코로나19 흉부 영상에서 인공지능의 활용

김은영¹ · 정명진²

¹가천대학교 의과대학 길병원 영상의학과

²성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 영상의학과

Application of artificial intelligence in chest imaging for COVID-19

Eun Young Kim, MD¹ · Myung Jin Chung, MD²

¹Department of *Radiology*, Gil Medical Center, Gachon University College of Medicine, Incheon, Korea

²Department of *Radiology* and Center for Imaging Science, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

Background: The coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic has threatened public health. Medical imaging tools such as chest X-ray and computed tomography (CT) play an essential role in the global fight against COVID-19. Recently emerging artificial intelligence (AI) technologies further strengthen the power of imaging tools and help medical professionals. We reviewed the current progress in the development of AI technologies for the diagnostic imaging of COVID-19.

Current Concepts: The rapid development of AI, including deep learning, has led to the development of technologies that may assist in the diagnosis and treatment of diseases, prediction of disease risk and prognosis, health index monitoring, and drug development. In the era of the COVID-19 pandemic, AI can improve work efficiency through accurate delineation of infections on chest X-ray and CT images, differentiation of COVID-19 from other diseases, and facilitation of subsequent disease quantification. Moreover, computer-aided platforms help radiologists make clinical decisions for disease diagnosis, tracking, and prognosis.

Discussion and Conclusion: We reviewed the current progress in AI technology for chest imaging for COVID-19. However, it is necessary to combine clinical experts' observations, medical image data, and clinical and laboratory findings for reliable and efficient diagnosis and management of COVID-19. Future AI research should focus on multi-modality-based models and how to select the best model architecture for COVID-19 diagnosis and management.

Key Words: COVID-19; Radiography; Diagnostic imaging; Artificial intelligence

서론

Received: August 19, 2021 Accepted: August 24, 2021

Corresponding author: Myung Jin Chung
E-mail: mj1.chung@samsung.com

© Korean Medical Association

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

코로나바이러스감염증-19(코로나19) 대유행으로 2021년 8월 초 기준, 전 세계적으로 확진 환자 2억 명 이상, 사망자는 400만 명을 넘어섰으며, 사망률은 0.00–1.54%(중앙값, 0.23%)로 발표되고 있다[1]. 코로나-19의 중증 호흡기 감염을 조기에 선별하고 치료 경과를 관찰하기 위해 흉

부 X선 및 컴퓨터단층촬영(computed tomography, CT)과 같은 영상검사가 중요한 역할을 하고 있으며, 여기에 자동화된 인공지능(artificial intelligence, AI) 기술을 적용했을 때 많은 환자를 짧은 시간 내에 빠르게 분류하고, 치료 경과를 효과적으로 모니터링할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 이 논문에서는 코로나19 환자의 흉부 영상검사에 있어 AI의 적용사례에 대해 정리하고, 그 한계점과 앞으로 나아갈 방향에 대해 고찰하고자 한다.

코로나19와 흉부 영상검사

코로나19 감염의 전파를 막고 환자를 적절히 치료하기 위해서 신속 정확하고, 저렴하면서도 접근도가 높은 진단검사법이 필요하다. 코로나19의 표준 진단검사법은 역전사 효소중합효소사슬반응(reverse transcriptase polymerase chain reaction, RT-PCR)인데, 결과를 확인하는 데 평균 6시간 이상이 소요되며, 특히 의료자원이 부족한 곳에서 의 심환자가 기하급수적으로 늘어났던 대유행 초창기에는 길게는 1주일까지 지연 보고가 발생하는 등 적절한 진단이 어려운 상황이었다. 이로 인해 흉부 X선 검사와 CT가 코로나19의 진단을 위한 일차 확진 검사로서 그 역할을 기대 받았으나, 시간이 지남에 따라 RT-PCR 검사의 민감도가 개선되고, 코로나19 질병과 치료에 대한 이해도가 향상되면서 흉부 영상검사는 일차 진단의 목적으로 사용하지 말 것을 권고하고 있다. 대한영상의학회/대한흉부영상의학회 권고안을 포함한 대부분의 의료영상 권고안은 흉부 영상검사를 진단 후 호흡기 증상이 악화되는 경우나 의료 물자가 제한된 상황에서 코로나19의 가능성의 높거나 중증으로 이환될 가능성이 높은 환자들을 선별하기 위한 유용한 수단으로서 추천하고 있다[2]. 2020년 초반 대구지역에서 발생하였던 코로나19 집단감염 자료에 따르면, 7,057명의 지역 코호트 가운데 약 77.4%는 무증상/경증(30.6%/46.8%)이었고, 중등증(14%), 중증(5.4%), 위중증(3.2%)으로, 사망률은 2.5%로 보고되었다[3]. 중국 전역의 1,099명의 확진 입원 환자를 대상으로 발표된 연구에 따르면, 6.1%의 환자에서 예후가 좋지 않아

