

인공지능의 미래

황재준¹, 허민석²

¹부산대학교 치의학전문대학원 영상치의학교실,

²서울대학교 치의학대학원 영상치의학교실

ORCID ID

JAE JOON HWANG,  <https://orcid.org/0000-0003-0379-8460>

Min-Suk Heo,  <https://orcid.org/0000-0003-3406-0645>

ABSTRACT

Future perspectives of artificial intelligence

JAE-JOON HWANG¹, Min-Suk Heo²

¹Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Pusan National University,

²Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Seoul National University

Recently, AI has made rapid developments in various fields.

Therefore, it is meaningful to look into the future of AI in the dental field and what needs to be supplemented to minimize its side effects. In this article, the future of AI technology in the dental field in the near future and the coping direction were summarized based on the insights of the papers on the future of AI in this field. In the future, AI will be able to provide more useful diagnosis and treatment planning assistance by comprehensively analyzing various information such as EMR data, article, genome, and wearable data as well as X-ray image. In addition, the efficiency of dental work will be improved by automating the design of the laboratory work and device. This efficiency can be extended from dental inventory to patient appointment management, and instant feedback in the clinic, and eventually develop into an comprehensive dental care system. With the advent of more advanced natural language processing systems, smart AI assistants who can have conversations about treatment and dental operations will appear. In addition, face-to-face contact with patients will increase along with AI-based charting automation, and AI will improve the patient experience, allowing more patients to receive appropriate oral health care. As AI is expected to be broadly applied to dentistry, a basic understanding of how big data is collected and how AI algorithms are programmed is now essential for dentists as well.

Key words : Artificial intelligence, Dentistry, Trends, Corresponding author

Corresponding Author

Min-Suk Heo, DDS, MSD, PhD, Professor

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, School of Dentistry,
Seoul National University, 101 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 03080, Korea

Tel : 82-2-2072-3016 / E-mail : hmslsh@snu.ac.kr

ACKNOWLEDGEMENT This work was supported by a 2-Year Research Grant of Pusan National University.

I. 서론

기계가 지능을 가졌는지 평가하기 위한 방법의 하나로 튜링 테스트가 널리 알려져 있다. 튜링 테스트란 기계에 지능이 있는지를 판별하는 시험으로서 대화하는 상대방이 사람인지 기계인지 구별할 수 없다면, 기계가 지능이 있다고 판단하는 것이다. 최근 OpenAI에서 개발한 GPT (Generative Pre-trained Transformer)의 3번째 버전인 GPT-3가 만들어 내는 문장들은 얼핏 보면 사람과 잘 구별이 가지 않는 수준에 이르렀다¹⁾. 하지만 GPT-3는 기존의 문장들을 학습하여 확률적으로 가장 그럴듯한 단어들을 순차적으로 생성하는 것일 뿐, 스스로 학습하며 새로운 환경에 적응할 수 있는 고차원적인 능력인 지능을 가졌다고 말하기는 어렵다. 최근 들어 각광을 받고 있는 딥러닝 기술은 이렇게 주어진 데이터와 정답지를 학습하여 정답을 제시하는 것에는 능하지만, 추론 능력이 없기 때문에 비슷한 작업이 주어지면 재학습을 해야 하는 한계점을 가진다.

눈부신 속도로 발전하고 있지만 현재 인공지능의 수준은 세간의 높은 기대에는 미치지 못하며, 인간처럼 새로운 것들을 창조하거나 추상적인 사고를 하는 것은 불가능하다. 하지만 이미 인간이 가지고 있는 기능 중 부분적이거나 명확한 답으로 도출해 낼 수 있는 것들을 하나씩 대체해나가기 시작했다. 점점 자연스러워지는 통신/카드사 챗봇의 고객 응대 수준과 정밀해지는 구글/파파고의 번역 수준을 보면 앞으로 인공지능이 어디까지 발전할지 궁금해지게 된다.

그렇다면 앞으로 급격히 발전할 것으로 예상되는 치과분야 인공지능의 미래는 어떻게 펼쳐지고, 부작용을 최소화하기 위해 보완해야 할 점들은 무엇일까? 이 글에서는 가까운 미래에 치과분야에서 적용될 인공지능 기술의 미래와 대처 방향에 대해 치의학 분야 인공지능의 미래에 대하여 기술된 논문들의 통찰력을 기반으로 정리해보고자 한다.

