Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange
Vol.9, No.5, May 31 (2023), pp.325-338
http://dx.doi.org/10.47116/apjcri.2023.05.27

Development of Auditory Rehabilitation App Based on Digital Welfare Technology for Hearing-Impaired People with Cochlear Implants

인공와우 이식 청각장애인을 위한 디지털 복지기술 기반 청능재활 앱 개발

Sangdo Lee[1]

이상도

[1] *Professor, Department of Welfare&Management, Korea National University of Ttransportation, Korea, sdlee@ut.ac.kr*

Abstract: The purpose of this study was to develop a mobile app for auditory rehabilitation for hearing-impaired people with cochlear implantation. From the point of view of digital welfare technology, auditory rehabilitation means not only the improvement of hearing and language functions, but also the technology that helps to communicate and interact safely. For this purpose, it was designed so that listening and speaking can be practiced at the same time, and that training contents can be evaluated and feedback received. In particular, by using Wav2vec 2.0, the standard speech spectrum and the speech spectrum of the hearing impaired are compared and analyzed to inform the difference in speech intelligibility and pronunciation, so that training can be performed according to individual characteristics. As a result of usability evaluation of this app by expert group, user usability 4.33(SD = .87), educational value 4.08(SD = .80), interest 3.92(SD = .56), interactivity 3.83(SD = .78) appeared. This confirms that it is suitable and efficient for auditory rehabilitation training. The social welfare implications of this study are that it can be used to solve welfare issues, promote social participation, guarantee euality of educational opportunities, and provide health care services for hearing-impaired people who have undergone cochlear implant surgery. As a suggestion, the need for further advancement through improvement of the performance and UI of the auditory rehabilitation app was suggested.

Keywords: Auditory Rehabilitation, Mobile App, Hearing Impairment, Cochlear Implantation, Digital Welfare Technology

요약: 본 연구의 목적은 인공와우 이식 청각장애인들의 청능재활을 위한 모바일 앱을 개발하는 것이다. 디지털 복지기술 관점에서 청능재활은 청각과 언어기능의 향상뿐만 아니라 안전하게 소통하고 교류할 수 있도록 돕는 기술을 의미한다. 이를 위하여 듣기와 말하기를 동시에 훈련할 수 있고, 훈련 내용을 평가하여 피드백 받을 수 있도록 설계하였다. 특히 Wav2vec 2.0을 이용한 표준 발화의 스펙트럼과 청각장애인의 발화 스펙트럼을 비교 분석하여 말명료도 및 발음의 차이를 알려줌으로써 개인별 특성에 따른 훈련을 할 수 있게 구성하였다. 전문가그룹에 의한 본 앱의 사용성 평가 결과, 사용자 용이성 4.33(SD = .87), 교육적 가치 4.08(SD = .80), 흥미성 3.92(SD = .56), 상호작용성 3.83(SD = .78)으로 나타났다. 이것으로

Received: January 18, 2023; 1st Review Result: March 05, 2023; 2nd Review Result: March 31, 2023
Accepted: April 30, 2023

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

청능재활 훈련에 적합하고 효율적임이 확인되었다. 본 연구의 사회복지적 함의는 인공와우 수술을 받은 청각장애인들의 복지 이슈 해결과 사회적 참여의 증진, 교육 기회의 평등성 보장, 보건의료서비스 제공에 활용될 수 있다는 것이다. 제언으로 청능재활앱의 성능과 UI의 개선을 통해 더욱 고도화할 필요성을 제시하였다.

