 데이터베이스와 해외 진료지침 관련 사이트를 모두 활용하였다. 국외 데이터베이스로는 Ovid-MEDLINE, Ovid-EMBASE, Guideline International Network를, 국내 데이터베이스로는 KoreaMed, KMBASE, Korean Medical Guideline Information Center (KoMGI)를 활용하였다. 실무위원회에서 검색 결과를 검토한 후 누락된 가이드라인은 수기 검색을 통해 보완하였다.

진료지침 선별 및 선정

핵심 질문 1-8에 대해 중복을 제거하고 각각 총 101(국외 DB 95, 국내 DB 6) 건의 지침이 검색되었다. 검색된 지침들은 2인 이상의 실무위원이 제목 및 초록 내용을 검토하여 핵심 질문과 직접적인 관련이 있는 문헌들만 1차 선별하고 수기 검색으로 13건의 지침을 추가하였다. 1차 선택된 지침들은 원문을 검토하여 미리 설정한 배제기준에 따라 2차 선택/배제 과정을 거쳤다. 최종 6건의 문헌이 선택되었다(Supplementary Fig. 1 in the online-only Data Supplement).

진료지침의 질 평가

진료지침 선별 과정에서 최종 선택된 문헌 중 진료지침 형태만을 대상으로 질 평가를 수행하였다. 개발위원회에서 Korean Appraisal of Guidelines for Research & Evaluation II tool에 따른 질 평가 과정을 거쳤다. 실무위원회에서 체계적 문헌고찰의 비뚤림 위험 평가 순서도(2)에 근거하여 보고의 질이 나쁘거나 포함 내용이 불완전한 문헌은 배제하였다. '개발의 엄격성' 영역의 점수가 50점 이상인 진료지침을 권고 및 근거정리 대상 진료지침으로 선정하였다. 관련 진료지침이 현저하게 적거나 국내개발 지침인 경우 등에는 질 평가 결과가 낮더라도 권고 및 근거정리를 위한 지침으로 사용하였다.

권고등급 결정 및 권고안 초안 작성

질 평가가 완료된 최종 선택 지침들의 권고 내용 및 고유 권고등급을 정리하였고(Table 1), 국내 상황에서의 수용성 및 적용성을 평가하였다. 기존 지침이 제시한 권고의 근거가 되는 개별 문헌을

Table 1. Recommendation Matrices of the Existing Guidelines (Key Question 1-8)

Guidelines (Year)	CT and COVID-19: Chinese Experience and Recommendations Concerning Detection, Staging and Follow-Up (2018)	Emergency Radiology During the COVID-19 Pandemic: The Canadian Association of Radiologists Recommendations for Practice (2020)	Use of Chest Imaging in COVID-19: A Rapid Advice Guide (2020)
AGREE II score	24	30	108
KQ 1			For asymptomatic contacts of patients with COVID-19, WHO suggests not using chest imaging for the diagnosis of COVID-19
KQ 2	CT was considered a major modality for diagnosis, even before receiving the RT-PCR tests. Those clinically diagnosed case should be isolated and receive medical treatment. This should be considered with much attention by other countries if a huge population is waiting for the RT-PCR test, due to the lack of kits, delay waiting for the results, as well as false negative cases. CT can be considered a useful test for relieving quickly difficult situations	Chest radiography and chest CT are the primary imaging modalities for the evaluation patients with known or suspected COVID-19 infection in the emergency department	For symptomatic patients with suspected COVID-19, WHO suggests using chest imaging for the diagnostic workup of COVID-19 when: 1) RT-PCR testing is not available; 2) RT-PCR testing is available, but results are delayed; 3) initial RT-PCR testing is negative, but with high clinical of suspicion of COVID-19
KQ 3			For patients with suspected or confirmed COVID-19, not currently hospitalized and with mild symptoms, WHO suggests using chest imaging in addition to clinical and laboratory assessment to decide on hospital admission versus home discharge
KQ 4			For patients with suspected or confirmed COVID-19, not currently hospitalized and with moderate to severe symptoms, WHO suggests using chest imaging in addition to clinical and laboratory assessment to decide on regular ward admission versus intensive care unit admission
KQ 5	Chest radiography, especially bed side, is recommended for monitoring the very severe and critical cases The Chinese expert consensus recommends an interval of 3-5 days when initial CT was normal, and 5-7 days in case of pneumonia on the initial CT. A shorter interval is recommended in case of normal initial CT, in order to evaluate the presence of pneumonia due to its rapid change. The interval of imaging follow-up depends on the severity, also guided by the idea of dose reduction		For patients with suspected or confirmed COVID-19, currently hospitalized and with moderate to severe symptoms, WHO suggests using chest imaging in addition to clinical and laboratory assessment to inform the therapeutic management

Table 1. Recommendation Matrices of the Existing Guidelines (Key Question 1-8 (Continued))

Guidelines (Year)	CT and COVID-19: Chinese Experience and Recommendations Concerning Detection, Staging and Follow-Up (2018)	Emergency Radiology During the COVID-19 Pandemic: The Canadian Association of Radiologists Recommendations for Practice (2020)	Use of Chest Imaging in COVID-19: A Rapid Advice Guide (2020)
KQ 6			For symptomatic patients with suspected COVID-19, WHO suggests using chest imaging for the diagnostic workup of COVID-19. Imaging should be used as one element of the diagnostic workup in those have presentations that could represent complications of COVID-19 (e.g., pulmonary arterial thrombosis or thromboembolism)
KQ 7			For hospitalized patients with COVID-19 whose symptoms are resolved, WHO suggests not using chest imaging in addition to clinical and/or laboratory assessment to inform the decision regarding discharge
KQ 8	Due to CT with high sensitivity, follow-up CT is recommended to evaluate the improvement or recurrence on the first week of discharge, timely helping the management	No recommendation	Conditional recommendation, based on very low certainty evidence
Grades of recommendation	No recommendation	No recommendation	Conditional recommendation, based on very low certainty evidence
Guidelines (Year)	The Role of Chest Imaging in Patient Management during the COVID-19 Pandemic: A Multinational Consensus Statement from the Fleischner Society (2020)	Canadian Society of Thoracic Radiology/Canadian Association of Radiologists Consensus Statement Regarding Chest Imaging in Suspected and Confirmed COVID-19 (2020)	Recommendations of the Thoracic Imaging Section of the German Radiological Society for Clinical Application of Chest Imaging and Structured CT Reporting in the COVID-19 Pandemic (2020)
AGREE II score	70	33	27
KQ 1	Imaging is not routinely indicated as a screening test for COVID-19 in asymptomatic individuals		
KQ 2		1) In outpatient clinics, a CXR is not recommended in individuals presenting with mild symptoms because imaging is often normal and this may be falsely reassuring 2) In the emergency department setting, a chest radiograph is useful in a patient with concerning symptoms, when the RT-PCR assay is not yet available 3) If a patient with an initial negative RT-PCR result returns to the emergency department with worsening symptoms, a CXR may be useful to detect COVID-19 pneumonia and complications. A negative CXR still does not exclude the possibility of COVID-19 infection, and repeat RT-PCR testing is still required 4) Due to the higher risk of lung infection in immunosuppressed patients in general, it is reasonable to image patients with suspected respiratory infection and a negative chest radiographs with CT of the chest	Chest radiography and chest CT are the primary imaging modalities for the evaluation patients with known or suspected COVID-19 infection in the ED

Table 1. Recommendation Matrices of the Existing Guidelines (Key Question 1-8) (Continued)

