

# 뇌졸중 후 말 언어장애 환자를 위한 디지털 치료기기: 설명

## 가능한 인공지능 시스템 설계

김유영<sup>o</sup> 김민정 김새별 김진우  
연세대학교 HCI Lab, 주식회사 하이

kimmmyoung90@gmail.com, minjungkim618@gmail.com, kyoakehoshi@gmail.com, jinwoo@haii.io

### Designing an Explainable AI for Digital Healthcare in Post-stroke

### Dysarthria

Yuyoung Kim<sup>o</sup> Minjung Kim Saebyeol Kim Jinwoo Kim  
Yonsei University HCI Lab, Haii corp.

#### 요약

인공지능(AI) 기술의 발전은 의료 분야에 있어 광범위한 적용을 가능하게 했지만, 고 위험성을 수반하는 의료 의사결정 과정에서 설명 가능한 인공지능(XAI)의 중요성이 점차 부각되고 있다. 이 맥락에서 사용자 중심의 설계와 효과적인 설명 제공은 핵심 요소이다. 본 연구는 이러한 관점에서 뇌졸중 후 발생하는 말 언어장애를 치료하는 디지털 치료기기의 XAI 시스템 개발을 목표로 설정하였다. 의료진과 환자를 대상으로 인터뷰를 통해 사용자의 설명 요구사항을 분석하고, 이를 기반으로 개별 환자의 말 평가 결과를 사용자가 이해하기 쉽게 표현하는 사용자 중심의 설명 가능한 인터페이스 설계 방안을 제시하였다. 본 연구는 XAI의 신뢰성 향상 및 사용자 중심 설계의 중요성을 강조하고, 이를 구체화하는 접근 방식을 제시함으로써 의료 XAI 분야에 중요한 시사점을 제공한다.

#### 1. 서론

최근 인공지능(AI)의 성능이 크게 향상되면서 의료분야에서 널리 사용되기 시작했다. 특히, 인공지능은 환자 개인에 대한 방대한 데이터를 신속하고 지속적으로 수집하고 [1], 이를 바탕으로 실시간 모니터링과 개인 맞춤형 치료를 가능하게 한다 [2]. 더욱이, 의료 인공지능은 미세한 병변의 변화와 인간 행동 패턴에 대한 동향을 파악하는 데 있어서도 강점이 있다 [3]. 그러나, 의학적인 의사결정이 가진 고 위험성으로 인해 인공지능의 설명 가능성에 대한 요구가 높아지고 있다 [4]. 의료 인공지능의 신뢰성을 강화하기 위해서는 진단 및 치료와 직간접적으로 관련된 의사, 환자, 연구원 등이 인공지능의 결정 과정을 충분히 이해할 수 있어야 한다. 현 인공지능 시스템이 가진 한계를 보완하기 위해, 사용자 중심의 설명 가능한 인공지능(Explainable AI, XAI)이 주목받고 있다 [5].

인간이 이해할 수 있는 설명을 생성하기 위해서는 인간의 요구를 이해하고 [6] 그에 맞춰 설계된 설명 가능한 모델과 인터페이스가 필요하다 [4]. 의료진과 환자 및 같은 최종 사용자를 시스템 개발 과정에 포함시켜, 의료 인공지능이 사용되는 특정 질병과 맥락을 이해해야 한다 [7]. 또한, 의료 인공지능 시스템의 주요 목적, 사용자, 그리고 예정된 용도에 대한 이해를 바탕으로 [8], 어떤 설명이 왜, 그리고 언제 제공되어야 하는지에 대해 설계

하는 것이 필요하다 [9].

본 연구는 뇌졸중 후 말 언어장애 환자를 대상으로 개별적인 상태 평가가 가능한 디지털 치료기기 개발을 제안한다. 뇌졸중은 높은 유병률과 사망률로 인해 주요 건강 문제로 부상하고 있으며 [10], 이중 약 50%의 환자는 말 언어장애를 겪게 된다 [11]. 말 언어장애는 구어의 명료도를 저하시켜 의사소통을 어렵게 하며 [12], 뇌졸중 병변의 위치와 크기에 따라 환자마다 다른 증상을 보인다 [13]. 따라서 개별 환자의 상태를 정확히 파악하고 맞춤형 언어 치료를 제공하는 것이 중요하다. [13]. 그러나 현재의 임상 환경에서는 의료진의 청각적 평가에 의존하게 되어 환자의 미세한 변화를 감별하기 어려울 뿐만 아니라, 상당한 시간과 노력이 필요하다 [14]. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 연구는 음성 인공지능을 활용한 디지털 치료기기를 개발하여 시간과 장소에 구애받지 않고 객관적이고 정량적인 평가를 통해 개인 맞춤형 치료를 제공할 수 있도록 한다 [15]. 특히, 본 시스템은 환자와 의료진의 요구사항을 반영하여 개별 환자의 상태를 이해할 수 있도록 사용자 중심의 설명 가능한 인터페이스를 제공한다.