중환자실 치료(5%) 및 인공 호흡기 치료(2.3%)가 필요했고, 1.4%는 사망에 이르렀다[4]. 코로나19 확진 환자 가운데, 나이가 많고 동반질환이 있는 경우 중증도가 높았다[3,4].

흉부 X선 검사는 폐질환을 분류하고 추적관찰하는 데 있어서 전 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 기본 영상검사법이다. 코로나19 감염 초기에는 상기도 호흡기 감염으로 시작하여 점차 폐렴으로 진행되기 때문에 각 병원 단위의 선별 진료실에서 중증 감염환자를 선별하기 위한 목적으로 흉부 X선 검사가 시행되고 있다. 그러나 초기 폐렴의 경우 흉부 X선 검사에서 잘 보이지 않을 수 있고, 다른 질환과의 감별이 어렵기 때문에 흉부 CT가 그 대안으로 고려될 수 있다. 일반적으로 폐렴을 진단하는 데 있어 흉부 CT의 민감도는 높으나 특정 원인균을 감별하는 특이도는 낮다. 코로나19 폐렴의 전형적인 흉부 CT 소견은 변연부 중심의 다발성 간유리음영과 반점형 폐경화이며, 양측성이 흔하고, 후방의 하폐를 주로 침범하며, 증상 발생 후 시간이 경과함에 따라 순수한 간유리음영에서 혼합 간유리음영 또는 폐경화로 진행되는 경향을 보인다[2,5,6].

코로나19 대유행에 흉부 영상검사로 중증 호흡기 감염을 초기에 선별하고 치료 경과를 관찰하기 위해서 전문가에 의한 적절한 영상 질 관리, 일관된 판독이 이루어져야 하며, 정규 시간뿐 아니라 정규 시간 외 촬영하는 검사에 대해서도 신속한 판독이 이루어져야 한다.

AI 기술의 의료 적용

2012년 이래 급속한 발전을 거듭한 AI 기술은 인간의 삶에 큰 변화를 일으키고 있으며, 미래에는 AI가 질병을 진단하는 시대가 올 것이라는 예측과 함께 의사라는 직업이 사라질 수도 있다는 우려가 나오기도 했다[7,8]. 하지만 AI 기술의 임상 적용은 현재 초기 단계이고, 임상적 효용성에 대한 충분한 근거를 바탕으로 실제 진료 현장에 널리 사용되는 예는 아직 찾아보기 힘들다. 기계학습은 AI를 구현하는 한 방법으로 명시적인 프로그램 없이도 학습할 수 있는 능력을 부여하는 연구 분야이다. 딥러닝은 인공지능망에 바탕을 둔 기

Figure 1. Chest radiography (A) shows patchy infiltrates in both lower lung fields (arrows). The corresponding chest computed tomography image (B) obtained in the same day with the chest radiography shows multifocal patchy ground-glass opacities in both lower lobes of the lung. The artificial intelligence system correctly detected pulmonary infiltration (C). In the reader-alone interpretation, four thoracic (4 of 5) radiologists correctly identified the abnormality while none (0 of 5) of the non-radiologist physicians identified the abnormality. In the artificial intelligence-assisted interpretation, all five thoracic radiologists and four non-radiologist physicians identified the abnormality. Adapted from Hwang EJ, et al. PLoS One 2021;16:e0252440, according to the Creative Commons license BMJ Publishing Group. Representative case with coronavirus disease 2019 pneumonia [14].

