

호흡기 감염병 진단 기술 동향

Trends in Diagnostic Technology for Respiratory Infectious Disease

박정원 (J.W. Park, jwp0422@etri.re.kr)

진단치료기연구실 책임연구원

서홍석 (H.-S. Seo wisehss@etri.re.kr)

기업성장지원전략실 책임연구원

허철 (C. Huh, chuh@etri.re.kr)

진단치료기연구실 책임연구원/실장

박수준 (S.J. Park, psj@etri.re.kr)

디지털바이오의료연구본부 책임연구원/본부장

ABSTRACT

The emergence and resurgence of novel respiratory infectious diseases since the turn of the millennium, including SARS, H1N1 flu, MERS, and COVID-19, have posed a significant global health threat. Efforts to combat these threats have involved various approaches, however, continued research and development are crucial to prepare for the possibility of emerging viruses and viral variants. Direct detection methods for viral pathogens include molecular diagnostic techniques and immunodiagnostic methods, while indirect diagnostic methods involve detecting changes in the condition of infected patients through imaging diagnostics, gas analysis, and biosignal measurement. Molecular diagnostic techniques, utilizing advanced technologies such as gene editing, are being developed to enable faster detection than traditional PCR methods, and research is underway to improve the efficiency of diagnostic devices. Diagnostic technologies for infectious diseases continue to evolve, and several key trends are expected to emerge in the future. Automation will facilitate widespread adoption of rapid and accurate diagnostics, portable diagnostic devices will enable immediate on-site diagnosis by healthcare professionals, and advancements in AI-based deep learning diagnostic models will enhance diagnostic accuracy.

KEYWORDS 감염병, 면역 진단, 바이러스, 분자 진단, 생체신호

1. 서론

인류는 오랜 역사 속에서 다양한 감염병에 맞서 싸워왔다. 치명적인 질병들을 퇴치하기 위해 과학 기술을 발전시켜 항생제와 백신을 개발했지만, 생

활 영역을 넓혀 나가면서 예상치 못한 새로운 감염 병들이 끊임없이 등장하며 인류에게 위협을 가하고 있다. 특히 교통망의 확대로 인해 감염병이 짧은 시간 안에 멀리 퍼질 수 있게 되었다. 마치 전 세계가 하나의 커다란 마을이 된 것처럼, 한 곳에서 발생한

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2024.J.390406>

* 본 연구는 한국전자통신연구원 내부과제의 일환으로 수행되었음[22YR1210, 타액 기반 신변종 바이러스 현장형 신속 분자진단 시스템 개발].



본 저작물은 공공누리 제4유형

출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

©2024 한국전자통신연구원

질병이 순식간에 전 세계로 퍼질 수 있는 위험이 커졌다[1]. 이러한 감염병 중에서도 호흡기 질환 감염병은 전 세계적으로 엄청난 피해를 주는 주요 사망 원인 중 하나였다. 20세기 초 스페인 독감을 시작으로, 1957년 아시아 독감, 10년 뒤에는 홍콩 독감이 많은 사망자를 발생시키며 전 세계를 위협하였다. SARS, 신종플루, MERS, 코로나19 등 최근 2000년 이후 나타난 신종 호흡기 질환 감염병들은 그 발생 주기가 점점 짧아지고 더 빠르게 확산되어 치명적인 결과를 초래하여, 2020년 초 발발한 코로나19 팬데믹으로 인해 2024년 3월 말 현재까지도 7억 명이상의 감염자와 7백만 명 이상의 사망자가 생기고 있으며, 수조 달러의 경제적 손실이 발생하였다[2].

코로나19 팬데믹 시기에는 심각한 집단감염을 막기 위해 전 세계 국가들은 지역봉쇄, 활동 제한, 이동 제한 등 강력한 사회적 거리 두기 정책을 시행하였다. 이러한 정책들은 확실히 팬데믹 확산을 억제하는 데 효과적이었지만, 동시에 국민의 일상생활과 기업의 경제활동에 큰 타격을 입혔다[3].

이러한 위협에 맞서 긴급한 진단 기술을 비롯하여 백신 및 치료제 개발, 예방 조치 강화 등 다양한 노력이 이루어져 현재는 코로나19 팬데믹을 극복한 상태가 되었다.