II. 연구방법

치의학 분야에서 인공지능의 미래에 대한 최근 논의를 살펴보기 위하여, 최근 3년간의 문헌조사를 실시하였고, PubMed에서 'dentistry, artificial intelligence, forecasting, trends'의 MeSH term을 사용하여 검색한 후, 초록을 기준으로 인공지능의 미래에 대한 전반적인 전망이 제시된 논문을 선별하였고(Figure 1), 본문 내용을 정독한 후 취합하고 정리하여 분석하였다. 선별된 논문들의 리스트는 다음과 같다.

1. Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges, F. Schwendicke, Journal of Dental Research, 2020
2. Artificial intelligence in dentistry: current applications and future perspectives, YW Chen, Quintessence Int, 2020
3. Promises and Perils of Artificial Intelligence in Dentistry, F Pethani, Australian Dental Journal, 2020
4. Demystification of AI-driven medical image interpretation: past, present and future, P Savadjiev, European Radiology, 2019

상기 논문들에서 앞으로 다가올 치과 분야의 모습들을 취합하고, 현재 인공지능의 문제점과 이를 보완하기 위한 방법에 대해 정리하였다.

III. 연구성적

상기 논문에서 제시하는 치의학 분야 인공지능의 미래는, 임상에서 진단과 치료계획의 자동화와 함께 환자 주도의 자가 예방과 관리의 시대로 나아갈 것임을 예고하고 있었다.

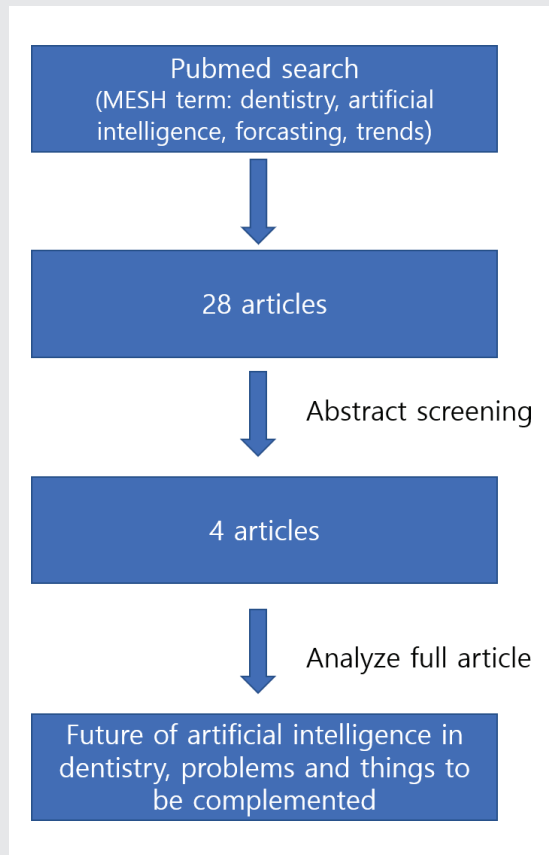


Figure 1. 문헌 조사 플로우

1. 개별 치과분야에서의 이용

다양한 헬스케어 분야에서 그 중심이 되는 진단영상 분야는 인공지능이 가장 활발하게 도입되고 있는 분야로서, 인공지능이 반복적인 업무를 자동화하여 진단의 효율을 향상시키면서 비용은 낮추는 데 기여할 것으로 기대된다. 딥러닝 기술이 영상 인식 분야에서 이미 사람에 필적하는 정확도를 보여주고 있고, 영상 데이터는 매일 엄청난 양이 발생하기 때문에 학습데이터를 확보하는 것이 비교적 수월하기 때문이다²⁾. 현

재 치아우식의 발견, 영상 화질 개선, 치료계획 제안 등은 이미 상용화되었고³⁾ 그 외에도 다양한 연구가 진행되고 있다.