계학습의 세부 분야로서 최근 비약적 발전을 이루고 있다. 사람의 뉴런을 모방하여, 단순한 연산 단위를 여러 계층으로 설계하여 대단위로 구성하고, 여기에 다량의 데이터와 반복 훈련을 통해 패턴 인식에 관련된 각종 기능을 수행하게 하는 기법이다. 딥러닝을 위해서는 많은 데이터와 연산능력이 필요하며, 왜 그러한 결과가 도출되었는지 명확한 설명을 하기 어려운 ‘블랙박스’와 같은 성격을 가지는 단점이 있지만, 미리 고안한 프로그래밍 없이도 데이터를 이용하여 스스로 특성을 추출해내며, 정확도가 높고 복잡하고 다양한 문제에 적용이 가능한 장점이 있다. 딥러닝 기술 중 가장 각광을 받고 있는 기술 가운데 컴퓨터 비전(computer vision)으로도 알려진 합성곱신경망(Convolutional Neural Network)이 영상 분야에 적용되면서 영상의학은 AI 기술이 가장 활발히 적용되는 의학 분야가 되고 있다. 최근, 영상의학에서는 기존의 공개 영상 데이터의 적절한 활용과 추가적인 대규모 영상 데이터베이스의 구축을 통해, 딥러닝을 적용한 수많은 논문 발표와 제품 개발이 활발히 이루어지고 있다.

코로나19 흉부 영상과 AI 기술 적용 현황

코로나19 흉부 영상 AI 연구는 2020년 4월 Bai 등[9]의 딥러닝 논문이 *Radiology*에 출판된 이후 수백 편의 논문이

출간되었으며, 이보다 훨씬 많은 연구들이 arXiv, medRxiv, SSRN, Research Square 등 연구데이터베이스에 등록되고 있다.

딥러닝 연구는 영상의학 분야에서 병변의 검출, 병변의 분할, 진단 및 예후 예측 등 여러 분야의 연구에서 우수한 성적을 나타내 왔다. 연구문헌에서 확인된 코로나19와 관련된 의료영상 AI 연구의 주된 세 가지 주제는 코로나19 탐지, 폐렴의 원인이 코로나19인지에 대한 구분, 코로나19 이환 부위 정량화를 통한 예후 예측이다.

대부분의 연구에서 AI 알고리즘이 흉부 영상에서 코로나19로 인한 폐 침윤을 검출하는 데 민감도가 높았고, AI가 폐렴의 다른 원인균과 코로나19를 성공적으로 구별할 수 있음을 보여주었다[9–13]. Zhang 등[13]은 코로나19 폐렴 환자 2,060명과 그 외 원인균에 의한 폐렴 환자 3,148명의 흉부 X선 사진으로 AI 모델을 학습했다. 테스트 데이터셋에서 AI 모델은 곡선하면적(area under the curve, AUC) 0.92, 민감도 및 특이도가 각각 88%와 78%로 나타났다. Hwang 등[14]은 흉부 X선 사진에 대한 상용 AI 시스템을 코로나19 진단에 사용하여 평가하였다(Figure 1). AI의 성능은 RT-PCR 및 흉부 CT를 참조표준으로 삼았을 때 각각 AUC 0.71 및 0.79로 영상의학과 전문의와 유사한 성능(AUC, 0.70 및 0.78)을 보였고, 타과 전문의(AUC, 0.58 및 0.65)의 경우보다 높은 것으로 나타났다. 비영상의학과 전문의에게 AI를 판독 보조로 지원하였을 때 코로나19 진단 및 폐렴에 대한 진단 성능이 향상됨을 보였다(각각 AUC 0.58에서 0.66 및 0.65에서 0.74로 의미 있는 향상을 보임). 또한, 의료진 간의 진단 합의도 개선되었다(Fleiss 카파계수, 0.21에서 0.32로 향상). 이러한 결과를 바탕으로, 영상의학과 전문의가 부족한 상황에서 상용 AI 시스템을 코로나19 및 코로나19로 인한 폐렴을 식별하는 데 보조적으로 사용함으로써, 흉부 X선 검사의 해석 및 이를 바탕으로 한 환자 선별에 도움이 된다고 제안하였다. Bai 등[9]은 코로나19 폐렴