특히 진단 기술의 발전은 감염병과의 싸움에서 가장 중요한 역할 중 하나를 담당했다. 신속하고 정확한 진단은 조기 치료 및 격리를 가능하게 하고, 감염 확산을 막으며, 공중 보건 관리를 위한 중요한 정보를 제공하였다.

이처럼 감염병 진단 기술은 인간의 건강과 안전을 지키는 데 중요한 역할을 하였다. 앞으로도 새로운 바이러스의 등장과 변종 바이러스의 출현 가능성에 대비하여 지속적인 연구개발과 혁신이 필요하다. 더욱 정밀하고 빠르며 저렴한 진단 기술 개발을 통해 미래의 바이러스 위협에 적극적으로 대응할

수 있도록 해야 할 것이다.

본고에서는 지금까지 개발되어 사용되고 있는 감염병 진단 기술의 동향을 살펴보고, 미래 진단 기술 발전 방향에 대해 논의해 보고자 한다.

II. 감염병 진단 기술 개요

감염병 진단 기술은 특정 병원체의 흔적을 찾아내는 데 활용된다. 이 기술은 병원체의 유전자나 단백질을 직접 검출하거나, 감염된 사람이나 동물의 체내에서 생성된 항체를 찾아 감염 여부를 확인하거나 감염된 병원체를 특정하는 기술이다.

감염병 진단 기술은 여러 측면으로 세분될 수 있다. 그중에는 병원체 자원의 확보와 분석 기술, 분자 진단 및 면역 진단과 같은 진단 기술의 고도화, 진단을 위한 플랫폼 기술, 그리고 개발된 진단 기술의 성능을 평가하는 기술 등이 있다[4].

병원체 자원 확보는 환자, 보균자, 감염 동물, 매개 동물, 병원체를 포함한 체액과 배설물 등에서 병원체 자원을 확보하여 새로운 질병의 원인을 파악하는 데 필수적인 단계이다.

병원체 자원 분석 기술은 확보된 원인 불명 병원체의 정체를 밝혀내는 기술로 현미경을 통한 형태학적 분석은 물론, 차세대 염기서열 분석법을 활용하여 병원체의 유전 정보를 획득하여 분류하고 변이를 추적한다. 이는 새로운 질병의 특징을 파악하고 치료 및 예방 전략을 개발하는 데 중요한 역할을 한다.

진단 고도화 기술은 병원체 감염 여부를 확인하는 데 사용되는 다양한 기술을 아우르는 광범위한 분야이다. 이는 질병의 조기 진단, 정확한 판별, 효과적인 치료 개발에 필수적인 역할을 한다. 크게 분자 진단 기술, 면역 진단 기술, 영상진단 기술 등으로 나눌 수 있다.

진단 플랫폼 기술은 나노 기술을 활용한 바이오 센서, 미세 유체 기술, DNA 칩이나 단백질 칩 등 여러 기술을 복합적으로 사용하여 진단기기의 고집적화와 프로세스 자동화를 구축하고, 인공지능 등을 활용한 분석 및 데이터 처리 기술로 진단 기술의 고도화를 위한 핵심 기술이다.

마지막으로, 진단 성능 평가 기술은 개발한 진단 기술의 검출한계, 민감도, 특이도, 비표적 물질의 간섭, 측정 재현성 등을 평가하고, 임상적 성능을 확인하고, 진단 방법 표준화 및 매뉴얼 제작 등이 이에 해당한다[4].

III. 감염병 진단 고도화 기술

1. 분자 진단 기술

분자 진단 기술은 병원체의 근원을 식별할 수 있는 유전자 내 특정 핵산 서열을 증폭하여 검출하는 것으로 대표적으로 실시간 RT-PCR(역전사 중합효소연쇄반응)법, 등온증폭법, 유전자 가위 진단법 등이 개발되어 사용되고 있다.

가. 실시간 RT-PCR 법

실시간 RT-PCR 법은 가장 일반적인 유전자 검사 방법으로, 특정 바이러스 또는 박테리아의 유전자를 증폭하여 감염 여부를 판단한다. 높은 민감도와 특이도를 가지고 있으며, 다양한 호흡기 감염병 진단에 사용되고 있다. 코로나19 진단에서도 가장 많이 사용된 기술 중 하나이다.