#### 2. 연구 방법

사용자 중심 설명 가능한 인공지능 시스템 개발을 위해, 뇌졸중 후 말 언어장애 환자 6명과 의료진 6명을 초기 시스템 개발 과정에 참여시켰다. 우리는 말 언어장애 평가와 관련된 사용 시나리오를 제공하고 [16], 인터뷰를

\* 이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2022-0-00621, 대화 기반 설명가능성을 멀티모달로 제공하는 인공지능 기술 개발)

통해 인공지능 시스템의 설명 요구사항을 파악했다. 그런 다음, 요구사항을 기반으로 말 언어장애 세부 평가에 대한 설명 가능한 인터페이스를 설계했다.

### 3. 뇌졸중 후 마비말장애 환자를 위한 설명 가능한 시스템

그림 1은 뇌졸중 후 말 언어장애 평가를 위한 설명가능 디지털 치료기기 시스템의 개요도이다. 우선, 디지털 치료기기를 통해 뇌졸중 후 말 언어장애 환자의 음성 데이터를 수집한다. 현재 대면 임상 환경에서 널리 사용되는 연장발성, 길항반복운동, 단어읽기 및 문단읽기의 말 평가 과제를 통해 말 언어장애 환자 특이 음성을 수집한다. 이후 각 평가 음성 데이터에서 말 산출과 관련된 하위 영역인 호흡, 발성, 공명, 조음, 운율을 각각 평가할 수 있는 음성 음향적 자질을 추출한다. 마지막으로 추출된 데이터를 분석하여 개별 환자의 말 언어장애 평가 결과를 환자가 이해할 수 있는 수준으로 해석하여 제공한다.



그림 1. 뇌졸중 후 말 언어장애 평가를 위한 설명가능 인공지능 시스템 개요도

본 연구에서는 뇌졸중 후 말 언어장애 평가와 관련된 환자와 의료진의 설명 요구사항을 파악하고, 이를 바탕으로 3가지 주요 컴포넌트를 설계했다.

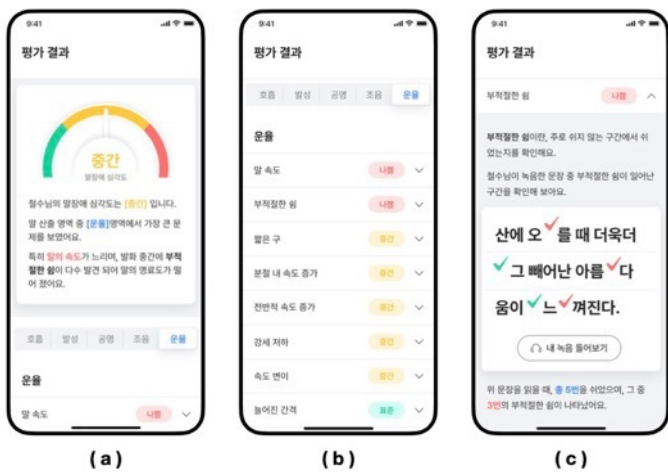


그림 2. 설명가능한 인터페이스 예시

#### 3.1 전체 평가 결과

의료 시스템 사용자들은 평가 결과에 대한 자세한 설

명을 원하며, 특히 왜 그런 결과가 도출되었는지를 알고 싶어 했다. 환자들은 전문 의료 지식이 부족하기 때문에, 평가 결과를 쉽게 이해하고 파악할 수 있는 명확하고 간결한 요약 정보를 필요로 한다.

그림 2(a)는 말 언어장애의 평가 결과를 요약하여 보여 준다. 화면 상단에는 말 언어장애의 심각도를 직관적으로 안내하며 (예: 정상, 중간, 위험), 말 산출과 관련된 다섯 가지 하위 영역 중 가장 저평가된 영역을 알려준다. 또한 결과 분석에 가장 큰 영향을 미친 이유를 강조하여 설명한다. 예를 들어, 그림 2의 경우, 말 언어장애 심각도가 중간으로 분석된 이유에 대해 특히 말의 속도가 느리고, 긴 발화 시 쉽이 잦은 운율 문제로 인해 구어명료도 저하에 영향을 미쳤음을 설명한다.