환자 521명과 그 외 원인군에 의한 폐렴 환자 665명의 흉부 CT 사진으로 AI 모델을 학습시켰고, 학습된 최종 AI 알고리즘은 AUC 0.95, 민감도 및 특이도가 각각 95%와 96%로 나타났다. 또한 해당 AI 시스템의 보조 하에 영상의학과 전문의가 코로나19 폐렴으로 분류하는 능력이 향상됨을 보여주었다(정확도 85%에서 90%로, 민감도 79%에서 88%로, 특이도 88%에서 91%로 모두 의미 있는 향상을 보임). Brunese 등[15]은 다기관에서 수집한 6,523개의 흉부 X선 영상에 대한 실험 분석 결과 코로나19 검출에 평균 약 2.5초의 시간 동안 평균 정확도 90%의 성능을 보고하였다. 또한 Singh 등[16]은 흉부 X선 영상을 사용하여 코로나19 환자를 신속하게 분류할 수 있는 딥러닝 프로그램을 고안하였는데, 이들의 시스템은 표준 데이터세트에서 세 가지 그룹, 즉 코로나19 군, 그 외 폐렴군, 정상군으로 나누어 테스트를 시행한 결과, 98.67%의 높은 정확도를 보여 임상에서 코로나19 환자 평가의 중요한 요소로 사용될 수 있음을 주장하였다.

코로나19 유무에 대한 판별이나, 폐렴의 원인이 코로나19인가 아닌가 같은 이분법적 진단 모델은 초기 AI 연구 모델 중 하나였고, 더 나아가 확진 환자들이 향후 산소치료나 기관 삽관 등과 같은 치료가 필요할 것인가[17], 급성호흡곤란증후군 또는 사망으로 진행할 것인가[18,19] 등의 경과 예측 연구들이 발표되었다.

세계보건기구에서는 진단 24-48시간 이내의 영상검사에서 폐렴 영역이 폐의 50%를 초과할 때 이를 중증 환자로 분류하고 있으며[1], 코로나19 환자의 흉부 영상에서 폐렴의 범위가 클수록 중증 폐렴에 이환되거나 사망의 확률이 높다는 결과들을 보고하였다[5,6,17-20]. Jeong 등[6]에 따르면 코호트 환자의 CT에서 영상의학과 전문의가 반정량적 방법으로 점수화한 병변의 범위와 자동 정량화 AI 소프트웨어가 도출한 병변의 범위 사이에 일치도가 높았고, 두 수치 모두 환자의 불량 예후를 예측하는 독립적 지표임을 밝혔다. Mushtaq 등[19]의 사망률 예측 연구는 코로나19로 확진된 697명의 성인환자를 대상으로 한 단일 기관 연구로서, 상용 AI 시스템이 환자의 초기 흉부 X선 사진을 분석하여 폐병변의 침범 정도를 점수화하였는데, 이는 위중증 환자(중환자실 입실 또는 사망)를 예측하는 데 있어 위험도 3.4로 유의미함

을 보여주었다.

그 외 초기 흉부 영상뿐만 아니라 추적 영상을 함께 AI 모델링에 활용하는 연구[21] 및 AI 모델이 여러 국가의 환자들에게 일반적으로 적용 가능한 성능을 보이는지에 대한 검증 연구[22]도 발표되었다. 영상데이터와 임상데이터를 통합하여 AI 모델링에 적용하여, 임상의무기록은 자연어 처리를 통해, 흉부 X선 검사에서의 폐 침윤의 정보 등을 함께 활용하여 중환자실 입원 유무를 예측하는 기계학습 모델이 발표되기도 하였다[23].