실시간 RT-PCR 법의 진행과정은 검체(비인두, 비강 유래) 내 소량의 바이러스로부터 유전자를 추출하여 해당 바이러스 고유의 유전자 일부를 증폭한다. 바이러스의 유전자가 DNA인 경우 바로 PCR(중합효소연쇄반응) 방법으로 증폭할 수 있지만, 코로나19 바이러스같이 유전자가 RNA인 경우에는 유전

자 증폭을 위해 DNA로 변환시키는 역전사 과정이 필요하다. DNA로 변환된 후 PCR에 의해 바이러스의 특정 유전자 일부가 10억~1조 배로 증폭된다. 증폭되는 과정에서 형광으로 표지된 프로브가 반복적으로 붙으면서 바이러스의 유무 및 증폭 속도를 확인할 수 있게 한다. 검체 내에 존재하는 바이러스의 양에 따라 증폭 속도는 차이가 나며, 증폭 속도가 빠른 경우, 검체 내에 바이러스가 많음을 의미하게 된다. 바이러스 유전자 검출 시간은 통상 6시간 이내이고 증상 발현 초기부터 사용할 수 있다.

실시간 RT-PCR 법의 장점은 95% 이상의 높은 정확도로 증상 발현 초기부터 검출 가능하며, 바이러스성 급성 호흡기 감염 질환에 대해 신속하게 대처할 수 있도록 한다. 또한, 증상이 나타나지 않는 잠복 감염 상태도 정확하게 진단할 수 있어 바이러스 확산을 막고 다른 사람들에게 감염시키는 위험을 줄이는 데 도움이 된다.

또 다른 장점으로는 한 번의 검사로 여러 종류의 바이러스를 동시에 검출할 수 있다. 이는 독감 인플루엔자와 코로나19가 동시에 유행하는 시기와 같이 증상이 유사한 여러 바이러스가 유행하는 상황에서 정확한 진단을 통해 감염된 바이러스를 파악하여 적합한 치료를 신속하게 제공하는 데 매우 효과적이다.

이러한 장점에도 불구하고 검사에 필요한 특수 장비, 시약, 전문 인력 등의 비용 때문에 발생하는 높은 검사 비용이 대표적인 단점이다. 그 외에 실시간 RT-PCR 검사를 수행하기 위해서는 고가의 특수한 장비가 필요하고 이러한 장비는 유지 관리 비용이 많이 들고, 전문적인 교육을 받은 인력만이 사용할 수 있어 일부 의료기관에서는 장비 부족이나 전문 인력 부족으로 인해 검사가 지연되거나 제한될 수 있다. 또한, 검사 과정에서 오염이 발생하면 실제로는 바이러스가 없는 환자를 바이러스 감염자