Guidelines (Year)	The Role of Chest Imaging in Patient Management during the COVID-19 Pandemic: A Multinational Consensus Statement from the Fleischner Society (2020)	Canadian Society of Thoracic Radiology/Canadian Association of Radiologists Consensus Statement Regarding Chest Imaging in Suspected and Confirmed COVID-19 (2020)	Recommendations of the Thoracic Imaging Section of the German Radiological Society for Clinical Application of Chest Imaging and Structured CT Reporting in the COVID-19 Pandemic (2020)
KQ 3	Imaging is not indicated for patients with mild features of COVID-19 unless they are at risk for disease progression	CXRs are useful in clinically worsening patients, but daily CXRs in stable patients are not necessary and may increase the risk of viral transmission to health care workers	CT allows a reliable assessment of the initial extent of the disease. CT and chest radiography allow an assessment of the course of the disease to support clinical evaluation. Imaging can thus contribute to an interdisciplinary analysis to assess the individual prognosis of patients
KQ 4	Imaging is indicated for patients with moderate to severe features of COVID-19 regardless of COVID-19 test results In a resource-constrained environment where access to CT is limited, chest radiography may be preferred for patients with COVID-19 unless features of respiratory worsening warrant the use of CT	In patients presenting with moderate to severe symptoms, CXR, if available, may be useful in addition to clinical judgment to determine whether there is a need for additional assessment in a hospital setting CXRs are useful in clinically worsening patients, but daily CXRs in stable patients are not necessary and may increase the risk of viral transmission to health care workers	CT allows a reliable assessment of the initial extent of the disease. CT and chest radiography allow an assessment of the course of the disease to support clinical evaluation. Imaging can thus contribute to an interdisciplinary analysis to assess the individual prognosis of patients
KQ 5	Imaging is indicated for patients with COVID-19 and evidence of worsening respiratory status Daily chest radiographs are NOT indicated in stable intubated patients with COVID-19	CT should only be performed if the results are expected to influence patient management. CXRs are useful in clinically worsening patients, but daily CXRs in stable patients are not necessary and may increase the risk of viral transmission to health care workers	CT allows a reliable assessment of the initial extent of the disease. CT and chest radiography allow an assessment of the course of the disease to support clinical evaluation. Imaging can thus contribute to an interdisciplinary analysis to assess the individual prognosis of patients
KQ 6	CT is more sensitive for early parenchymal lung disease, disease progression, and alternative diagnoses including acute heart failure from COVID-19 myocardial injury and when acquired with intravenous contrast material, pulmonary thromboembolism Leveraging these superior capabilities depends upon the availability of CT reduction in CT scanner availability due to the additional time required to clean and disinfect equipment following imaging of patients with suspected COVID-19	CT pulmonary angiography should be performed in the setting of suspected acute pulmonary embolism	Chest radiography and CT in particular can detect complications. In addition to superinfection, thrombotic and embolic events should be particularly mentioned, since COVID-19 can obviously lead to hypercoagulopathy. Such complications should be treated with intravenous contrast, and a low-dose CT strategy should be abandoned
KQ 7			
KQ 8	CT is indicated in patients with functional impairment and/or hypoxemia after recovery from COVID-19	Not mentioned	Not mentioned
Grades of recommendation	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned

AGREE = Appraisal of Guidelines for Research and Evaluation, CXR = chest X-ray, KQ = key question, RT-PCR = reverse transcription polymerase chain reaction, WHO = World Health Organization

재검토하여 근거 문헌들의 종합 근거 수준을 핵심 질문별 근거표(Supplementary Table 1 in the online-only Data Supplement) 형태로 정리하였다. 기본 서지정보 및 대상자 수, 연구 유형, 연구 결과, 근거의 질 등급을 항목으로 하고, 5가지 항목(reference standard 유무, 연속적 환자 모집 여부, 판독의 맹검화 여부, 체계적 문헌고찰 여부, case-control 연구유형 여부)을 검토하여 근거 수준을 판단하였다. 핵심 질문별 근거표를 바탕으로 각 핵심 질문에 대한 권고문, 근거의 요약, 권고 고려사항, 참고문헌으로 구성된 권고안의 초안을 작성하였다. 각 권고문은 개발위원회의 검토를 거쳐서 Korean Clinical Imaging Guideline 권고등급 체계 및 근거수준 결정법(Supplementary Tables 2, 3 in the online-only Data Supplement)에 따른 권고등급 및 종합 근거수준을 포함하였다.

권고안의 합의

영상의학 분야 전문가 3명, 유관 학회 임상 전문가 3명(대한결핵 및 호흡기학회 1명, 대한감염학회 2명), 연구방법론 전문가 1명으로 컨센서스 그룹을 구성하고, 델파이 기법을 이용하여 권고문 초안에 대한 전문가 동의 정도를 조사하였다. 동의 정도는 1-3점(동의하지 않음), 4-6점(모르겠음), 7-9점(동의함)으로 나누어 정의하였다. 권고문별 동의 정도의 표준편차를 산술평균으로 나눈 변이계수(coefficient variation)를 산출하였다. 변이계수가 작을수록 동의 정도가 일치하는 것으로 보고, 0.5 이하(추가 설문 불필요), 0.5-0.8 (안정적이거나 추가 설문 유동적 논의), 0.8 이상(추가 설문 필요)로 정의하였다. 최종 결과에서 동의 정도가 낮거나 일치도가 낮은 권고문은 실무위원회와 개발위원회의 검토 후 최종 권고나 권고등급을 수정하였다. 총 7명의 전문가가 설문에 응답하였으며, 각 핵심 질문 1-8의 각 권고에 대한 동의 정도는 평균 7.9 (표준편차 0.9), 7.7 (1.8), 8.0 (1.0), 8.7 (0.5), 8.7 (0.5), 8.3 (1.0), 6.0 (1.9), 8.3 (1.1)이었다. 변이계수는 모든 항목에서 0.5 미만이었다.

외부 검토

가이드라인 개발에 참여하지 않은 영상학과 전문의와 가이드라인 최종 사용자인 유관 학회(대한결핵및호흡기학회, 대한소아감염학회, 대한감염학회) 전문가들이 합의된 권고문을 검토하였고 수정사항을 반영하여 최종안을 확정하였다. 핵심 질문별 권고안, 권고등급, 근거수준을 Supplementary Table 4 (in the online-only Data Supplement)에 정리하였다.

권고 및 근거요약

[핵심 질문 1] COVID-19 확진자와 접촉한 사람에 대하여 RT-PCR 검사를 이용할 수 없거나 결과가 지연되는 경우 COVID-19의 진단 과정에 흉부영상검사(CXR, CT)를 사용해야 합니까?

[권고 1] COVID-19 확진자와 접촉한 증상이 없는 사람에 대하여 COVID-19의 진단을 위하여 흉부 영상검사(CXR, CT)를 사용하지 않는 것이 적절하다(권고등급C, 근거수준III)

근거요약

COVID-19 환자와 접촉한 무증상자에 대하여 WHO는 COVID-19 진단에 흉부영상을 사용하지 않을 것을 제안하였다(3). Fleischner Society의 다국적 합의에서도 무증상 환자의 COVID-19 선별 검사로 영상검사를 일상적으로 사용하지 않도록 권고하였다(4). 벨기에에서 실시된 전향 연구는 RT-PCR 검사 이용이 제한적인 의료기관에서 다른 증상이나 시술을 위해 입원한 무증상 환자($n = 1183$)에서 시행된 흉부 CT의 COVID-19 진단정확도를 평가했다(5). 이 집단에서 COVID-19의 유병률은 5.3%였다. COVID-19 폐렴에 대한 CT 진단 표준으로 제시된 바 있는 COVID-19 reporting and data system (이하 CO-RADS) (6) 점수 4점을 기준으로 COVID-19의 진단에 대한 CT의 민감도는 0.32 (95% confidence interval [이하 CI] 0.20-0.45), 특이도는 0.95 (95% CI 0.93-0.96)였다(7). 점수 5점 기준이었을 때 COVID-19의 진단에 대한 CT의 민감도는 0.18 (95% CI 0.09-0.30), 특이도는 0.98 (95% CI 0.97-0.99)이었다(7). CO-RADS 점수 3-5점을 기준으로 하면 민감도는 0.45 (95% CI 0.32-0.58), 특이도는 0.89 (95% CI 0.87-0.91), 양성예측도는 0.18 (95% CI 0.14-0.24)이었다(7). 이 결과는 무증상 환자에서 CT 검사의 민감도가 매우 낮으므로 선별 검사로 사용하는 것이 정당화될 수 없음을 보여준다.