보철 분야에서는 CAD/CAM(Computer-Aided Design/Computer-Assisted Manufacturing)에 대한 현재 추세와 함께, 높은 수준의 정밀도를 요구하는 경우 인공지능 기능이 통합된 가공물 설계 소프트웨어에 대한 수요가 많아질 것이 예상된다. 이와 같은 소프트웨어는 기공사가 위생적인 윤곽, 이상적인 심미성 및 실패 가능성을 최소화한 보철물을 설계하는 데 도

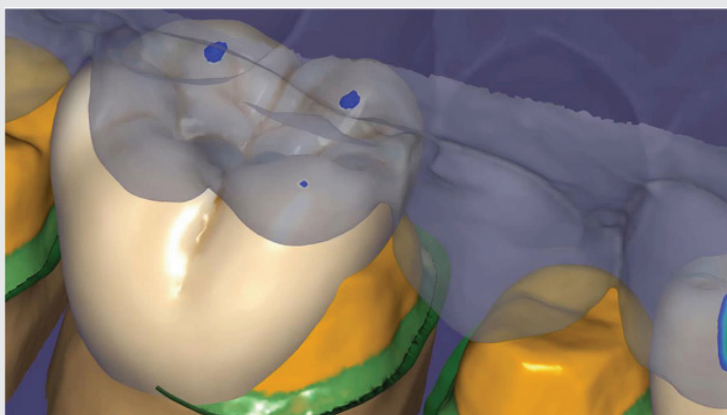


Figure 2. 인공지능 기능이 통합된 기공물 설계 소프트웨어 예시: Exocad의 치아 치관부 자동 완성 기능

움이 된다(Figure 2). 고정성 보철물의 경우 광학 구강 스캐너로 치아 형태를 스캔하면 소프트웨어를 사용하여 치료 옵션을 추천받을 수 있을 것이다. 부분 무치악의 경우도 인공지능이 가철성 보철물의 디자인을 제안할 수 있을 것이다³⁾.

치과 임플란트 치료도 임상적으로 입증된 술식과 기술을 사용하여 표준화될 것이다. 콘빔CT와 광학 구강 스캔이 촬영되면 인공지능이 자동으로 두 가지 영상을 정합하고 필요한 수복물을 디자인한 후 조직의 두께, 출현 외형 (emergence profile), 골의 유형/두께, 환자의 병력을 기반으로 이상적인 위치에 적절한 디자인의 임플란트를 선택하고 알맞은 위치에 배치하게 될 것이다. 이어서 자동으로 수술 가이드를 생성하고 수술을 예약할 수 있게 될 것이다³⁾.

2. 치과의 운영과 보험

빅데이터 기반의 인공지능은 치과의 운영 방안의 결정에 다양한 옵션을 제시해 줄 수 있다. 예를 들어, X선

영상과 구내 스캔영상의 수는 치과를 인수(acquisition)하거나, 재료 관리, 스태프 훈련 등에 관한 사업적인 결정을 내리는 데 사용될 수 있다³⁾.

보험 분야에서도 인공지능의 적용이 활발해지면 즉각적인 청구/승인이 가능하게 될 것이다. 임상 의사가 X선영상, 광학 구강스캔 등의 영상을 보험사에 업로드하는 즉시 보험 청구에 대한 회신이 가능하므로 청구 과정이 투명해지고, 환자가 보험 적용에 대한 두려움 없이 더 빠른 치과 치료가 가능하게 될 것이다.

3. 다층(multi-level) 데이터 이용을 통한 통합 분석

인공지능은 인구 통계 및 임상 데이터, 영상 데이터, 생체 분자 데이터, 소셜네트워크 데이터 등과 같은 서로 다른 이질적인 데이터 영역을 통합하여, 기존에는 인지가 불가능하였던 데이터들 간의 인과 관계와 복잡한 상호작용을 이해하여 질병을 예측하거나 조기 진단에 기여할 수 있을 것이다^{2,5)}. 예를 들어, 인공지능이 특정 유전자군과 가족력, 성별을 가진 환자군의 영상

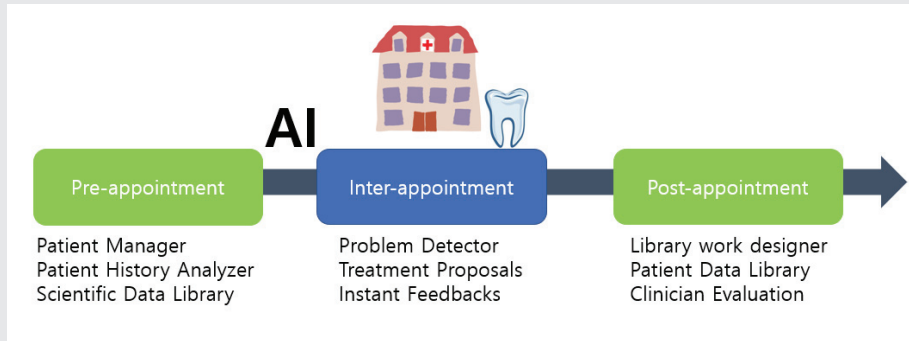


Figure 3. 앞으로 다가올 포괄적인 시기별 포괄적인 치과치료시스템. 예약 전, 예약 사이, 예약 후 시스템으로 구분될 수 있다. 이 세 타입의 시가 데이터를 수집하여 치료 환경을 개선하는 데 사용될 것이다³⁾.