코로나19 의료영상 AI 연구의 한계점

코로나19 의료영상 AI 연구들은 훌륭한 진단 성능을 보여주고 있지만, 실제 진료 현장에 적용할 수 있을지 여부는 아직은 분명치 않다. 대부분의 AI 연구는 구체적인 임상적 효용성의 검토 없이 학습 데이터를 구성하여 개발되었고, 학습데이터가 임상 상황을 충분히 대표할 수 없다는 제한점이 있다. 예를 들어, 대부분의 AI 연구에서 코로나19 음성 환자의 경우 다양한 폐질환(폐암이나 폐 전이, 기관지 확장증과 같은 비감염 염증 질환)들은 모두 배제한 채, 단지 정상 또는 다른 폐렴군을 가진 환자로 구성하였는데, 이는 실제 임상 환경을 반영하지 못하기 때문에 AI 단독으로 사용될 경우 문제가 될 수 있다. 이 같은 우려를 보완하기 위해서는 판독자가 AI 결과를 참고하되 다양한 임상정보와 검사실 소견 등을 종합하여 임상 결정을 하는 것이 보다 바람직하다.

최근 대한흉부영상의학회에서 구축한 코로나19 임상, 영상데이터 코호트(Korean Imaging Cohort of COVID-19) 및 Cancer Imaging Archive, the British National COVID-19 Chest Imaging Database 및 Valencian Region Medical Image Bank 등 온라인에 공개하는 코로나19 데이터세트들이 증가하고 있다[24-28]. 공개 데이터세트들은 품질과 그 효용이 다양한데, 의료영상 및 이상소견의 유무, 레이블링, 검사실 소견 및 치료 결과 데이터들의 포함 여부와 범위 등은 상이하다. 레이블링 또한 코로나19 여부와 같은 단순한 차원으로 디자인된 것부터 병변 부위에 대한 해부

학적 정보 및 진단 항체검사 결과까지 포함하는 포괄적인 데이터세트도 존재하는데, 이러한 데이터는 제한적으로 공개하고 있어 AI 연구에 통합적으로 사용되기에 어려움이 있다. AI 모델의 성능이 과적합이 아니라, 일반화하여 적용 가능한가를 평가하기 위해 학습에 사용하지 않았던 외부 데이터로 성능을 검증하는 과정이 필요한데, 이를 위한 품질을 갖춘 충분한 임상 데이터세트도 부족하다.

이러한 문제들을 해결하기 위해서는 AI 연구디자인에 환자를 중심으로 한 진료 현장의 요구와 의료전문가의 경험과 지식으로부터 나오는 실제적 쓰임새에 대한 충분한 고려, AI 기술의 적절한 검증을 위한 올바른 방법에 대한 이해가 필요하다. 또한 의료 분야에 즉각적으로 활용 가능한 의료 빅데이터가 드물며, 실제로 의료 빅데이터의 구축이 매우 어렵다는 점을 기억할 필요가 있다.

코로나19 의료영상 AI를 실제 임상현장에서 적용하기 위해서는 AI 시스템을 환자 진단 및 치료에 접목했을 때, 재원기간의 단축, 합병증과 사망률의 감소 등과 같은 치료 결과의 이득이 있는지를 전향적으로 검증하는 연구가 필요하다. 또한 AI 모델에 영상소견 이외에도 임상정보 및 검사실 소견 등이 포괄적으로 통합적으로 활용될 필요가 있고, 코로나19로 인한 장기 후유증을 분석하는 연구도 기대된다.

결론

코로나19 진단 및 중증도 평가, 경과 관찰에 있어 흉부 X선 및 CT는 중요한 역할을 하고 있다. 흉부 영상에 기반한 AI 연구들은 코로나19 진단에 대하여 기대할 만한 민감도와 특이도를 보였고, 병변의 정량화를 통한 예후 예측의 가능성을 보여주었다. 코로나19 진료 현장에 보조적으로 활용하여 코로나19 확진 전 단계에서는 감염 가능성이 높은 의심환자를 선별해 확진에 걸리는 시간을 줄이고, 확진 환자에서는 입원치료가 필요한 고위험 환자 및 고위험으로 진행할 환자를 예측하는 객관적인 지표로 활용되어 입원치료의 우선순위 선정에 대한 의사결정에 도움이 될 것으로 기대한다. 의료영상 AI를 실제 코로나19의 임상현장에 적용하기 위해서

는 AI가 사용될 구체적인 임상 상황을 고려하여 데이터 구축을 하고, AI 모델에 영상소견 이외에도 임상정보 및 검사실 소견 등이 포괄적으로 통합적으로 활용될 필요가 있으며, 외부검증을 통한 성능평가가 필요하다.