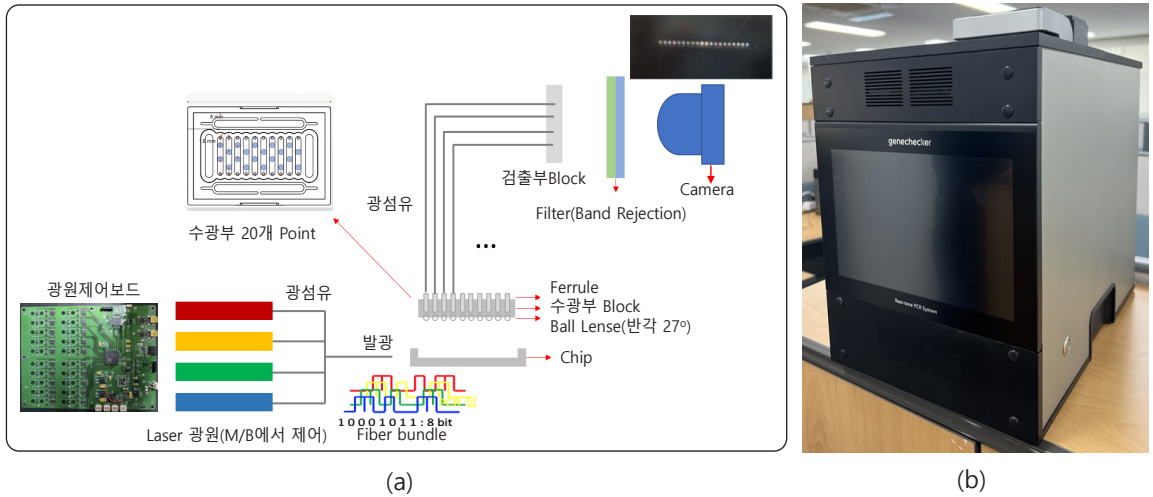


그림 1 직교 코드 기반 RT-PCR 장치: (a) 장치 구성도, (b) 제작된 RT-PCT 장치

로 오인하여 불필요한 치료나 불안감을 초래할 수 있다.

본 연구진에서도 호흡기 감염병 진단을 위하여 그림 1과 같이 실시간 RT-PCR 장치를 개발한 바 있다[5]. 본 연구진에서 개발한 RT-PCR 장치는 4개의 파장을 갖는 광원으로 구성되며, 각각의 파장은 서로 다른 직교 코드로 변조된다. 이러한 직교 코드를 통한 부호화 방식은 통신에 사용되는 CDMA 방식의 한 부분이다. 서로 다른 4개의 파장을 가진 형광 신호가 혼합되어 수신부에 전송되더라도, 복호화를 통해 신호를 구별할 수 있다. 본 연구진이 개발한 광 신호 측정 방식은 기존 PCR 장치에서 형광 신호를 순차적으로 측정하여 측정시간이 길어지는 단점을 극복하고 주변광 신호를 복호화하면서 제거할 수 있어 잡음 대비 신호비를 증대시킬 수 있다. 한 개의 반응 튜브나 웰에 4가지의 검출하고자 하는 표적이 섞여 있더라도 코드분할 방식으로 충분히 구별할 수 있어 동시 검출이 가능한 장점이 있다. 또한, 광섬유 기반으로 구축된 광신호 측정체계는 RT-PCR 장치의 소형화에 유리하다.

결과적으로 본 연구진이 개발한 RT-PCR 장치는

4종의 바이러스를 동시에 1시간 이내에 검출할 수 있는 것으로 검증되었다.

나. 실시간 등온증폭법

등온증폭법은 반응 온도의 변화 없이 단일 온도(상온 또는 65℃)에서 바이러스의 유전자를 증폭할 수 있으므로, 복잡한 온도조절장치가 불필요하며, 일반적인 PCR 법이나 RT-PCR 법의 적용이 어려운 현장에서 진단에 용이하다. 바이러스 유전자의 특정 영역을 선택적으로 증폭한다는 점에서는 RT-PCR 법과 같은 특징을 가지고 있지만 복잡한 구조의 프라이머(증폭 시작 물질)와 특수한 유전자 증폭 효소(Bst Polymerase)를 이용하여 일정한 온도에서 온도변화 없이 원하는 유전자를 증폭한다는 점에서 차이가 있다. 온도 변화 없이 증폭이 진행되기 때문에 RT-PCR 법에 비해 상대적으로 짧은 시간에 유전자를 검출하는 장점이 있다[6].

단점으로는 일반적으로 RT-PCR 법보다 민감도가 낮다는 점이며[7], 복잡한 프라이머의 구조로 인해 설계에 고급 기술이 필요하며, 프라이머의 복잡성으로 인해 증폭할 수 있는 유전자 영역이 제한적

일 수 있다.

등온증폭법에는 루프 기반 등온증폭법, 효소 기반 등온증폭법, RPA 등온증폭법 등 여러 가지 방법이 있지만 가장 많이 사용되는 방법은 루프 기반 등온증폭법이다. 루프 기반 등온증폭법은 6개의 DNA 프라이머가 형성한 아령 모양의 DNA 2차 구조가 증폭효소에 의해 증폭 과정을 거치면서 기하급수적으로 늘어나 프라이머에 달려 있던 형광 물질이 해리되면서 튜브 내의 형광 신호를 증폭시키는 방식이다.

등온증폭법은 혈액과 같은 여러 물질이 혼재되어 있는 복잡한 시료에서도 증폭 가능하다는 장점이 있지만, 다른 PCR 방법들에 비해 민감도가 낮아 위양성의 결과를 얻을 위험이 있다[6].