데이터를 함께 학습하여, 구강암에 이환될 확률이 높은 환자군을 모델링하고 그들을 위한 적정 검진 시기와 내원 간격을 추천할 수 있을 것이다. 그리고 구강암의 조기 발견 시 최적의 치료법을 데이터에 기반하여 추천해줄 수 있을 것이다. 또한 환자의 장기간 EMR 데이터와 영상 데이터가 지속적으로 업데이트되고 이 데이터가 인공지능에 의하여 분석된다면, 신뢰성 높은 환자 라이브러리를 구축할 수 있을 것이다. 이렇게 다층 데이터가 지속적으로 통합 분석된다면, 잠정 진단과 함께 치료 옵션을 제공하고, 치료 시에 실수를 줄이기 위한 피드백을 주며, 내원 전 다음 치료 계획을 분석하여 제공하는 포괄적인 인공지능 기반 치과 치료시스템 도입도 가능할 것이다(Figure 3).

4. 더욱 인간적인 환자 치료 환경

인공지능은 진단 보조 시스템뿐만 아니라 음성/텍스트 인식 및 번역 등을 통하여 치과 업무를 간소화하여, 의무기록(charting)에 소요되는 치과의사의 시간을 줄여서 환자와 치과의사간의 대면접촉 시간을 증가시킬

수 있을 것이다. 진료 중의 대화를 음성인식 및 자연어 처리 인공지능 기술로 인식하여 자동으로 디지털 의무기록을 작성하여 주는 보이스 EMR 기술(voice EMR)이 발전된다면 치과의사는 진료에 더욱 집중할 수 있게 되고, 대면 접촉시간의 증가로 환자의 만족도 역시 높아지게 될 것이다²⁾.

인공지능 기술은 환자의 선호도를 학습하여 전반적으로 더 나은 경험을 제공할 수도 있다. 인공지능은 환자가 선호하는 치과 방문 날짜와 시간, 치료실이나 유닛 체어의 온도, 선호하는 음악 또는 엔터테인먼트, 환자를 가장 편안하게 해주는 조명까지 학습하게 될 것이다. 치과 환자의 경험을 개선함으로써 더 많은 환자가 적절한 구강 건강관리를 받을 수 있으므로 전신 건강이 향상될 것이다²⁾.

5. 가상 실험 환경(In-Silico) 제공

인공지능은 가상 실험 환경을 가능하게 하여, 기존 연구 전략을 보완함으로써 연구 및 새로운 발견을 촉진할 것으로 기대된다. 인공지능 모델을 사용하여 약물, 의료

기기가 치료에 미치는 영향을 시뮬레이션하는 기술은 전통적인 임상시험을 완전히 대체하지는 못하지만, 동물 또는 임상 실험 환자에게 일어날 수 있는 위험을 줄이면서 비용을 절감하고 실험 일정을 단축시킬 수 있는 새로운 방법으로 부상하고 있다²⁾.

6. 비침습적 모니터링을 통한 기존 의료의 한계 극복

인공지능은 특히 환자가 웨어러블 장치(wearable device) 등을 사용하여 적극적으로 데이터를 제공하는 경우, 치과 의료를 보다 참여적으로 만들 수 있다. 환자는 자가 모니터링과 자가 관리를 통해 이전보다 더 효율적으로 질환을 스스로 예방하고 관리할 수 있을 것이다. 이렇게 지속적으로 수집된 데이터를 사용하면 - 대부분의 질환이 일반적으로 수년에 걸쳐 진행되지만 환자는 단지 몇 분 동안만 진찰되는 - "온오프식 의료 (on-off-medicine)"⁴⁾의 단점을 극복할 수 있다. 건강과 행동에 대한 지속적인 비침습적 모니터링은 건강과 질병의 기저에 깔린 요인과 과정에 대해 훨씬 더 깊은 이해를 가능하게 하고, 개개인에 대한 질병의 원인 이해 및 치료 역시 더 깊은 수준에서 가능하게 할 것이다²⁾.