찾아보기말: 코로나19; 방사선영상촬영; 진단영상; 인공지능

ORCID

Eun Young Kim, <https://orcid.org/0000-0002-2101-7982>

Myung Jin Chung, <http://orcid.org/0000-0002-6271-3343>

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

This research was supported by a grant of the Information and Communications Promotion Fund (ICT promotion fund) through the National IT Industry Promotion Agency (NIPA), funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT), Republic of Korea.

References

1. World Health Organization. Report of the WHO-China joint mission on coronavirus disease 2019 (COVID-19) [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2020 [cited 2021 Aug 5]. Available from: [https://www.who.int/publications/i/item/report-of-the-who-china-joint-mission-on-coronavirus-disease-2019-\(covid-19\)](https://www.who.int/publications/i/item/report-of-the-who-china-joint-mission-on-coronavirus-disease-2019-(covid-19)).
2. Korean Society of Radiology; Guideline Committee; COVID-19 Sub-Committee, Jin KN, Yoon SH, Park CH, Beck KS, Do KH, Yong HS. KSR/KSTR guidelines for the use of diagnostic imaging for COVID-19. J Korean Soc Radiol 2020;81:577-582.
3. Kim SW, Kim SM, Kim YK, Kim JY, Lee YM, Kim BO, Hwangbo S, Park T. Clinical characteristics and outcomes of COVID-19 cohort patients in Daegu Metropolitan city outbreak in 2020. J Korean Med Sci 2021;36:e12.
4. Guan WJ, Ni ZY, Hu Y, Liang WH, Ou CQ, He JX, Liu L, Shan H, Lei CL, Hui DSC, Du B, Li LJ, Zeng G, Yuen KY, Chen RC, Tang CL, Wang T, Chen PY, Xiang J, Li SY, Wang JL, Liang ZJ, Peng YX, Wei L, Liu Y, Hu YH, Peng P, Wang JM, Liu JY,