다. 유전자 가위 진단법

유전자 가위 진단법은 특정 유전자를 잘라내는 크리스퍼라는 단백질을 이용하여 코로나바이러스의 검출을 위한 특정 유전자가 증폭될 때 그 유전자의 배열을 특이적으로 인식하고 잘라 형광 신호를 발생시키는 방법이고, 통상 1시간 이내에 바이러스 검출이 완료된다.

MIT연구진이 유전자 가위 진단법을 SHERLOCK(Specific High-Sensitivity Enzymatic Reporter UNLOCKing)이란 이름으로 CRISPR 유전자 가위를 이용한 진단법 개념을 2017년에 처음 소개하였다[8]. SHERLOCK 방법을 이용해 코로나19를 진단하는 실험(혹은 테스트)을 진행했는데, 특이도는 100%, 민감도는 96%로 높게 나타났다. 바이러스 유전물질에 특이적으로 결합하는 크리스퍼의 특성 때문이다[9]. MIT연구진에 의해 개발된 유전자 가위 진단 기술은 코로나19 팬데믹 시기에 긴급사용승인을 받아 시판되기도 하였다[10].

2. 면역 진단 기술

면역 진단 기술은 바이러스 감염 여부를 판단하는데 활용되는 중요한 기술로, 바이러스 표면에 존재하는 항원을 직접 검출하는 항원 진단과 바이러스 감염으로 인해 인체 내에 생성된 항체를 검출하는 항체 진단으로 나뉜다. 항원 진단은 비인두 혹은 구인두에서 시료를 채취하고, 항체 진단은 인체 내, 즉 혈액 내에 존재하는 항체를 검사하기 때문에 혈액 채취가 필요하다[11].

가. 항원진단법

항원진단법은 채취한 검체의 바이러스 항원 단백질을 직접 검출하는 진단법으로 검사키트에 검체를 희석해서 넣으면 결합패드의 금 나노입자로 표지된 항체와 병원체의 항원이 결합하고 전개지를 통해서 검사선으로 이동하면 검사선에 고정된 또 다른 병원체에 대한 항체와 결합하여 검사선에서 색깔을 나타내게 된다. 코로나19 팬데믹 동안 항원진단법을 이용한 검사키트들이 FDA에서 긴급승인되어 현장 진단용으로 사용되었으며, 지금은 정식허가를 받고 발매되어 환자가 직접 구매하여 사용할 수 있다. 보통은 감염 초기보다는 증상 발현 중기에 사용된다.

나. 항체진단법

항체진단법은 환자의 혈액 내 존재하는 바이러스 감염으로 생긴 항체를 검출하는 진단 방법으로 검사 과정은 항원진단법과 비슷하지만, 발색을 위한 금 나노입자가 정제된 항원 단백질에 표지된 점이 다르다. 혈액 내 바이러스 감염에 의해 생성된 항체가 검사키트에 들어 있는 금 나노입자가 표지된 항원이 결합하게 되면 검사선에서 인간항체를 잡는

또 다른 항체와 결합하여 그 위치에서 색깔을 나타내게 된다. 항체 검출법은 감염환자가 항체가 생기지 않는 특이한 경우를 제외하면 감염이력을 추적하거나, 백신 면역 후 역학조사에 사용 가능하다.

다. 면역진단법의 장·단점

이처럼 면역진단법은 분자진단법과는 다르게 증폭 과정이 없어 10분 이내에 신속하게 진단할 수 있으며 결과를 확인하기 위한 고가의 장비나 전문 인력이 필요 없어 현장검사 적용에 적합하다. 이에 POCT 장비와 결합되거나 신속진단키트 등의 상용화된 제품들이 출시되어 있다. 감염 초기 또는 표적 단백질(항원, 항체)의 양이 적을 때, 위양성이나 위음성의 가능성이 높아져 부정확한 검사 결과가 나올 수 있다. 검사의 진단 정확도는 보통 50~70%로 분자 진단에 비해 매우 낮은 편이다[12]. 면역 진단으로만 감염을 확진하기에는 부족하여 WHO에서 코로나19 바이러스 진단에 대해서는 분자진단을 통하여 확진하도록 권고하였다[13].