[핵심 질문 2] COVID-19가 의심되는 증상이 있는 환자에 대하여 RT-PCR 검사를 이용할 수 없거나, 결과가 지연되는 경우, 또는 RT-PCR 검사와 함께 COVID-19의 진단 과정에 흉부영상검사(CXR, CT)를 사용해야 합니까?

[권고 2] COVID-19가 의심되는 증상이 있는 환자에 대하여 다음과 같은 경우 COVID-19 진단검사를 위해 흉부영상검사(CXR, CT)의 사용을 고려할 수 있다(권고등급B, 근거수준II)

- 1) RT-PCR 검사를 사용할 수 없는 경우
- 2) RT-PCR 검사가 가능하지만 결과가 지연되는 경우
- 3) 초기 RT-PCR 결과는 음성이지만 임상적으로 COVID-19의 가능성이 높은 경우

근거요약

WHO는 COVID-19 의심 증상이 있는 환자에 대하여 RT-PCR 검사를 사용할 수 없거나, RT-PCR 검사가 가능하지만 결과가 지연되거나, 초기 RT-PCR 결과는 음성이지만 임상적으로 COVID-19의 가능성이 높을 때 COVID-19 진단검사를 위해 흉부영상검사의 사용을 권고하였다(3). 캐나다 영상의학회의 합의권고안에서는 외래 클리닉에서 가벼운 증상을 보이는 환자에게는 CXR을 사용하지 않을 것을 권고하였는데 왜냐하면 CXR이 대개 정상이고 이는 잘못된 확신을 줄 수 있기 때문이다. 응급실 환경에서는 RT-PCR 검사를 아직 사용할 수 없을 때 관련 증상이 있는 환자에게 CXR을 권고하였다. 초기에 RT-PCR 검사 결과가 음성인 환자가 증상이 악화되어 응급실로 돌아오

면 CXR이 COVID-19 폐렴 및 합병증을 발견하는 데 유용할 수 있으나, CXR 음성이 여전히 COVID-19 감염 가능성을 배제하지 않으며 확진을 위하여 반복적인 RT-PCR 검사를 하여야 한다. 일반적으로 면역억제 환자의 경우 폐 감염 위험이 높기 때문에 호흡기 감염이 의심되거나 CXR이 정상인 환자는 흉부 CT를 촬영하는 것을 고려할 수 있다(8). 독일영상의학회 권고안에서는 CXR 및 흉부 CT가 응급실에서 COVID-19가 의심되는 환자를 평가하기 위한 1차 영상검사임을 기술하였다(9).

COVID-19가 의심되는 증상이 있는 환자 또는 증상이 있는 환자와 무증상 환자가 혼재된 집단에서 참조 표준과 비교하여 CT의 진단정확도를 평가한 27건의 연구에서 COVID-19의 유병률은 19%–85%였고, 18건은 유럽, 6건은 중국, 3건은 브라질에서 수행되었고, 진료환경으로 분류하였을 때 12건은 응급실, 11건은 병원, 2건은 발원 진료소 등에서 수행되었으며, 연구 디자인으로 분류하였을 때 5건이 전향적 연구였다. 영상검사 결과를 COVID-19 폐렴 양성으로 분류하기 위한 엄격한 기준(“typical,” “highly suggestive,” “probable or highly probable” or “positive” for COVID-19; or CO-RADS category 4 or 5)을 적용했을 때(22개 연구, $n = 11258$) CT는 통합 민감도 0.89 (95% CI 0.85–0.91), 통합 특이도 0.81 (95% CI 0.73–0.88), 양성우도비 4.77 (95% CI 3.29–6.91) 및 음성우도비 0.14 (95% CI 0.11–0.17)이었고 (5, 7, 10–29), 덜 엄격한 기준(“typical or indeterminate,” “highly suggestive or suggestive,” or CO-RADS category 3 to 5)을 적용하면(11개 연구, $n = 4143$) 통합민감도 0.92 (95% CI 0.89–0.94), 통합 특이도 0.71 (95% CI 0.59–0.81), 양성우도비 3.22 (95% CI 2.21–4.71) 및 음성우도비 0.11 (95% CI 0.09–0.15)이었다(5, 7, 12–14, 18, 19, 25, 30–33). COVID-19 유병률에 따라 분류하면, 유병률이 50% 미만인 경우(7건, $n = 2315$) 민감도 0.77 (95% CI 0.65–0.85), 특이도 0.92 (95% CI 0.88–0.95)이었고, 유병률이 50% 이상인 연구(4건, $n = 1828$)에서는 민감도 0.61 (95% CI 0.36–0.81), 특이도 0.93 (95% CI 0.87–0.96)이었다. 증상이 있는 것이 명확한 10건의 연구($n = 3123$)로 분석을 제한했을 때 통합 민감도는 0.86 (95% CI 0.81–0.89), 통합 특이도는 0.87 (95% CI 0.78–0.93), 양성우도비 6.48 (95% CI 3.83–10.97) 및 음성우도비 0.17 (95% CI 0.13–0.21)이었다(5, 7, 14, 15, 18–21, 25, 27, 30, 34). CT의 COVID-19 진단에 대한 area under the ROC curve (이하 AUROC)는 단일 RT-PCR을 참조 표준으로 사용한 6건의 연구에서 0.79–0.92 (5, 7, 15, 23, 27, 34), 여러 번의 RT-PCR 또는 임상 추적 관찰을 참조 표준으로 사용한 7건의 연구에서는 0.71–0.96였다(6, 15, 20, 21, 28, 29, 31).

COVID-19가 의심되는 증상이 있는 환자 또는 증상이 있는 환자와 무증상 환자가 혼합된 집단에서 참조 표준에 대한 CXR의 진단 정확도를 평가한 6건의 연구($n = 1514$, 유병률 39%–76%, 참조 표준 단일 또는 반복 RT-PCR)에서 비틀림 위험이 낮은 연구($n = 179$)에서 CXR에 대한 폐음영을 기준으로 민감도는 0.78 (95% CI 0.69–0.85), 특이도는 0.26 (95% CI 0.17–0.38), 중간 위험도 연구($n = 518$)에서 민감도는 0.57 (95% CI 0.50–0.64), 특이도는 0.89 (95% CI 0.85–0.92)이었고, 6개 연구($n = 1606$)에 근거하여 양성우도비는 2.50 (95% CI 1.38–4.51)이고 음성우도비는 0.40 (95% CI 0.25–0.64)이었다(34–38). 한 연구에서 CXR의 민감도는 5일 이상 증상이 있는 사람에서 5일 이하 증상군에 비해 높았지만(0.76 vs. 0.37) 특이도는 낮았다(0.68 vs. 0.93) (35, 39). 이처럼 다수의 연구에서 유증상 환자에서 COVID-19 진단에 대한 흉부영상검사의 진단적 가치를 보여주었다.

[핵심 질문 3] COVID-19가 확인된 무증상 또는 경미한 증상이 있는 입원하지 않은 환자에게 흉부영상검사(CXR, CT)를 사용해야 합니까?