- Chen Z, Li G, Zheng ZJ, Qiu SQ, Luo J, Ye CJ, Zhu SY, Zhong NS; China Medical Treatment Expert Group for Covid-19. Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China. *N Engl J Med* 2020;382:1708-1720.
5. Yoo SJ, Goo JM, Yoon SH. Role of chest radiographs and CT scans and the application of artificial intelligence in coronavirus disease 2019. *J Korean Soc Radiol* 2020;81:1334-1347.
 6. Jeong YJ, Nam BD, Yoo JY, Kim KI, Kang H, Hwang JH, Kim YH, Lee KS. Prognostic implications of CT feature analysis in patients with COVID-19: a nationwide cohort study. *J Korean Med Sci* 2021;36:e51.
 7. Park SH. Artificial intelligence in medicine: beginner's guide. *J Korean Soc Radiol* 2018;78:301-308.
 8. Kim JH. Imaging informatics: a new horizon for *radiology* in the era of artificial intelligence, big data, and data science. *J Korean Soc Radiol* 2019;80:176-201.
 9. Bai HX, Wang R, Xiong Z, Hsieh B, Chang K, Halsey K, Tran TML, Choi JW, Wang DC, Shi LB, Mei J, Jiang XL, Pan I, Zeng QH, Hu PF, Li YH, Fu FX, Huang RY, Sebro R, Yu QZ, Atalay MK, Liao WH. Artificial intelligence augmentation of radiologist performance in distinguishing COVID-19 from pneumonia of other origin at chest CT. *Radiology* 2020;296:E156-E165.
 10. Li L, Qin L, Xu Z, Yin Y, Wang X, Kong B, Bai J, Lu Y, Fang Z, Song Q, Cao K, Liu D, Wang G, Xu Q, Fang X, Zhang S, Xia J, Xia J. Using artificial intelligence to detect COVID-19 and community-acquired pneumonia based on pulmonary CT: evaluation of the diagnostic accuracy. *Radiology* 2020;296:E65-E71.
 11. van Ginneken B. The potential of artificial intelligence to analyze chest radiographs for signs of COVID-19 pneumonia. *Radiology* 2021;299:E214-E215.
 12. Wehbe RM, Sheng J, Dutta S, Chai S, Dravid A, Barutcu S, Wu Y, Cantrell DR, Xiao N, Allen BD, MacNealy GA, Savas H, Agrawal R, Parekh N, Katsaggelos AK. DeepCOVID-XR: an artificial intelligence algorithm to detect COVID-19 on chest radiographs trained and tested on a large U.S. clinical data set. *Radiology* 2021;299:E167-E176.
 13. Zhang R, Tie X, Qi Z, Bevins NB, Zhang C, Griner D, Song TK, Nadig JD, Schiebler ML, Garrett JW, Li K, Reeder SB, Chen GH. Diagnosis of coronavirus disease 2019 pneumonia by using chest radiography: value of artificial intelligence. *Radiology* 2021;298:E88-E97.
 14. Hwang EJ, Kim KB, Kim JY, Lim JK, Nam JG, Choi H, Kim H, Yoon SH, Goo JM, Park CM. COVID-19 pneumonia on chest X-rays: Performance of a deep learning-based computer-aided detection system. *PLoS One* 2021;16:e0252440.
 15. Brunese L, Mercaldo F, Reginelli A, Santone A. Explainable deep learning for pulmonary disease and coronavirus COVID-19 detection from X-rays. *Comput Methods Programs Biomed* 2020;196:105608.
 16. Singh RK, Pandey R, Babu RN. COVIDScreen: explainable deep learning framework for differential diagnosis of COVID-19 using chest X-rays. *Neural Comput Appl* 2021 Jan 8 [Epub]. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05636-6>.
 17. Lanza E, Muglia R, Bolengo I, Santonocito OG, Lisi C, Angelotti G, Morandini P, Savevski V, Politi LS, Balzarini L. Quantitative chest CT analysis in COVID-19 to predict the need for oxygenation support and intubation. *Eur Radiol* 2020;30:6770-6778.
 18. Wang Y, Chen Y, Wei Y, Li M, Zhang Y, Zhang N, Zhao S, Zeng H, Deng W, Huang Z, Ye Z, Wan S, Song B. Quantitative analysis of chest CT imaging findings with the risk of ARDS in COVID-19 patients: a preliminary study. *Ann Transl Med* 2020;8:594.
 19. Mushtaq J, Pennella R, Lavalley S, Colarieti A, Steidler S, Martinenghi CMA, Palumbo D, Esposito A, Rovere-Querini P, Tresoldi M, Landoni G, Ciceri F, Zangrillo A, De Cobelli F. Initial chest radiographs and artificial intelligence (AI) predict clinical outcomes in COVID-19 patients: analysis of 697 Italian patients. *Eur Radiol* 2021;31:1770-1779.
 20. Grodecki K, Lin A, Cadet S, McElhinney PA, Razipour A, Chan C, Pressman B, Julien P, Maurovich-Horvat P, Gaibazzi N, Thakur U, Mancini E, Agalbato C, Mene R, Parati G, Cernigliaro F, Nerlekar N, Torlasco C, Pontone G, Slomka PJ, Dey D. Quantitative burden of COVID-19 pneumonia on chest CT predicts adverse outcomes: a post-hoc analysis of a prospective international registry. *Radiol Cardiothorac Imaging* 2020;2:e200389.
 21. Pu J, Leader JK, Bandos A, Ke S, Wang J, Shi J, Du P, Guo Y, Wenzel SE, Fuhrman CR, Wilson DO, Sciarba FC, Jin C. Automated quantification of COVID-19 severity and progression using chest CT images. *Eur Radiol* 2021;31:436-446.
 22. Harmon SA, Sanford TH, Xu S, Turkbey EB, Roth H, Xu Z, Yang D, Myronenko A, Anderson V, Amalou A, Blain M, Kassin M, Long D, Varble N, Walker SM, Bagci U, Ierardi AM, Stellato E, Plensich GG, Franceschelli G, Girlando C, Irmici G, Labella D, Hammoud D, Malayeri A, Jones E, Summers RM, Choyke PL, Xu D, Flores M, Tamura K, Obinata H, Mori H, Patella F, Cariati M, Carrafiello G, An P, Wood BJ, Turkbey B. Artificial intelligence for the detection of COVID-19 pneumonia on chest CT using multinational datasets. *Nat Commun* 2020;11:4080.
 23. Hao B, Sotudian S, Wang T, Xu T, Hu Y, Gaitanidis A, Breen K, Velmahos GC, Paschalidis IC. Early prediction of level-of-care requirements in patients with COVID-19. *Elife* 2020;9:e60519.
 24. Jacob J, Alexander D, Baillie JK, Berka R, Bertolli O, Blackwood J, Buchan I, Bloomfield C, Cushman D, Docherty A, Edey A, Favaro A, Gleeson F, Halling-Brown M, Hare