3. 기타 진단 기술

가. 의료 영상 진단법

호흡기 바이러스 감염 시 X-선, CT 또는 MRI 등 흉부 영상을 통해 폐의 상태를 시각적으로 파악하여 질병의 진행 정도, 병변의 위치 및 크기, 합병증의 유무를 평가하는 데 중요한 역할을 한다. 다양한 영상 진단법을 통해 얻은 정보는 환자의 적절한 치료 전략 수립, 질병 예후 예측, 새로운 치료법 개발에 중요한 근거를 제공할 수 있다. 일례로, 코로나19 폐렴의 경우 간유리 음영, 폐경화 같은 영상의학적 소견들이 양쪽 폐의 후측 주변부에 나타나는 특징을 가지는 것으로 보고되었다[14-16]. 코로나19 폐렴이 진행되는 동안 간유리 음영 대비 폐경화의

비율이 높아지다가 회복기에 폐경화 영역이 소멸되는 특징을 보였다[17]. 따라서 이러한 영상의학적 특징을 활용하여 코로나19 폐렴 의심환자의 폐 영상과 RT-PCR 검사를 서로 보완적으로 사용하여 진단하는 데 활용할 수 있다[18].

나. 호흡가스 분석을 통한 진단 기술

호흡가스 분석 기술은 호흡 시 배출되는 기체의 성분을 분석하여 질병을 진단하는 비침습적이고 간편한 방법이다. 호흡 시 배출되는 기체에는 질병과 관련된 특정 가스 분자들이 포함되어 있으며, 이러한 분자들의 검출 패턴을 분석함으로써 호흡기 감염병을 진단할 수 있다.

호흡가스 분석 기술은 다른 진단 방법과 달리 시료 채취가 날숨을 이용하기 때문에 비침습적이고, 많이 사용되고 있는 음주측정기처럼 간편하고 빠르게 그리고 적은 비용으로 결과를 얻을 수 있다.

코로나19 환자의 경우 일산화탄소 및 질소산화물 배출량이 증가하고 특정 VOC 또한 증가하는 것으로 알려져 있어, 코로나19 의심 환자를 빠르고 간편하게 선별하는 데 사용될 수 있다.

호흡가스 분석 기술은 아직 개발 초기 단계이지만, 빠르고 정확한 호흡기 감염병 진단을 위한 새로운 접근 방식으로 많은 관심을 받고 있다. 보다 정밀한 기술 개발과 표준화를 통해 호흡가스 분석 기술은 향후 더욱 다양한 호흡기 감염병 진단에 활용될 것으로 기대된다.

다. 생체신호 측정을 통한 진단 기술

기존의 감염병 진단 방법에는 혈액 검사, 영상 검사, 호흡기 검체 검사 등이 있지만, 이러한 방법들은 침습적이거나 시간 소요가 많거나 전문적인 인력과 특별한 장비가 필요할 수 있다.

생체신호 측정 기술은 이러한 문제점을 해결하기

위한 새로운 감염병 진단 방법으로 주목받고 있다. 인체로부터 직접적인 접촉 없이 또는 웨어러블센서 형태로 생체신호를 측정하여 질병의 증상이나 진행 상황을 파악하는 기술로 정의될 수 있다.

감염병 진단을 위한 생체신호 측정 기술의 활용을 살펴보면, 코로나19 팬데믹 시기에 출입구 등에 카메라를 이용한 체온 측정으로 발열 환자들을 선별하였다. 하지만 코로나19 팬데믹 시기에 국내 확진 입원 환자 대상 검사에서 발열 증상을 보인 환자의 비율이 20~30%로 나타나 체온 측정만으로는 감염 환자들을 효과적으로 선별해 내기 어려움을 시사한다. 더 정확한 진단 또는 스크리닝을 위해서는 체온 측정만이 아닌 다양한 생체신호 측정이 요구된다.

감염병 환자 스크리닝 및 치료 모니터링 등에 활용될 수 있는 생체신호는 다음과 같다.