[권고 3] COVID-19가 확인된 무증상 또는 경미한 증상이 있는 입원하지 않은 환자에게 병원 입원을 결정하기 위하여 임상 평가 및 검사실 검사와 함께 흉부영상검사(CXR, CT)를 고려할 수 있다(권고 등급B, 근거수준III)

근거요약

COVID-19가 의심되거나 확인된 현재 입원하지 않았고 가벼운 증상이 있는 환자의 경우 WHO는 병원 입원 또는 귀가를 결정하기 위해 임상 평가 및 검사실 검사와 함께 흉부영상검사를 사용할 것을 권고하였다(3). Fleischner Society의 다국적 합의에서는 COVID-19의 경미한 증상을 가진 환자는 질병 진행 위험이 없는 한 영상검사가 필요하지 않다고 하였다(4). 캐나다 영상의학회의 합의권고안에서는 CXR은 임상적으로 악화되는 환자에게 유용하지만 안정된 환자에게 매일 CXR을 촬영할 필요는 없으며 의료 종사자에게 바이러스 전파 위험을 증가시킬 수 있다고 하였다(4, 8). 대개의 연구에서 경증과 중등도 또는 중증 증상을 가진 환자를 명확하게 구분하지 않았고 입원하지 않은 COVID-19가 의심되거나 확인된 환자에서 흉부영상검사의 효과를 평가한 연구는 없다. 4건의 연구에서 COVID-19로 진단된 환자의 입원 전 응급실에서 실시한 흉부 CT와 후속 임상 결과 간의 연관성을 평가했다(40-43). 각 연구에서 보고된 입원 환자군의 비율은 한 연구에서 54%, 다른 연구에서 92%~100%였다. 모든 연구는 CT 중증도 점수(범위 0-25) 또는 폐 침범의 정량적 추정치(%)를 사용하여 폐 침범 정도를 기반으로 CT 결과를 평가했다. 한 연구에서는 연령을 조정 한 후 사망 가능성 증가와 관련된 CT 중증도 점수가 18 이상인 것으로 나타났다(Adjusted hazard ratio [이하 HR], HR 3.74, 95% CI 1.10-12.77). CT 중증도 점수와 연령을 고려한 다변량 모델의 AUROC는 0.76 (95% CI 0.65-0.88)이었다(41). 두 연구에서 CT 폐 침범 정량값은 민감도 0.75 (95% CI 0.66-0.83) 및 0.76 (95% CI 0.56-0.89) 및 특이도 0.80 (95% CI 0.72-0.86) 및 0.76 (95% CI 0.71-0.80), AUROC 0.86 (95% CI 0.80-0.90) 및 0.80 (95% CI 0.72-0.88)이었다(40, 43). 흉부 영상검사로 평가한 COVID-19 폐렴의 범위와 환자 예후 간의 상관관계를 보여줌으로써 입원 결정에 영상검사 정보 이용의 근거로 제시할 수 있는 결과이다. 또한 3건의 연구에서 COVID-19로 진단된 환자의 입원 전 응급실 CXR 결과와 임상 결과 간의 연관성을 평가했다($n = 858$, 104-416)(44-46). 한 연구에서 입원 환자의 비율은 43%였고, 사망률은 3.0%~6.7%였다. 모든 연구는 CXR 심각도 점수(범위 1-3, 0-12 또는 0-48)로 표시된 폐 침범 정도를 기준으로 CXR의 예측 유용성을 평가했다. 43%의 환자가 입원한 연구에서 CXR 중증도 점수 2 이상(범위 0-12)은 입원 가능성 증가와 관련 있었다(adjusted odds ratio [이하 OR], OR 6.2, 95% CI 3.5-11.0; AUROC 0.77, 95% CI 0.72-0.82). 입원 환자 하위군 중 CXR 중증도 점수가 3 이상인 경우 기관 삽관 여부와 관련이 있었으나(adjusted OR, 4.7, 95% CI 1.8-13; AUROC 0.74, 95% CI 0.64-0.84), 장기 응급실 체류 가능성과는 관련이 없었다(adjusted OR 1.1, 95% CI 0.8-1.5; AUROC 0.62, 95% CI 0.50-0.73).

[핵심 질문 4] COVID-19가 확인된 입원 환자의 증상의 경중 및 위험요인의 유무에 따라 흉부영상검사(CXR, CT)를 사용해야 합니까?

증상의 경중

- 경중: 폐 기능 장애 또는 손상의 증거가 없음(예: 저산소 혈증 없음, 경중 호흡 곤란)
- 중등도: 심각한 폐 기능 장애 또는 손상의 증거(예: 저산소 혈증, 중등도의 호흡 곤란)
- 질병 진행의 위험 요인
- 65세 이상의 연령과 동반 질환의 유무에 따른 임상적 판단(예: 심혈관 질환, 당뇨병, 만성 호흡기 질환, 고혈압, 면역 저하)

[권고 4] COVID-19가 확인된 입원 환자의 증상의 경중 및 위험요인의 유무에 따라 흉부영상검사(CXR, CT)를 고려할 수 있다(권고등급 B, 근거수준 III)

근거요약

COVID-19 확인된 입원 환자에서 시행한 흉부영상검사의 임상적인 영향 또는 흉부영상검사를 하지 않는 경우의 임상적 또는 보건 시스템 결과에 대한 연구는 아직까지 없다. 하지만 흉부영상은 향후 비교를 위한 기준을 제공하며, 질병 진행 위험 요인이 있는 환자에서 중요한 동반 질환 여부를 확인할 수 있는 도구이다. 또한 흉부영상 COVID-19 환자의 질병 악화에 대한 모니터링의 강도에 영향을 주고, 개별 환자 예후 평가에 기여할 수 있다. WHO에서는 중등증 이상의 COVID-19 입원 환자에서 임상평가 및 검체 검사와 더불어 흉부영상검사를 권고하고 있다. 임상 결과와 흉부영상 소견과의 상관관계에 대한 10개의 CT 연구(47-57), 3개의 CXR 연구(57-59), 2개의 흉부초음파 연구(58-60)가 검색되었으며, 대부분 연구에서 흉부영상검사 시행 시기는 입원일 근처였다. 11개의 CT 연구에서 임상적인 결과(clinical outcome)와 영상 소견의 상관관계를 보고하였는데, 대상자 수는 27-572 (총 $n = 2117$), 사망률은 0.7%-47.0%였다. 사망률과 중환자실 입원을 함께 평가한 연구에서는 사망률은 14%였다. 모든 연구에서 CT 폐렴 범위를 중등도로 측정하고, 예측능을 평가하였는데 2개의 연구에서 사망 예측 식별력은 AUROC 0.88-0.90 (51, 57)으로 우수하였고, 1주 이내 사망 가능성과 유의한 상관관계(adjusted OR 1.54, 95% CI 1.00-2.37)를 보였으나(50). 다변량 분석에서는 CT 중등도와 유의한 상관관계가 없었다(50). 또 다른 연구에서 CT 중등도는 사망자에서 유의하게 높았으나(mean 9.8 vs. 7.0, $p = 0.04$) (50, 53) 다변량 분석에서는 유의하지 않았다. 한편, 중환자실 입원/기계호흡 또는 사망률과 흉부영상 소견과의 상관관계를 연구한 5개 연구 결과가 있었다(47, 49, 52, 55, 56). CT 심각도 5 이상(범위; 0-40) 인 경우 adjusted HR이 7.29 (95% CI 1.37-38.68) (47), CT 심각도 50% 이상이면 adjusted OR이 2.35 (95% CI 1.24-4.46) (47, 52), CT 심각도 13 이상 (범위; 0-25) 이면 adjusted OR이 44.24 (95% CI 8.61-227.36) (56), CT 중등도의 adjusted HR이 1.07 (95% CI 0.99-1.15) (55), CT 폐렴 범위가 23% 이상인 경우 sensitivity 0.96 (95% CI 0.81-0.999), specificity 0.96 (95% CI 0.92-0.99), AUROC 0.98 (95% CI 0.95-1.00)로 보고하였다(49). 한 연구에서는 영상 소견과 임상 변수를 함께 이용한 경우는(AUC 0.82,

95% CI 0.76–0.88 in training cohort AUC 0.89, 95% CI 0.82–0.96 in validation cohort) 임상변수만으로 평가한 것과 비교하여(AUC 0.78, 95% CI 0.72–0.84, AUC 0.81, 95% CI 0.74–0.88) 유의하게 높음을 보고하였다(55).