7. 고령화 사회 대비

인공지능 진단 보조 시스템은 진단 및 치료 비용을 절감시켜서 만성 질환이 증가하는 고령화 사회의 의료시스템 부담을 경감시키는 데 기여할 수 있을 것이다. 한편, 전 세계 많은 지역에서 나타나고 향후 계속될 것으로 예상되는 의료 인력의 부족 문제를 해결하는 데 도움이 될 수 있을 것이다²⁾.

IV. 총괄 및 고안

1. 현재 AI 솔루션의 문제점

치과 의료 환경을 변화시킬 수 있는 큰 가능성을 가졌음에도 AI 솔루션은 일상적인 치과 의료 행위에 널리 도입되지 못하고 있다. 치과에서 convolutional neural network (CNN)은 2015년부터 주로 X-ray 이미지에 대한 연구 분야에서 사용되다가, 현재 CNN을 사용한 몇 개의 프로그램이 시장에 진입하기 시작했다. 이는 스크리닝에서 치료 계획 및 치료에 이르기까지 X-ray 이미지가 중심이 되는 치과 영역의 특성을 생각하면 이례적인 일이라고 볼 수 있다.

AI 기술이 아직 임상에서 완전하게 채택되고 있지 못하고 있는 이유들은 아래와 같다.

첫째, 치과 데이터는 데이터 보호 문제 등으로 인해 대부분 외부와 분리된 병원망 내에서만 접근이 가능하다. 그리고 치과 데이터의 수는 다른 AI용 데이터보다 상대적으로 작은 경우가 많고, 수집되는 환자 데이터는 술식에 민감하여 검증이 어려운 경우도 많다. 또한 EMR 기록의 많은 부분이 바쁜 의료 환경 속에서 누락되는 경우가 많아 데이터가 완전한 경우가 드물다²⁾.

둘째, 환자 선택이 편향된 경우들이 많다. 즉, 지나치게 아프거나(예: 병원 데이터) 지나치게 건강하거나(예: 웨어러블 장치로 수집한 데이터) 지나치게 부유한(예: 보편적인 의료 보장이 없는 국가에서 치과 치료를 받을 수 있는 사람들의 데이터) 환자들이 포함되는 경우가 많아, 이러한 편향된 데이터를 기반으로 개발된 AI 애플리케이션은 본질적으로 편향될 수 있다²⁵⁾.

셋째, 데이터가 어떻게 선택, 선별 및 사전 처리되었는지 불분명하여, 실험 결과가 충분히 재현될 수 없는 경우들이 있다⁶⁾. 이것은 확고한 기준(gold standard)을 정의하는 것이 불가능한 경우들이 많으며, 레이블링에 필요한 전문가 수와 완벽하게 동일하지 않은 기준들로 수집

된 레이블들을 병합하는 방법에 대한 합의가 부재하기 때문이다^{2,8)}.

2. AI 기술의 보완점

1) 개인 정보 보안 문제 해결

의료데이터는 대부분 개인식별정보를 포함하고 있으며, 특히 의료 영상은 다른 정보와 합쳐졌을 때 개인식별이 가능한 연합공격(linkage attack)이 가능해서 더 높은 수준의 보안이 필요하다. 이러한 정보 보안 문제를 해결하기 위해서 중앙에서 모든 데이터를 모아서 학습하지 않고, AI 모델이 데이터가 있는 곳들로 분산되어 이동해서 학습이 이루어지고, 학습된 모델들 간에 업데이트가 공유되는 분산/연합 학습 방식들이 개발되고 있다²⁾. 이 경우 외부로 의료데이터가 직접 유출되지 않으므로, 개인정보가 안전하게 보호될 수 있다.

2) 구조화되고 정제된 데이터 생산

다양한 종류의 의료데이터가 방대하게 수집되고 있지

만, 기관/의료진 별로 통일된 원칙을 가지고 수집되고 있지 못하는 경우가 많다. 그래서 전체 데이터의 용량은 커도 데이터군 별로 용어가 다르거나 빠진 데이터들이 많아, 하나의 데이터로 묶어져 학습이 어려운 경우가 많다. 현재 이런 데이터를 일관된 원칙을 가지고 구조화시켜서 처음부터 학습에 적합한 정제된 형태로 수집하려는 노력들이 진행 중이다³⁾. 이때 AI를 이용한 의료 연구 역시 임상적 연관성에 초점을 맞추어 고전적인 PICO (patient/problem, intervention, comparison intervention and outcomes) 기준으로 접근되는 것이 바람직하다⁸⁾.