#### 3.2 영역 별 세부 평가 결과: 영향 특성

연구 참가자들은 평가 결과에 대한 깊은 이해를 위해 어떤 요소가 해당 분석을 촉진하는지, 각 요소가 예측에 어떤 정도로 영향을 미치는지, 특정 특징(예: 특징 X)이 결과에 어떤 영향을 주는지와 같은 정보를 알고 싶어 했다.

이러한 요구사항을 기반으로, 그림 2(b)는 각 말 산출 하위 영역별 세부 평가 결과를 보여주기 위해 설계되었다. 사용자는 호흡, 발성, 공명, 조음, 운율 등의 말 산출 하위 영역을 선택하여 해당 영역의 세부 분석 결과와 전체 결과에 어떤 영향을 미치는지를 확인할 수 있다. 평가 결과에 가장 큰 영향을 미친 특징들을 순서대로 나열하고, 위험도에 따라 색상으로 구분하여 한눈에 이해할 수 있도록 디자인했다 (예: 나쁨 - 빨간색, 중간 - 노란색, 표준 - 초록색). 이를 통해 사용자는 '운율' 영역에서 자신의 분석 결과에 가장 크게 영향을 미친 특성 값이 무엇인지 한눈에 파악할 수 있다.

#### 3.3 평가 결과의 사례 설명

마지막 컴포넌트는 사용자가 받은 평가 결과가 왜 그런 결과가 나왔는지, 결과와 관련된 입력 데이터는 무엇이었는지, 그리고 각 입력 데이터가 분석 결과에 어떻게 영향을 미쳤는지에 대한 설명을 제공한다. 특히, 의학적 또는 AI 관련 용어를 이해하는 데 어려움을 겪는 환자 사용자들을 위해, 자세한 설명을 제공하도록 설계되었다.

이를 반영하여, 그림 2(c)는 운율 영역에서 '부적절한 쉬'에 대한 분석 결과와 이에 대한 설명의 예시를 보여 준다. '부적절한 쉬'를 선택한 사용자에게는, 그에 대한 세부 분석 결과와 함께 사례를 제공한다. 설명의 상단 부분에서는 '부적절한 쉬'에 해당하는 용어의 정의를 제공하여 사용자의 이해도를 높인다. 또한, 사용자가 녹음한 문장 데이터에서 어떤 부분에서 적절한 쉬가 이루어졌는지, 어떤 부분에서 부적절한 쉬가 발생했는지를 텍스트와 함께 색상으로 시각화하여 설명한다. 전체적으로 쉬가 이루어진 구간과 횟수, 그리고 그 중에서 부적절한 쉬가 발생한 구간을 빨간색으로 표시하여 한눈에 알아볼 수 있도록 했다. 이를 통해, 사용자는 해당 문장을 다시 들어보면서 부적절한 쉬의 분석 결과를 직접 확인하고 이해하는 데 도움을 받을 수 있다. 또한 어떤 부분을 수정해야 (예: 부적절한 쉬를 쉬지 않아야 하는 구간) 더

나은 결과를 얻을 수 있을지에 대한 통찰력을 습득한다.

#### 4. 결론 및 향후 연구

본 연구는 뇌졸중 후 말 언어장애 환자를 위한 사용자 중심 설명 가능한 디지털 치료기기 시스템을 제안하는데 초점을 맞추었다. 일반적으로 사람 중심의 XAI 접근법은 인터뷰, 가상 시나리오, 설문 조사 등을 통해 사용자를 개발 과정에 반복적으로 참여시키고, 최종 사용자에게 무엇을 언제 어떻게 설명할 것인지를 결정하는데 중점을 둔다 [6-7]. 이러한 협업 설계 방법론은 연구자와 개발자가 사용자의 가치와 인간-AI 상호작용의 사회적, 운영적 맥락을 식별하고 이해하는데 도움을 준다.

본 연구는 뇌졸중 후 말 언어장애라는 특정 의료 분야에서 시스템의 최종 사용자인 의료진과 환자의 설명 요구사항을 이해하고, 이를 설계 솔루션에 명확하게 연결하였다. 이를 통해 우리는 세 가지 설명 가능한 인터페이스 디자인 구성요소를 제안하였으며, 이는 사용자 중심 XAI 시스템 개발의 모범 사례를 보여준다.