사망률 이외의 결과와 흉부영상 소견과의 상관관계를 평가한 3개의 연구가 있었다. CT 심각도가 중증 폐렴(호흡수 증가, 저산소증, 기계호흡, 쇼크, 중환자실 치료로 정의) 발생 위험과 유의한 상관관계가 있었으며 adjusted OR은 1.19 (95% CI 1.01–1.41)였다(48). 이 연구에서 CT 심각도와 나이, neutrophil to lymphocyte ratio를 함께 고려한 다변량 계산도표에서 AUROC 값이 training cohort에서 0.87 (95% CI 0.77–0.96), validation cohort에서 0.90 (95% CI 0.81–0.98)이었다(48). 다른 연구에서 15점 이상의 CT 중등도(범위; 0–26)가 COVID-19 합병증(급성호흡부전, 급성신손상, 간 기능이상, 급성관상동맥질환, 쇼크, 부정맥, 이차감염) 위험과 상관관계가 있음을 보고하였다(48, 54). 이 연구에서 CT 중등도 5점 미만과 비교하여, 10점 이상 CT 중등도의 adjusted OR은 31.28 (95% CI 2.97–329.80), 5–10점의 adjusted OR은 5.86 (95% CI 1.70–20.23)이었다.

COVID-19 입원 환자에서 CXR과 임상 결과와의 상관관계를 보여주는 2개의 연구가 있었다. 대상자 수 120명, 사망률 19%인 한 연구에서 CXR 양측 폐 침윤 음영의 사망률에 대한 HR은 2.5 (95% CI 1.07–6.1), 폐문 부중 음영의 HR은 3.7 (95% CI 1.07–10.2)이었다(47). 하지만 CXR에서 발견된 양측 폐, 폐엽 침윤, 폐문 부중 음영은 기관 삽관 및 이와 연관된 사망률과는 유의한 상관관계가 없었다. 대상자 수가 102명, 중환자실 치료 환자 비율이 30%인 한 연구에서 CXR 심각도 3 이상이면(범위; 0–36) 중환자실 치료 가능성과 유의한 상관관계를 보였다(adjusted OR 0.40, 95% CI 0.02–3.63) (58).

[핵심 질문 5] COVID-19가 확인된 입원 환자가 치료 방법을 결정하거나 수정하는데 흉부영상검사(CXR, CT)를 사용해야 합니까?

[권고 5] COVID-19가 확인된 입원 환자가 치료 방법을 결정하거나 수정하는데 흉부영상검사(CXR, CT)를 고려할 수 있다(권고등급 B, 근거수준 III)

근거요약

일반적으로 흉부영상은 입원 환자에서 향후 비교를 위한 기준을 제공하며, 질병 진행 위험 요인이 있는 경우, 중요한 동반 질환 여부를 확인할 수 있다. 또한 질병 악화를 모니터링할 수 있으며, 개별 환자 예후 평가에 이용될 수 있다. 하지만 흉부영상검사의 임상적인 영향 또는 흉부영상검사를 하지 않는 경우의 임상적 또는 보건 시스템 결과에 대한 연구는 아직까지 없다. 제한된 증거에 기초하여, 입원한 COVID-19 환자의 CT 영상 소견 결과는 후속 임상 결과와 관련이 있었다. 즉 권고 4 근거요약에 기술된 다양한 연구에서 COVID-19 입원 환자의 임상 결과(중환자실 치료, 사망률, 기계호흡 치료)와 흉부영상 소견과의 상관관계를 확인할 수 있다(47-49, 51-60). 따라서 흉부영상검사는 COVID-19 입원 환자에서 중환자실 치료 여부 등을 결정하기 위한 진단 도구로서, 임상 평가 및 검체 검사와 더불어 이용될 수 있다(61). 하지만 COVID-19 이전에 보고된 다수의 연구에

서 중환자실 환자에서 매일 CXR을 시행하는 것은 임상적 필요에 따라 간헐적으로 시행하는 것과 비교하여 주요 임상 결과의 차이가 없음을 보고하였다(62-65).

[핵심 질문 6] COVID-19가 확인된 환자에서 임상적으로 객혈 또는 폐색전증이 의심되는 경우 영상검사(CT 폐혈관조영술, CT 하지정맥조영술 등)를 사용해야 합니까?

[권고 6] COVID-19가 확인된 환자에서 임상적으로 객혈 또는 폐색전증이 의심되는 경우 영상검사(CT 폐혈관조영술, CT 하지정맥조영술 등)를 고려할 수 있다(권고등급 B, 근거수준 III)

근거요약

흉부영상은 입원 환자에서 중요한 동반 질환 여부를 확인할 수 있다. CT는 CXR과 비교하여, 초기 폐 실질 병변, 질병 진행, COVID-19 연관된 심혈관 손상으로 인한 급성 심부전을 포함한 동반 질환을 더 민감하게 진단할 수 있다(66, 67). COVID-19가 과응고상태를 일으킨다는 최근 연구 결과가 있으며(68, 69), COVID-19 환자에서 혈전색전증이 의심되는 경우 필요한 적절한 수준을 임상평가 및 검체 검사와 더불어 흉부영상검사를 선택할 때 정맥 조영제를 사용한 CT 폐혈관조영술을 고려할 수 있다. 이때 CT 검사 가능 여부는 COVID-19 의심 환자의 영상 촬영에 따른 장비 세척 및 소독에 필요한 추가시간으로 인한 CT 스캐너 가용성의 잠재적 감소를 고려해야 한다(61).

[핵심 질문 7] 증상이 호전된 COVID-19 환자의 경우, 병원 퇴원에 대한 결정을 하는데 흉부영상검사(CXR, CT)를 추가해야 합니까?

[권고 7] 증상이 호전된 COVID-19 환자의 경우, 병원 퇴원에 대한 결정을 하는데 흉부영상검사(CXR, CT)를 사용하지 않는 것이 적절하다(권고등급 C, 근거수준 IV)

근거요약

퇴원 결정에 대한 COVID-19 환자의 흉부영상의 역할을 평가한 연구는 없었다. 증상이 해결된 COVID-19 입원 환자의 경우, 퇴원 결정을 알리기 위해 임상 평가 및 검체 결과 외에 흉부영상 촬영을 사용하지 않을 것을 권고한다.

[핵심 질문 8] COVID-19에서 회복된 환자를 추적 검사할 때 폐 손상 여부를 평가하기 위하여 흉부영상검사(CXR, CT)를 사용해야 합니까?

[권고 8] COVID-19에서 회복된 환자를 추적 검사할 때 폐 기능 장애가 있는 환자는 감염 또는 기계적 인공호흡 결과로 발생한 형태학적인 폐 이상 소견과 치료 가능한 질환과 구별하기 위해 흉부영상검사(CXR, CT)를 고려할 수 있다(권고등급 B, 근거수준 IV)

근거요약

장기적인 COVID-19 관련 후속 치료 평가를 위한 흉부영상검사의 효과 연구는 없으며, 퇴원 후와 장기 임상 결과에 따른 흉부영상 결과 간의 연관성을 평가한 연구는 없었다. 다만 전문가 제안에 의하면 COVID-19 회복 후 기능 장애가 있는 환자는 감염 또는 기계적 인공호흡 결과로 발생한 형태학적인 폐 이상 소견과 이와 다른 잠재적으로 치료 가능한 질환과 구별하기 위해 흉부영상검사를 고려할 수 있다(4, 70).

권고 고려사항

이득과 위해(Benefit and Harm)

CXR을 시행할 때는 진단에 필요한 적절한 수준을 유지할 수 있도록 영상의 질 관리를 철저히 하여야 하며 법규에 의하여 방사선 방어 조치를 시행하여야 한다. CT 검사의 이득-위해를 고려하여 꼭 필요한 경우에만 CT 검사를 시행하고, 환자와 의료진의 접촉을 최소화하기 위하여 비조영 CT를 권고한다. 표준 또는 저선량 흉부 CT 프로토콜로 촬영할 수 있으며 환자 체형을 고려하여 불필요한 방사선 피폭을 최소화하여야 한다. 추적 관찰 검사가 필요한 경우 초저선량 흉부 CT 프로토콜 사용을 고려할 수 있다. 영상검사의 판독은 경험 있는 의사에 의하여 시행되어야 하며 영상의학과 전문의의 판독 또는 자문을 권고한다. 각 기관의 감염관리지침에 따라 안전 및 전파방지 조치를 취해야 한다. 가능한 환자와의 접촉을 피하고 검사 장비에 대한 소독을 정기적으로 시행한다.