3) 설명 가능한 인공지능(explainable AI, XAI)

기술의 개발

딥러닝의 의사결정 과정은 수십만 개 이상의 매개변수가 복잡하게 연결되어 있어서 그 내부를 들여다보기 어렵다는 점에서 흔히 블랙박스(blackbox)에 비유된다. 따라서 딥러닝을 이용한 시스템에 오류가 있을 때 그 원인을 파악하기 어렵고 수정도 어렵게 된다. 이렇

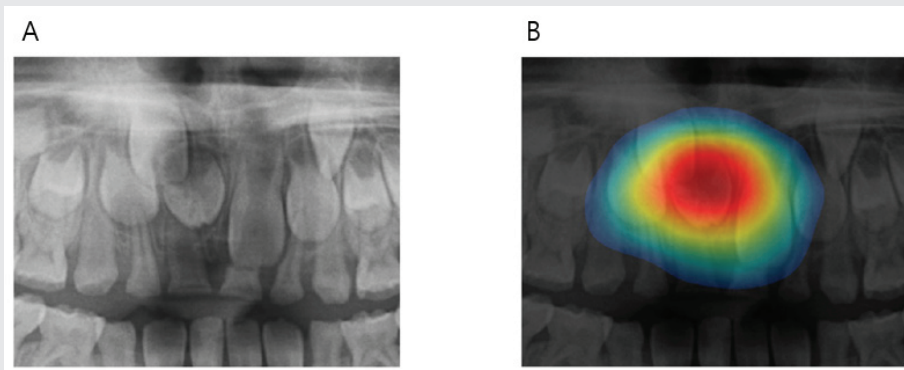


Figure 4. 과잉치 검출 AI 시스템이 파노라마 전방부 (A)에서 바라보고 있는 과잉치 영역 (B)을 class activation mapping으로 도시한 예

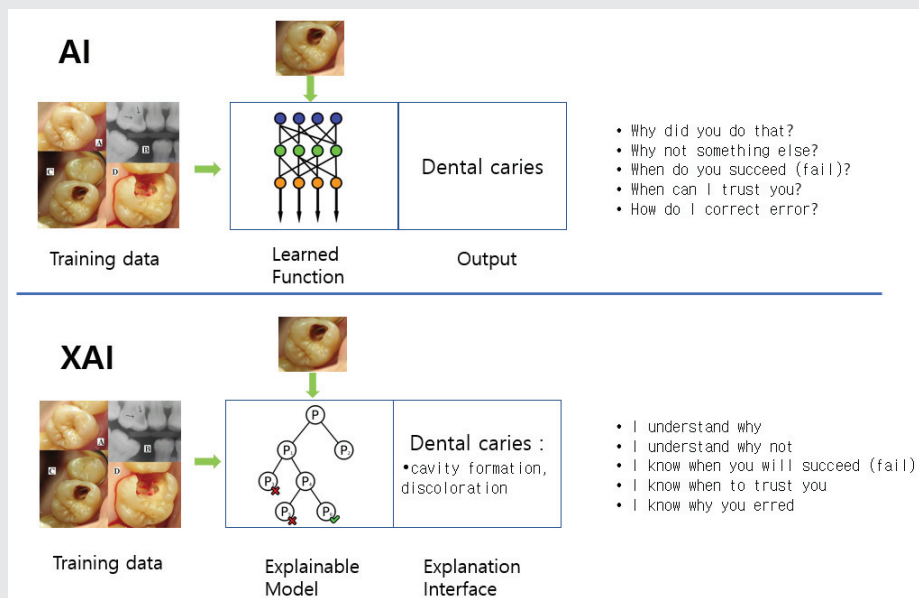


Figure 5. 기존 AI와 explainable AI (XAI)의 비교 ⁷⁾

게 원인을 모르는 오류는 엉뚱한 치료 계획으로 이어질 수 있기 때문에 임상 적용에 장애가 될 수 있다. 최근 내부를 들여다 보기 어려운 딥러닝의 한계를 극복하고, 그 의사 결정을 시각적으로 파악하기 위해 어떤 부위를 보고 판단했는지 히트맵 (heatmap)으로 확인할 수 있는 class activation mapping (CAM) 기술이 발전되고 있다(Figure 4).