S, Jefferson E, Johnstone A, Kirby M, McStay R, Nair A, Openshaw PJM, Parker G, Reilly G, Robinson G, Roditi G, Rodrigues JCL, Sebire N, Semple MG, Sudlow C, Woznitza N, Joshi I. Using imaging to combat a pandemic: rationale for developing the UK National COVID-19 Chest Imaging Database. *Eur Respir J* 2020;56:2001809.

25. Bilello E, Blake G. Chest imaging with clinical and genomic correlates representing a rural COVID-19 positive population (COVID-19-AR) [Internet]. Cancer Imaging Archive (TCIA); 2020 [cited 2021 Aug 5]. Available from: <https://wiki.cancerimagingarchive.net/pages/viewpage.action?pageId=70226443>.

26. Blake G. CT Images in COVID-19 [Internet]. Cancer Imaging Archive (TCIA); 2020 [cited 2021 Aug 5]. Available from: <https://wiki.cancerimagingarchive.net/display/Public/CT+Images+in+COVID-19>.

27. Vaya MDLL, Saborit JM, Montell JA, Pertusa A, Bustos A, Cazorla M, Galant J, Barber X, Orozco-Beltran D, Garcia-Garcia F, Caparros M, Gonzalez G, Salinas JM. BIMCV COVID-19+: a large annotated dataset of RX and CT images from COVID-19 patients. *arXiv:2006.01174* [Preprint]. 2020 [cited 2021 Aug 5]. Available from: <https://arxiv.org/abs/2006.01174>.

28. Langlotz CP. RSNA to collaborate on open-source COVID-19 medical image database: new medical imaging and data resource center will aid AI development and medical

advancement to battle COVID-19 [Internet]. Oak Brook: Radiological Society of North America; 2020 [cited 2021 Aug 5]. Available from: <https://www.rsna.org/news/2020/july/covid-19-midrc>

Peer Reviewers' Commentary

이 논문은 COVID-19 감염증의 진단 및 평가를 위한 영상진단에 있어서 인공지능 기술을 적용하는 것에 관한 최신 연구성과를 정리하여 설명해 주고 있다. COVID-19의 진단 및 평가를 위한 영상 검사의 역할에 대한 소개와 딥러닝 인공지능기술에 대한 간단한 소개를 시작으로 지난해 이후 발간된 수백 편의 논문을 탐지, 감별진단, 예후 예측이라는 세 가지 카테고리 구분하여 소개하고 있다. 또한 현재까지의 연구 개발 한계점 및 전망으로 마무리하고 있어서 현재의 수준을 한눈에 파악하는데 유용한 정보를 제공하고 있다. 인공지능 기술이 급속히 발전하고 있고 이에 대한 기대와 우려가 공존하는 상황에서 현재 의료계의 가장 중대한 위협인 COVID-19에 대한 인공지능 기술 적용에 대한 균형 잡힌 소개를 제시하고 있어 인공지능 기술 전반 및 그 임상 적용 가능성에 대한 객관적인 이해에 많은 도움을 줄 것으로 판단된다.

[정리: 편집위원회]