국내 수용성과 적용성(Acceptability and Applicability)

진료지침의 국내 수용성과 적용성은 평가 결과 큰 무리가 없는 것으로 판단되었다.

검사별 방사선량

CXR CTDIvol 0.4 mGy (39), 흉부 CT CTDIvol 6 mGy (71), CT 혈관조영술 CTDIvol 6 mGy 이하(71).

요약

수용개작 방식을 채택하여 COVID-19에 대한 영상검사의 근거기반 임상진료지침을 개발하였다. COVID-19 확진자와 접촉한 증상이 없는 사람에 대하여 COVID-19의 진단을 위하여 CXR 또는 CT를 시행하지 않는 것이 적절하며, COVID-19 의심 증상이 있는 환자에 대하여 RT-PCR 검사를 이용할 수 없는 경우 흉부영상검사를 고려할 수 있다. COVID-19 확진 환자의 병원 입원 결정을 위해 임상 평가 및 검사실 검사와 함께 흉부영상검사를 시행할 수 있다. COVID-19 입원 환자의 증상 경중 및 위험요인 유무에 따라, COVID-19가 확인된 입원 환자의 치료 방법을 결정하거나 수정하는데 흉부영상검사를 고려할 수 있다. COVID-19 환자에서 객혈 또는 폐색전증이 의심되는 경우 CT 혈관조영술을 시행할 수 있다. 증상이 호전된 COVID-19 환자에서 퇴원 결정을 하는데 흉

부영상검사를 사용하지 않는 것이 적절하다. COVID-19에서 회복된 환자를 추적 검사할 때 치료 가능한 다른 질환과 구별하기 위해 흉부영상검사를 시행할 수 있다. 비록 COVID-19 연구 결과들의 근거수준은 낮지만 영상검사는 COVID-19 환자 진단에 유용한 도구이며 적절하게 사용하여 환자에게 이득을 줄 수 있다. 본 지침이 다양한 임상 상황에서 COVID-19 진단 및 치료 결정에 흉부영상검사를 활용하고자 할 때 유용하게 쓰일 수 있기를 기대한다.

Supplementary Materials

The online-only Data Supplement is available with this article at <http://doi.org/10.3348/jksr.2021.0117>.

Author Contributions

Conceptualization, J.K.N., D.K., Y.H.S.; data curation, J.K.N., C.M., Y.H.S.; formal analysis, J.K.N., C.M., Y.S.Y., N.B.D.; funding acquisition, Y.H.S.; investigation, J.K.N., D.K., N.B.D., H.S.H., C.M.; methodology, J.K.N., C.M., Y.H.S.; project administration, Y.H.S.; resources, J.K.N., Y.H.S.; software, J.K.N., Y.H.S.; supervision, Y.H.S.; validation, J.K.N., Y.H.S.; visualization, J.K.N., Y.H.S.; writing—original draft, all authors; and writing—review & editing, J.K.N., Y.H.S.

Conflicts of Interest

The authors have no potential conflicts of interest to disclose.

Funding

This work was supported by the Korean Society of Radiology (KSR) grant funded by the Korean Government.

REFERENCES

1. Choi SJ, Jeong WK, Jo AJ, Choi JA, Kim MJ, Lee M, et al. Methodology for developing evidence-based clinical imaging guidelines: joint recommendations by Korean Society of Radiology and national evidence-based healthcare collaborating agency. *Korean J Radiol* 2017;18:208-216
2. Xavier Bosch-Capblanch. Handbook for supporting the development of health system guidance. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.370.9461&rep=rep1&type=pdf>. Published 2011. Accessed Oct 24, 2020
3. World Health Organization. *Use of chest imaging in COVID-19: a rapid advice guide, 11 June 2020*. Geneva: World Health Organization 2020
4. Rubin GD, Ryerson CJ, Haramati LB, Sverzellati N, Kanne JP, Raoof S, et al. The role of chest imaging in patient management during the COVID-19 pandemic: a multinational consensus statement from the Fleischner Society. *Radiology* 2020;296:172-180
5. De Smet K, De Smet D, Demedts I, Bouckaert B, Ryckaert T, Laridon E, et al. Diagnostic power of chest CT for COVID-19: to screen or not to screen. SSRN Electronic Journal [Preprint]. 2020 [cited 2021 Jun 5]. Available at: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3605168>
6. Prokop M, van Everdingen W, van Rees Vellinga T, Quarles van Ufford H, Stöger L, Beenen L, et al. CO-RADS: a categorical CT assessment scheme for patients suspected of having COVID-19—definition and evaluation. *Radiology* 2020;296:E97-E104
7. De Smet K, De Smet D, Ryckaert T, Laridon E, Heremans B, Vandenbulcke R, et al. Diagnostic performance of chest CT for SARS-CoV-2 infection in individuals with or without COVID-19 symptoms. *Radiology* 2021; 298:E30-E37
8. Dennie C, Hague C, Lim RS, Manos D, Memauri BF, Nguyen ET, et al. Canadian Society of Thoracic Radiology/Canadian Association of radiologists consensus statement regarding chest imaging in suspected and confirmed COVID-19. *Can Assoc Radiol J* 2020;71:470-481
9. Vogel-Claussen J, Ley-Zaporozhan J, Agarwal P, Biederer J, Kauczor HU, Ley S, et al. Recommendations of the thoracic imaging section of the German Radiological Society for clinical application of chest imaging and structured CT reporting in the COVID-19 pandemic. *Rofa* 2020;192:633-640