핵심어: 청각재활, 모바일 앱, 청각장애, 인공와우, 디지털 복지기술

1. 서론

복지영역과 과학기술은 장애 또는 노화로 인해 저하된 신체기능을 대체하거나 보완, 발전시키는 것을 지향하며 융합되어 왔다. 이후 전지구적 인구고령화 현상과 맞물려 대상자의 삶의 질 향상을 위해 복지시스템을 재구조화하고, 복지 공동체를 구축하는데 투입되는 IT 인프라 등의 시스템과 서비스 관리를 포함하는 영역으로 확대되고 있다[1]. 2007년 덴마크에서 처음 사용된 '복지기술'이라는 용어는 노르딕 국가들에서 장애인과 노인을 포함한 공공영역에서 일상활동, 안전, 사회참여, 독립적 생활을 유지, 향상시키는데 사용되는 모든 기술로 정의되었다[2]. 이것은 북유럽 국가들만의 현상이 아니다. 영미권과 일본에서도 돌봄 비용의 증가에 대한 재정부담을 완화시키기 위해 디지털 기기 등을 활용한 복지기술에 주목하고 있다[3]. 복지기술은 노인과 장애인에 대한 보조기술을 뜻하기도 하고, 혁신적인 정책과 기술을 의미하기도 하지만, 포괄적으로 지원되는 삶(Ambient Assisted Living: AAL) 등에서 논의되는 문제와 해결 수단 모두가 범주에 해당된다[4]. 전반적으로 복지기술은 디지털 기술을 활용하여 복지 대상자에게 직·간접적으로 도움을 주는 복지서비스로 이해되고 있다. Hofman[5]은 복지기술을 목적과 기능에 따라 의사소통 지원, 보상기술 및 보조기술, 일상생활 보조, 질병 모니터링, 원격치료, 재활기술, 엔터테인먼트, 사회적·지원과 자극 등 8가지 영역으로 구분하였다. 박소영 외[6]는 복지요구 수준을 자립자조, 의사소통, 네트워크, 건강, 기타 융합의 5개 영역으로 구분하고 각 수준별 기능 요소를 정의하였다. 이상도와 김보희[7]는 디지털 기기를 활용한 복지기술에 초점을 두어 '디지털 복지기술'을 일상적 활동과 안전 등 이용자의 삶의 질을 높이는 '이용자 중심의 기술'과 IT 기술을 통해 복지 이슈를 해결하는 '스마트 복지', 이러한 복지기술의 활용을 지원하는 혁신적인 기술 및 서비스 관리를 위한 '복지제도 시스템'을 포함한다고 정의하였다. 따라서 디지털 복지기술은 원격치료, 재활과 추적관리에 필요한 최첨단 기술부터 저비용 센싱으로 적용가능한 적정기술까지, 이러한 기술의 활용을 지원하는 플랫폼과 이를 위한 복지제도 시스템 다차원적 관점에서 접근할 필요가 있다[8].

인공와우 이식(cochlear implantation)은 보청기를 사용하여도 듣기에 어려움이 있는 양측 고도 감각신경성 청각장애인에게 청력을 제공해주는 효과적인 재활의 방법이다[9]. 달팽이관 속에 전극을 삽입하여 전기적 자극으로 소리를 감지하게 하는 수술로서, 일차적으로 소리를 듣게 하는 기능을 한다. 그러나 소리를 듣고 그것이 무엇을 뜻하는 의미인지 이해하는 과정은 단순히 듣는 것이 아니라 우리의 머릿속에서 이루어져야 하는 복잡한 말소리 인식의 과정이다. 따라서 인공와우로 전달되는 제한적인 소리정보를 보완하기 위해서는 청능재활(auditory rehabilitation)이 함께 이루어져야 한다. 청능재활은 소리의 존재를 아는 감지의 과정, 소리의 차이를 아는 변별의 과정, 어떤 소리인지를 아는 확인의 과정, 자신의 어휘목록과 비교하여 의미를 이해하는 이해의 과정을

 Copyright ⓒ 2023 KCTRS

포함한다. 그러나 실제 회기에서는 단계마다 대상자 특성에 따라 구체적이고 세부적인 목표를 설정하고 진행해야 적절한 듣기 기술이 발달할 수 있기 때문에, 듣기 기술뿐만 아니라 말, 언어 발달까지 목표를 두고 진행해야 한다[10]. 그렇기에 청능재활은 재활관련 전문가가 통상 주 1~2회, 40~90분 정도 듣기 기술과 말, 언어, 정서발달, 의사소통 및 상호작용 등과 관련된 정보를 수개월 동안 제공하는 형태로 진행된다[10]. 이러한 훈련 방식은 청력 손실로 인해 발생할 수 있는 소통과정에서의 불이익을 최소화하고, 지역사회에서 잘 적응하며 살아갈 수 있도록 지원하기 위함이다.