이렇게 AI의 판단기준을 알기 쉽게 설명해주는 설명 가능한 AI (explainable AI, XAI) 기술이 더욱 발전되어 오류의 원인 분석과 함께 오류를 수정할 수 있는 피드백을 통해 전체 시스템의 정확도를 올리는 데에 응용될 필요가 있다(Figure 5)²⁾.

V. 결론

현재 AI는 미리 학습된 정해진 기능만 수행할 수 있을 뿐, 새로운 작업을 하려면 다시 학습을 해야 하고, 하나의 네트워크로는 다른 성질의 작업을 동시에 수행하기 어렵다는 한계가 있다. 하지만 현재 기술로도 AI는 이미 인간이 가지고 있는 기능을 부분적으로 대체해나가기 시작했고, 앞으로 치과계에도 점점 더 영향력이 확대될 것이다.

AI는 앞으로 X-ray 사진뿐만 아니라 EMR 데이터, 논문, 유전체, 웨어러블 데이터 등 다양한 다층 정보들을 종합하여 우리에게 병인에 대한 깊은 이해와 함께 더 유용한 진단 및 치료 계획 보조를 제공해 줄 수 있을 것이다. 아울러 많은 시간과 집중력이 필요한 기공 및 장치 디자인

인을 자동화하여 치과 업무의 효율성이 제고될 것이다. 이런 효율성은 치과의 재고에서부터 환자 예약 관리, 진료실에서 EMR 자동 작성 및 술식 피드백에까지 확장되어, 최종적으로는 통합 치과 운영 및 관리시스템으로 발전할 수 있을 것이다. 그리고 머리 얹은 미래에 100조 단위의 매개변수를 학습시킨 GPT-4와 같은 더 진화된 자연어처리시스템의 출현으로 마치 아이언맨이 자비스와 대화하면서 문제를 해결하듯, 우리도 진료와 치과 운영에 관한 대화를 나눌 수 있는 똑똑한 AI 비서를 갖게 될 것이다.

자연어처리의 발전으로 인한 의무기록 자동화와 함께 환자와의 대면접촉이 늘고, AI가 환자의 경험을 개선함으로써 더 많은 환자가 적절한 구강 건강관리를 받을 수 있게 될 것이다. 이렇게 환자와 치과 의사 모두에게 AI의 고도화로 인한 큰 변화가 예상되므로, 어느 때보다 새로운 환경에 적극적으로 적응하려는 노력이 중요해 질 것이다.

AI가 치과 분야에도 확대 적용될 것으로 예상되므로, 빅데이터가 어떻게 수집되고 AI 알고리즘이 어떻게 프로그래밍되는지에 대한 기본적인 이해는 이제 치과 의사에게도 필수적이라고 할 수 있다. AI 알고리즘의 장점과 한계를 알면 더 많은 제품이 비즈니스에 진출함에 따라 임상가가 AI 서비스를 현명하게 선택하는 데 도움이 될 수 있다³⁾. 아직까지 AI 시스템은 우리가 정해진 '데이터 - 정답 쌍'을 단순 학습하는 수준에 머물고 있기 때문에⁸⁾, 데이터가 일반적인 임상 상황을 반영하여 일관된 원칙을 가지고 수집되고 라벨링되었는 지 확인할 필요가 있다. 또한 눈부시게 발전하고 있는 XAI 기술들을 잘 이해하고 응용할 수 있다면, 오류의 원인 분석 및 피드백을 통해 더 똑똑해지는 AI 비서의 보조를 받아 더 효율적인 치과 진료 및 운영이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

1. <https://openai.com/blog/gpt-3-apps/>.
2. Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges, F Schwendicke, W. Samek, J. Krois, Journal of dental research, 2020.
3. Artificial intelligence in dentistry: current applications and future perspectives, YW Chen, Quintessence Int, 2020.
4. Preparing the healthcare workforce to deliver the digital future, Topol E. 2019. The Topol review.
5. Promises and Perils of Artificial Intelligence in Dentistry, F Pethani, Australian dental journal, 2020.
6. Convolutional neural networks for dental image diagnostics: a scoping review, Schwendicke F, Golla T, Dreher M, Krois J. J Dent. 2019.
7. Explainable Artificial Intelligence (XAI), Defense Advanced Research Projects Agency. DARPA presentation, 2017.
8. Demystification of AI-driven medical image interpretation: past, present and future, P Savadjiev, Eur Radiol, 2019.