본 연구의 궁극적인 목표는 뇌졸중 후 말 언어장애 환자를 위한 개인화된 평가와 치료를 제공하는 음성 인공지능 기반의 디지털 치료기기를 개발하는 것이다. 현재의 연구는 이 목표를 위한 발판으로, 평가 시나리오에 사용자 중심 XAI 설계 원칙을 적용하는 것을 제안하고 있다. 향후 본 연구의 결과를 바탕으로 설계를 반복하고, 이를 인공지능 기반 디지털 치료기기 시스템 전체에 적용하는 설명 가능한 모델을 개발하고자 한다. 또한, 실증적 연구를 통해 시스템을 최종 사용자에게 제공함으로써, 모델의 적합성을 평가할 것이다.

#### 참고문헌

[1] Fellous JM, Sapiro G, Rossi A, Mayberg H, Ferrante M. Explainable Artificial Intelligence for Neuroscience: Behavioral Neurostimulation. *Front Neurosci.*, 13, 1346., 2019.

[2] Noar SM, Benac CN, Harris MS. Does tailoring matter? Meta-analytic review of tailored print health behavior change interventions. *Psychol Bull.*, 133(4), 673-93., 2007.

[3] Buckova B, Brunovsky M, Bares M, Hlinka J. Predicting Sex From EEG: Validity and Generalizability of Deep-Learning-Based Interpretable Classifier. *Front Neurosci.*, 14, 589303., 2020.

[4] Holzinger A, Langs G, Denk H, Zatloukal K, Muller H. Causability and explainability of artificial intelligence in medicine. *Wiley Interdiscip Rev Data Min Knowl Discov.*, 9(4), e1312., 2019.

[5] Adadi A, Berrada M. Peeking inside the black-box: a survey on explainable artificial intelligence (XAI). *IEEE access.*, 6, 52138-60., 2018.

[6] He X, Hong Y, Zheng X, Zhang Y. What are the users' needs? Design of a user-centered explainable

artificial intelligence diagnostic system. *International Journal of Human-Computer Interaction.*, 39(7), 1519-42., 2023.

[7] Schoonderwoerd TA, Jorritsma W, Neerincx MA, Van Den Bosch K. Human-centered XAI: Developing design patterns for explanations of clinical decision support systems. *International Journal of Human-Computer Studies.*, 154, 102684., 2021.

[8] Melles M, Albayrak A, Goossens R. Innovating health care: key characteristics of human-centered design. *Int J Qual Health Care.*, 33, 37-44., 2021.

[9] Anjomshoae S, Najjar A, Calvaresi D, Främling K, editors. Explainable agents and robots: Results from a systematic literature review. *18th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2019).*, 2019.

[10] Feigin VL, Brainin M, Norrving B, Martins S, Sacco RL, Hacke W, et al. World Stroke Organization (WSO): Global Stroke Fact Sheet 2022. *International Journal of Stroke.*, 17(1), 18-29., 2022.

[11] Flowers HL, Silver FL, Fang J, Rochon E, Martino R. The incidence, co-occurrence, and predictors of dysphagia, dysarthria, and aphasia after first-ever acute ischemic stroke. *Journal of communication disorders.*, 46(3), 238-48., 2013.

[12] Pamela Comrie CMJM. The influence of acquired dysarthria on conversational turn-taking. *Clinical Linguistics & Phonetics.*, 15(5), 383-98., 2001

[13] Mitchell C, Bowen A, Tyson S, Conroy P. A feasibility randomized controlled trial of ReaDySpeech for people with dysarthria after stroke. *Clinical Rehabilitation.*, 32(8), 1037-46., 2018.

[14] Avan A, Digaleh H, Di Napoli M, Stranges S, Behrouz R, Shojaeianbabaei G, et al. Socioeconomic status and stroke incidence, prevalence, mortality, and worldwide burden: an ecological analysis from the Global Burden of Disease Study 2017. *BMC Med.*, 17(1), 191., 2019.

[15] Tăut D, Pinteș S, Roovers J-PWR, Mañanas M-A, Băban A. Play seriously: Effectiveness of serious games and their features in motor rehabilitation. A meta-analysis. *NeuroRehabilitation.*, 41, 105-18., 2017.

[16] Maguire M, Bevan N. User requirements analysis: a review of supporting methods. Usability: Gaining a competitive edge. 133-48., 2002.