전문치료기관에서 정기적이고 지속적으로 청능재활을 받는다는 것은 상당한 비용과 시간이 소모된다. 그럼에도 말과 언어의 손상은 삶의 질에 악영향을 끼치며[11], 의사소통의 문제로 인해 사회적 고립과 낙인 등의 부정적 감정 상태 등을 초래할 수 있기 때문에[12], 지속적이고 집중적으로 재활훈련을 받아야만 한다. 최근에 이러한 문제를 해결하기 위하여 기존의 오프라인 형태로 진행되는 청능재활 콘텐츠를 스마트폰 앱으로 만들어 청각재활에 적용한 연구가 진행되고 있다[13]. 시간과 공간의 제약을 극복하고 비용도 저렴하게 이용할 수 있는 스마트폰 앱을 통해 반복학습이 촉진되면 청능재활의 효과가 더 높아질 수 있기 때문이다. 유재형 외[13]의 연구에서는 성인 청각장애인에게 스마트폰 앱을 이용하여 청능훈련을 실시한 결과 어음인지가 향상된 사례가 보고 되었다. 스마트폰 앱 기반의 청능재활 프로그램은 청각장애인이 혼자 또는 다른사람의 도움을 받아서 사용할 수 있고, 위험성이 낮으며, 저렴한 비용으로 의사소통 기술까지 향상시킬 수 있어 개인별 요구에 따라 훈련을 조절할 수 있는 장점이 있다[14]. 이러한 디지털 복지기술은 청력손실의 부정적인 영향을 완화시킬 수 있으며, 다양한 촉진자와 함께 청능재활 훈련을 실시하고 훈련과정을 추적관리 할 수 있기 때문에 재활훈련에 참여하려고 하는 잠재적 난청인들에게 보다 많은 기회를 제공할 수 있다[15]. 따라서 인공와우 이식 청각장애인들이 스마트폰 앱을 이용하여 청능재활 훈련을 함으로써, 청각과 언어기능의 향상뿐만 아니라 사람들과 안전하게 소통하고 지역사회에서 적응하며 살아갈 수 있도록 돕는 기술이야말로 ‘디지털 복지기술’의 역할이자 사람중심의 맞춤형 재활서비스라고 할 수 있다.

그러나 현재까지 개발된 청능재활 스마트폰 앱은 난이도에 따른 단계별로 구성되어 있어 청각장애인의 청각상태 및 개인의 특성이 반영되지 못하므로 개인별 훈련 로드맵을 구성하기에 부적합하다. 또한, 청능재활앱의 대부분은 듣기 훈련 위주의 프로그램으로서 말하기 훈련이나 발음교정은 다른 시스템을 이용해야 하는 불편이 있다[15]. 이를 위해서는 음성인식 인공지능 기술을 활용하여 듣기 훈련과 말하기 훈련을 할 수 있도록 지원하면서도, 훈련한 내용을 평가하고 피드백 받을 수 있도록 설계되어야 한다. 특히 정확한 발음의 스펙트럼을 분석하여 자신의 발음과 어떠한 차이가 있는지 이해할 수 있도록 지원해야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 인공와우 이식 청각장애인들이 효과적으로 듣기훈련과 말하기 훈련을 할 수 있도록 음성인식 인공지능을 적용한 스마트폰 앱을 개발하였으며, 이에 따른 기획과 콘텐츠 프로세스 및 개발 과정을 논의하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 인공와우 프로그램