- 체온 측정: 발열은 많은 감염병의 초기 증상이며, 비접촉 체온 측정 기술을 통해 공공장소에서 대규모 인구를 빠르게 선별할 수 있고, 자가 측정을 통해 개인의 건강 상태를 관리하고 감염 위험을 예측할 수 있다.
- 호흡 모니터링: 호흡 패턴 변화는 폐렴이나 천식과 같은 호흡기 감염병의 중요한 지표이며, 비접촉 호흡 모니터링 기술을 통해 환자의 호흡 상태를 주기적으로 관찰할 수 있다.
- 심박수 측정: 심박수 변화는 스트레스, 피로, 질병 등 다양한 개인의 건강 상태를 나타낼 수 있다.
- 산소포화도 측정: 폐렴 환자의 경우 낮은 산소포화도를 보이는 특징이 있으며 질병의 중증도와 연관성이 깊은 편이다.

많은 연구 그룹에서 앞서와 같은 생체신호를 비침습적으로 불편함 없이 지속적으로 측정하기 위해 웨어러블센서 형태나 카메라 또는 라이더 기반으로

비접촉 방식의 생체신호 측정 기구를 개발하고 있다. 단점으로는 주변 온도, 습도, 조명, 전자파 등의 환경 요인이 측정 결과에 영향을 미칠 수 있어 외부 환경 변화에 민감한 센서는 정확한 측정을 위해 엄격한 환경 조절이 필요할 수 있다.

IV. 미래 감염병 진단 기술의 발전 방향

인공지능, 빅데이터, 나노기술, 바이오센서 등을 활용하여 더욱 정밀한 진단 기술을 개발해야 한다. 특히, 변종 바이러스를 포함한 다양한 바이러스를 정확하게 진단할 수 있는 기술 개발이 필요하다.

빠른 진단은 감염 확산을 막는 데 매우 중요하다. 현장에서 10분 이내라는 짧은 시간에 정확하게 진단할 수 있는 기술 개발이 필요하다.

진단 기술의 비용적인 면도 고려되어야 한다. 정확하지만 비싼 기술은 대규모 검사가 필요한 상황에서는 적합하지 않다. 진단 기술의 낮은 비용은 초기 진단 및 치료를 위한 접근성을 높여준다.

급성 호흡기 감염병의 경우 어떤 병원체에 감염되었는지 빠르게 파악하는 것이 중요하다. 그래서 여러 병원체를 동시에 진단할 수 있는 기술 개발이 매우 필요하다. 이는 환자의 진단 시간을 단축하고, 정확한 치료를 가능하게 하기 때문이다.

아직 발견되지 않은 미래 바이러스를 대비하여 새로운 바이러스를 신속하게 파악하고 대응할 수 있는 유전체 분석과 같은 기반 기술의 발전이 중요하다.

V. 결론

본고에서는 감염병 진단 기술의 현황에 대하여 살펴보았다. 병원체인 바이러스에 관련하여 직접적으로 검출하는 방식으로는 바이러스 유전자를 검출하는 분자진단법과 바이러스 스파이크 단백질을 통

해 바이러스 자체를 검출하는 면역진단법이 있으며, 감염된 환자의 상태 변화를 검출하는 영상진단법, 호흡가스 분석법 및 생체신호 측정법으로 간접적인 진단법으로 구별될 수 있다.

분자진단법에는 최신 기술인 유전자 가위 기술 등이 적용되어 기존의 PCR 기술보다 빠른 속도로 검출할 수 있도록 개발되고 있으며, 본 연구진과 같이 장치의 측정 효율 등을 개선하는 방향으로 연구가 진행되고 있다.

이처럼 감염병 진단 기술은 계속해서 발전하고 있으며, 미래에는 몇 가지 중요한 추세가 나타날 것으로 예상된다. 미래에는 빠르고 정확한 진단이 가능한 자동화된 시스템이 더욱 보편화되고, 휴대용 진단 장비가 발전하여 의료진은 현장에서 즉각적인 진단을 수행할 수 있게 될 것이다. 이는 주로 지역사회에서의 진단과 모니터링에 중요한 역할을 할 것으로 예상된다. 특히 이러한 휴대용 기기는 감염병의 조기 발견과 전염병 관리에 큰 도움이 될 것이다. 또한, 인공지능의 발전으로 다양한 의료 데이터(환자 증상, 검사 결과, 의료 영상 등)를 학습하여 진단 정확도를 높일 수 있는 딥러닝 기반 진단 모델이 개발될 수 있다. 이는 의료 전문가의 진단을 보완하고 오진 가능성을 줄이는 데 도움이 될 것으로 기대된다.