10. Aslan S, Bekçi T, Çakır İM, Ekiz M, Yavuz İ, Şahin AM. Diagnostic performance of low-dose chest CT to detect COVID-19: a Turkish population study. *Diagn Interv Radiol* 2021;27:181-187
11. Ai T, Yang Z, Hou H, Zhan C, Chen C, Lv W, et al. Correlation of chest CT and RT-PCR testing for coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China: a report of 1014 cases. *Radiology* 2020;296:E32-E40
12. Barbosa PNVP, Bitencourt AGV, de Miranda GD, Almeida MFA, Chojniak R. Chest CT accuracy in the diagnosis of SARS-CoV-2 infection: initial experience in a cancer center. *Radiol Bras* 2020;53:211-215
13. Besutti G, Giorgi Rossi P, Iotti V, Spaggiari L, Bonacini R, Nitrosi A, et al. Accuracy of CT in a cohort of symptomatic patients with suspected COVID-19 pneumonia during the outbreak peak in Italy. *Eur Radiol* 2020;30:6818-6827
14. Borges da Silva Teles G, Kaiser Ururahy Nunes Fonseca E, Yokoo P, Marques Almeida Silva M, Yanata E, Shoji H, et al. Performance of chest computed tomography in differentiating coronavirus disease 2019 from other viral infections using a standardized classification. *J Thorac Imaging* 2021;36:31-36
15. Brun AL, Gence-Brenay A, Trichereau J, Ballester MC, Vasse M, Chabi ML, et al. COVID-19 pneumonia: high diagnostic accuracy of chest CT in patients with intermediate clinical probability. *Eur Radiol* 2021;31:1969-1977
16. Caruso D, Zerunian M, Polici M, Pucciarelli F, Polidori T, Rucci C, et al. Chest CT Features of COVID-19 in Rome, Italy. *Radiology* 2020;296:E79-E85
17. Dangis A, Gieraerts C, De Bruecker Y, Janssen L, Valgaeren H, Obbels D, et al. Accuracy and reproducibility of low-dose submillisievert chest CT for the diagnosis of COVID-19. *Radiol Cardiothorac Imaging* 2020;2:e200196
18. Debray MP, Tarabay H, Males L, Chalhoub N, Mahdjoub E, Pavlovsky T, et al. Observer agreement and clinical significance of chest CT reporting in patients suspected of COVID-19. *Eur Radiol* 2021;31:1081-1089
19. Ducray V, Vlachomitrou AS, Bouscambert-Duchamp M, Si-Mohamed S, Gouttard S, Mansuy A, et al. Chest CT for rapid triage of patients in multiple emergency departments during COVID-19 epidemic: experience report from a large French university hospital. *Eur Radiol* 2021;31:795-803
20. Giannitto C, Sposta FM, Repici A, Vatteroni G, Casiraghi E, Casari E, et al. Chest CT in patients with a moderate or high pretest probability of COVID-19 and negative swab. *Radiol Med* 2020;125:1260-1270
21. Gietema HA, Zelis N, Nobel JM, Lambriks LJG, van Alphen LB, Oude Lashof AML, et al. CT in relation to RT-PCR in diagnosing COVID-19 in The Netherlands: a prospective study. *PLoS One* 2020;15:e0235844
22. He JL, Luo L, Luo ZD, Lyu JX, Ng MY, Shen XP, et al. Diagnostic performance between CT and initial real-time RT-PCR for clinically suspected 2019 coronavirus disease (COVID-19) patients outside Wuhan, China. *Respir Med* 2020;168:105980
23. Hermans JJR, Groen J, Zwets E, Boxma-De Klerk BM, Van Werkhoven JM, Ong DSY, et al. Chest CT for triage during COVID-19 on the emergency department: myth or truth? *Emerg Radiol* 2020;27:641-651
24. Herpe G, Lederlin M, Naudin M, Ohana M, Chaumoitre K, Gregory J, et al. Efficacy of chest CT for COVID-19 pneumonia diagnosis in France. *Radiology* 2021;298:E81-E87
25. Korevaar DA, Kootte RS, Smits LP, van den Aardweg JG, Bonta PI, Schinkel J, et al. Added value of chest computed tomography in suspected COVID-19: an analysis of 239 patients. *Eur Respir J* 2020;56:2001377
26. Luo N, Zhang H, Zhou Y, Kong Z, Sun W, Huang N, et al. Utility of chest CT in diagnosis of COVID-19 pneumonia. *Diagn Interv Radiol* 2020;26:437-442
27. Miranda Magalhães Santos JM, Paula Alves Fonseca A, Pinheiro Zarattini Anastacio E, Formagio Minenelli F, Furtado de Albuquerque Cavalcanti C, Borges da Silva Teles G. Initial results of the use of a standardized diagnostic criteria for chest computed tomography findings in coronavirus disease 2019. *J Comput Assist Tomogr* 2020;44:647-651
28. Song S, Wu F, Liu Y, Jiang H, Xiong F, Guo X, et al. Correlation between chest CT findings and clinical features of 211 COVID-19 suspected patients in Wuhan, China. *Open Forum Infect Dis* 2020;7:ofaa171
29. Wen Z, Chi Y, Zhang L, Liu H, Du K, Li Z, et al. Coronavirus disease 2019: initial detection on chest CT in a retrospective multicenter study of 103 Chinese patients. *Radiol Cardiothorac Imaging* 2020;2:e200092
30. Falaschi Z, Danna PSC, Arioli R, Pasché A, Zagaria D, Percivale I, et al. Chest CT accuracy in diagnosing COVID-19 during the peak of the Italian epidemic: a retrospective correlation with RT-PCR testing and analysis of discordant cases. *Eur J Radiol* 2020;130:109192
31. Krdzalic J, de Jaegere TMH, Kwee RM. Diagnostic performance of chest CT in screening patients with suspected COVID-19 infection in a Western population. *Br J Radiol* 2020;93:20200643

32. Kuzan TY, Murzoğlu Altıntoprak K, Çiftçi HÖ, Ergül U, Ünal Özdemir NB, Bulut M, et al. A comparison of clinical, laboratory and chest CT findings of laboratory-confirmed and clinically diagnosed COVID-19 patients at first admission. *Diagn Interv Radiol* 2021;27:336-343
33. Schulze-Hagen M, Hübel C, Meier-Schroers M, Yüksel C, Sander A, Sähn M, et al. Low-dose chest CT for the diagnosis of COVID-19—A systematic, prospective comparison with PCR. *Dtsch Arztebl Int* 2020;117:389-395
34. Cozzi A, Schiaffino S, Arpaia F, Della Pepa G, Tritella S, Bertolotti P, et al. Chest x-ray in the COVID-19 pandemic: radiologists' real-world reader performance. *Eur J Radiol* 2020;132:109272
35. Ippolito D, Pecorelli A, Maino C, Capodaglio C, Mariani I, Giandola T, et al. Diagnostic impact of bedside chest X-ray features of 2019 novel coronavirus in the routine admission at the emergency department: case series from Lombardy region. *Eur J Radiol* 2020;129:109092
36. Pakray A, Walker D, Figacz A, Kilanowski S, Rhodes C, Doshi S, et al. Imaging evaluation of COVID-19 in the emergency department. *Emerg Radiol* 2020;27:579-588
37. Pare JR, Camelo I, Mayo KC, Leo MM, Dugas JN, Nelson KP, et al. Point-of-care lung ultrasound is more sensitive than chest radiograph for evaluation of COVID-19. *West J Emerg Med* 2020;21:771-778
38. Peyrony O, Marbeuf-Gueye C, Truong V, Giroud M, Rivière C, Khenissi K, et al. Accuracy of emergency department clinical findings for diagnosis of coronavirus disease 2019. *Ann Emerg Med* 2020;76:405-412
39. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. Guidelines for recommended patient dose of radiographic examinations. Available at: https://www.nifds.go.kr/brd/m_15/view.do?seq=5365&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=41. Published Nov 25, 2012. Accessed Jun 5, 2021
40. Colombi D, Bodini FC, Petrini M, Maffi G, Morelli N, Milanese G, et al. Well-aerated lung on admitting chest CT to predict adverse outcome in COVID-19 pneumonia. *Radiology* 2020;296:E86-E96
41. Francone M, Iafrate F, Masci GM, Coco S, Cilia F, Manganaro L, et al. Chest CT score in COVID-19 patients: correlation with disease severity and short-term prognosis. *Eur Radiol* 2020;30:6808-6817
42. Matos J, Paparo F, Mussetto I, Bacigalupo L, Veneziano A, Perugin Bernardi S, et al. Evaluation of novel coronavirus disease (COVID-19) using quantitative lung CT and clinical data: prediction of short-term outcome. *Eur Radiol Exp* 2020;4:39
43. Raoufi M, Safavi Naini SAA, Azizan Z, Jafar Zade F, Shojaeian F, Ghanbari Boroujeni M, et al. Correlation between chest computed tomography scan findings and mortality of COVID-19 cases; a cross sectional study. *Arch Acad Emerg Med* 2020;8:e57
44. Kerpel A, Apter S, Nissan N, Hourri-Levi E, Klug M, Amit S, et al. Diagnostic and prognostic value of chest radiographs for COVID-19 at presentation. *West J Emerg Med* 2020;21:1067-1075
45. Kim HW, Capaccione KM, Li G, Luk L, Widemon RS, Rahman O, et al. The role of initial chest X-ray in triaging patients with suspected COVID-19 during the pandemic. *Emerg Radiol* 2020;27:617-621
46. Toussie D, Voutsinas N, Finkelstein M, Cedillo MA, Manna S, Maron SZ, et al. Clinical and chest radiography features determine patient outcomes in young and middle-aged adults with COVID-19. *Radiology* 2020;297:E197-E206
47. Chon Y, Kim JY, Suh YJ, Lee JY, Park JS, Moon SM, et al. Adverse initial CT findings associated with poor prognosis of coronavirus disease. *J Korean Med Sci* 2020;35:e316
48. Feng Z, Yu Q, Yao S, Luo L, Zhou W, Mao X, et al. Early prediction of disease progression in COVID-19 pneumonia patients with chest CT and clinical characteristics. *Nat Commun* 2020;11:4968
49. Leonardi A, Scipione R, Alfieri G, Petrillo R, Dolciami M, Ciccarelli F, et al. Role of computed tomography in predicting critical disease in patients with covid-19 pneumonia: a retrospective study using a semiautomatic quantitative method. *Eur J Radiol* 2020;130:109202
50. Li K, Chen D, Chen S, Feng Y, Chang C, Wang Z, et al. Predictors of fatality including radiographic findings in adults with COVID-19. *Respir Res* 2020;21:146
51. Li Y, Yang Z, Ai T, Wu S, Xia L. Association of "initial CT" findings with mortality in older patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Eur Radiol* 2020;30:6186-6193
52. Ruch Y, Kaeuffer C, Ohana M, Labani A, Fabacher T, Bilbault P, et al. CT lung lesions as predictors of early death or ICU admission in COVID-19 patients. *Clin Microbiol Infect* 2020;26:1417.e5-1417.e8
53. Sabri A, Davarpanah AH, Mahdavi A, Abrishami A, Khazaei M, Heydari S, et al. Novel coronavirus disease 2019: predicting prognosis with a computed tomography-based disease severity score and clinical laboratory data. *Pol Arch Intern Med* 2020;130:629-634

54. Wang X, Hu X, Tan W, Mazzone P, Mireles-Cabodevila E, Han X, et al. Multicenter study of temporal changes and prognostic value of a CT visual severity score in hospitalized patients with coronavirus disease (COVID-19). *AJR Am J Roentgenol* 2021;217:83-92
55. Zheng Y, Xiao A, Yu X, Zhao Y, Lu Y, Li X, et al. Development and validation of a prognostic nomogram based on clinical and CT features for adverse outcome prediction in patients with COVID-19. *Korean J Radiol* 2020; 21:1007-1017
56. Mahdjoub E, Mohammad W, Lefevre T, Debray MP, Khalil A. Admission chest CT score predicts 5-day outcome in patients with COVID-19. *Intensive Care Med* 2020;46:1648-1650
57. Yuan M, Yin W, Tao Z, Tan W, Hu Y. Association of radiologic findings with mortality of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *PLoS One* 2020;15:e0230548
58. Cocconcelli E, Biondini D, Giraudo C, Lococo S, Bernardinello N, Fichera G, et al. Clinical features and chest imaging as predictors of intensity of care in patients with COVID-19. *J Clin Med* 2020;9:2990
59. Lichter Y, Topilsky Y, Taieb P, Banai A, Hochstadt A, Merdler I, et al. Lung ultrasound predicts clinical course and outcomes in COVID-19 patients. *Intensive Care Med* 2020;46:1873-1883
60. Bosso G, Allegorico E, Pagano A, Porta G, Serra C, Minerva V, et al. Lung ultrasound as diagnostic tool for SARS-CoV-2 infection. *Intern Emerg Med* 2021;16:471-476
61. Chou R, Pappas M, Buckley D, McDonagh M, Totten A, Flor N, et al. *Use of chest imaging in COVID-19: a rapid advice guide*. Geneva: World Health Organization 2020
62. Oba Y, Zaza T. Abandoning daily routine chest radiography in the intensive care unit: meta-analysis. *Radiology* 2010;255:386-395
63. Hejblum G, Chalumeau-Lemoine L, loos V, Boëlle PY, Salomon L, Simon T, et al. Comparison of routine and on-demand prescription of chest radiographs in mechanically ventilated adults: a multicentre, cluster-randomised, two-period crossover study. *Lancet* 2009;374:1687-1693
64. Lakhal K, Serveaux-Delous M, Lefrant JY, Capdevila X, Jaber S, AzuRéa network for the RadioDay study group. Chest radiographs in 104 French ICUs: current prescription strategies and clinical value (the RadioDay study). *Intensive Care Med* 2012;38:1787-1799
65. Expert Panel on Thoracic Imaging, Laroia AT, Donnelly EF, Henry TS, Berry MF, Boiselle PM, et al. ACR Appropriateness Criteria® intensive care unit patients. *J Am Coll Radiol* 2021;18:S62-S72
66. Driggin E, Madhavan MV, Bikdeli B, Chuich T, Laracy J, Biondi-Zoccai G, et al. Cardiovascular considerations for patients, health care workers, and health systems during the COVID-19 pandemic. *J Am Coll Cardiol* 2020;75:2352-2371
67. Orsi MA, Oliva AG, Cellina M. Radiology department preparedness for COVID-19: facing an unexpected outbreak of the disease. *Radiology* 2020;295:E8
68. Cui S, Chen S, Li X, Liu S, Wang F. Prevalence of venous thromboembolism in patients with severe novel coronavirus pneumonia. *J Thromb Haemost* 2020;18:1421-1424
69. Klok FA, Kruij MJHA, van der Meer NJM, Arbous MS, Gommers D, Kant KM, et al. Confirmation of the high cumulative incidence of thrombotic complications in critically ill ICU patients with COVID-19: an updated analysis. *Thromb Res* 2020;191:148-150
70. Xu Z, Shi L, Wang Y, Zhang J, Huang L, Zhang C, et al. Pathological findings of COVID-19 associated with acute respiratory distress syndrome. *Lancet Respir Med* 2020;8:420-422
71. National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. Guidelines for justification and optimization of CT examination in diagnostic radiology. Available at: https://nifds.go.kr/brd/m_15/view.do?seq=5331&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=92. Published Oct 15, 2012. Accessed Jun 5, 2021

한국형 COVID-19 흉부영상 진단 시행 가이드라인

진광남¹ · 도경현² · 남보다³ · 황성호⁴ · 최미영⁵ · 용환석^{6*}

흉부영상의 적절한 활용을 위해 한국형 코로나바이러스 감염증(이하 COVID-19) 흉부영상 진단 시행 가이드라인을 개발하였다. 8가지 문장형 핵심 질문을 선정하고, 근거기반 임상영상 가이드라인 수용개작 방법론에 의거하여 권고안을 작성하였다. 권고 내용은 다음과 같다. COVID-19 확진자와 접촉한 증상이 없는 사람에 대하여 COVID-19의 진단을 위하여 흉부영상검사(흉부X선검사 또는 CT)를 사용하지 않는 것이 적절하다. COVID-19가 의심되는 증상이 있으나 reverse transcription polymerase chain reaction 검사를 이용할 수 없는 경우 흉부영상검사 사용을 고려할 수 있다. COVID-19가 확인된 환자에게 병원 입원을 결정하기 위하여 임상 평가 및 검사실 검사와 함께 흉부영상검사를 고려할 수 있다. COVID-19 입원 환자의 증상 경중 및 위험요인의 유무에 따라 흉부영상검사를 고려할 수 있으며, 치료 방법을 결정하거나 수정하는데 이용할 수 있다. COVID-19 환자에서 객혈 또는 폐색전증이 의심되는 경우 CT 혈관조영술을 시행할 수 있다. 증상이 호전된 COVID-19 환자의 퇴원 결정을 하는데 흉부영상검사를 사용하지 않는 것이 적절하다. COVID-19에서 회복된 환자를 추적 검사할 때 폐 기능 장애가 있는 환자에서 치료 가능한 폐질환과 구별하기 위해 흉부영상검사를 고려할 수 있다.

¹서울특별시보라매병원 영상의학과,

²울산대학교 의과대학 서울아산병원 영상의학과,

³순천향대학교 서울병원 영상의학과,

⁴고려대학교 안암병원 영상의학과,

⁵한국보건 의료연구원 보건 의료 근거 연구본부,

⁶고려대학교 구로병원 영상의학과