용어해설

프라이머(Primer) DNA 합성(중합)의 시작점이 되는 짧은 유전자 서열이며, PCR 진단, DNA 염기서열 분석 등에 이용할 목적으로 합성된 DNA 조각. 복제 또는 증폭하고자 하는 특정 유전자의 시작점과 끝점에서부터 시작하는 염기서열을 가짐

약어 정리

CDMA	Code-Division Multiple Access
CT	Computed Tomography
DNA	Deoxyribo Nucleic Acid
FDA	Food and Drug Administration

MERS	Middle East Respiratory Syndrome
MIT	Massachusetts Institute of Technology
PCR	Polymerase Chain Reaction
POCT	Point-of-Care Test
RNA	Ribo Nucleic Acid
RPA	Recombinase Polymerase Amplification
RT-PCR	Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction
SARS	Severe Acute Respiratory Syndrome
VOC	Volatile Organic Compounds
WHO	World Health Organization

참고문헌

- [1] 전종홍, "COVID-19 이후, AI는 능동적 감염병 대응 도구로 발전할 수 있을까?," Future Horizon, 제47호, 2020, pp. 42-51.
- [2] <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases?n=c>
- [3] 정은정, 한준, "코로나19의 경제·사회 영향 측정지표 구축방안 연구," 통계개발원, 2020년 연구보고서, 2021.
- [4] 김종란, 여성율, "감염병 진단기술," KISTEP 기술동향 브리프, 2021-11호, 2021.
- [5] 한국전자통신연구원, "타액기반 신변종 바이러스 현장형 신속 분자진단 기술 개발," 최종보고서, 2022.
- [6] 동아사이언스, "코로나19 감염 여부를 신속·정확하게 진단하는 새로운 방법," 2021, 4. 16., <https://m.dongascience.com/news.php?idx=45755>
- [7] A. Basu et al., "Performance of Abbott ID Now COVID-19 rapid nucleic acid amplification test using nasopharyngeal swabs transported in viral transport media and dry nasal swabs in a New York City Academic Institution," J. Clin. Microbiol., vol. 58, 2020.
- [8] J.S. Gootenberg et al., "Nucleic acid detection with CRISPR-Cas13a/C2c2," Science, vol. 356, no. 6336, 2017, pp. 438-442.
- [9] M. Patchesung et al., "Clinical validation of a Cas13-based assay for the detection of SARS-CoV-2 RNA," Nat. Biomed. Eng., vol. 4, no. 12, 2020, pp. 1140-1149.
- [10] Sherlock Biosciences, <https://sherlock.bio/crispr-sars-cov-2/>
- [11] 신화희, "신종 바이러스 감염병 팬데믹 대응을 위한 차세대 진단 기술," BT News, vol. 28, no. 1, 2021, pp. 46-53.
- [12] 데일리 메드, "코로나19 진단, 유전자 증폭검사 vs 신속 면역 항체검사," 2020. 4. 4., https://www.dailymedi.com/news/news_view.php?wr_id=854752
- [13] World Health Organization, Laboratory testing for 2019 Novel Coronavirus (2019-nCoV) in Suspected Human

- Cases, 2020, pp. 1-7.
- [14] J. Lei et al., "CT Imaging of the 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) pneumonia," *Radiology*, vol. 295, no. 1, 2020.
- [15] H. Shi et al., "Radiological findings from 81 patients with COVID-19 pneumonia in Wuhan, China: A descriptive study," *Lancet Infect. Dis.*, vol. 20, no. 4, 2020, pp. 425-434.
- [16] M. Chung et al., "CT imaging features of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV)," *Radiology*, vol. 295, no. 1, 2020, pp. 202-207.
- [17] Y. Wang et al., "Temporal changes of CT findings in 90 patients with COVID-19 pneumonia: A longitudinal study," *Radiology*, vol. 296, no. 2, 2020, pp. E55-E64.
- [18] Y. Fang et al., "Sensitivity of chest CT for COVID-19: Comparison to RT-PCR," *Radiology*, vol. 296, no. 2, 2020, pp. E115-E117.