인공와우 프로그램은 보청기의 도움을 받지 못하는 고도 난청인들에게 청각

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

기능(auditory capacity)을 제공하는 유용한 방법이다[16]. 인공와우 프로그램은 수술 전 평가와 수술, 인공와우 조율(mapping) 및 청능재활 치료로 구성되어 있으며, 최대의 효과를 위해서는 수술전 평가부터 수술 후 추적관리까지 장기간의 재활이 필요하다[17]. 수술 전 평가는 청력검사와 언어 평가, 영상의학적 검사를 하게 된다. 청력검사는 현재의 청각 수준을 측정하고, 언어 평가는 청각장애인의 소리 자극에 대한 인지 능력을 측정하는 검사이다. 영상의학적 검사는 내이 기형과 청신경을 비롯한 청각전도로에 대한 해부학적 정보를 제공한다. 수술 후 5주부터 인공와우를 사용하게 되는데 최상의 소리를 들을 수 있도록 언어처리기의 프로그램을 조절하는 것을 맵핑(mapping)이라고 한다. 이러한 맵핑과 더불어 정기적인 청능재활치료를 시행해야 말소리에 대한 인지능력을 회복시키고 인공와우를 이용한 듣기능력 및 구어 의사소통능력을 최대화시킬 수 있다[17].

2.2 청능재활 프로그램

인공와우 이식 후 청능재활 프로그램은 듣기 기술의 발달 단계에 따라 구성되어야 한다. 청각장애인의 청각 수준에 따라 4단계의 훈련 목표와 과제를 구분할 수 있으며 이것은 [표 1]과 같이 구분할 수 있다[18][19]. 훈련은 듣기 연습을 중심으로 진행되어야 하며, 시각적 정보 없이 듣기만으로 말소리를 변별할 수 있도록 구성하되 독화가 필요하면 시각적 단서를 제공한다. 이렇듯 음향적 측면에 중점을 둔 훈련에서 일반적인 대화 방식과 같이 듣기에 덜 중점을 둔 훈련으로 발전시켜야 한다.

[표 1] 듣기 기술의 발달 단계

[Table 1] Developmental Stages of Listening Skills

구분	내
감지 (Detection)	소리의 존재 유무에 대해 반응하는 노력 놀이를 통한 접근 / 무의식적인 민첩한 반응
변별 (Discrimination)	2개 이상의 말소리 자극들의 유사점과 차이점에 대해 인지하는 능력
확인 (Identification)	들은 말소리에 맞는 그림을 지적하거나 받아 적거나 반복해서 확인하거나 명명하게 하여 말소리의 자극을 재발화하는 능력 □ 초분절음 - 말소리 운율적 요소 / 크기와 높낮이 / 성낸 목소리와 슬픈 목소리 / 남녀, 아이 목소리 □ 분절음 - 초기 의성적인 소리와 낱말, 다양한 모음과 자음이 들어 있는 일음절 낱말 - 모음은 일정하나 발음의 방법, 위치, 유성의 자질이 대조되는 자음이 포함된 낱말 - 한가지 형태의 구에서 위치를 나타내는 명사를 달리하기 - 발화를 습득하기 위하여 분절적 대조를 이용한 청능 훈련
이해 (Comprehension)	질문에 대답하기, 지시 따르기, 바꾸어 말하기, 혹은 대화에 참여함으로 해서 말의 의미를 이해하는 능력 - 친숙한 표현 / 경구, 지시(상황, 요소, 사건), 이야기 내용에 대한 질문, 소음에서 연습

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

3. 청능재활 앱 개발

3.1 기획단계

기존 청능재활 앱의 콘텐츠를 분석하기 위해서 애플 앱 스토어(App store)와 구글 플레이 스토어(Google play)를 활용하여 국내 앱을 중심으로 검색하였다. ‘청능훈련’ 및 ‘듣기 연습’ 관련 검색으로는 음성자막 변환, 청력테스트, 보청기 앱 및 보청기 증폭기, 청각장애인을 위한 소리인식 알림 앱, 수화번역 및 학습 등의 앱이 있었으며, 주로 음성자막 변환을 도와주는 의사소통 지원 앱이 많았다. 청능재활에 도움을 주는 앱들은 듣기 기술 향상 콘텐츠가 부족했고, 대부분 앱은 말하기 연습 기능이 포함되지 않았다. 듣기와 말하기는 상호 다른 영역의 기능이지만 훈련에 있어서는 동시 또는 단계에 따라 순차적으로 진행되어야 함에도 불구하고, 청능훈련 시스템과 발음교정 시스템이 분리되어 있어 통합적 접근이 어려운 상황이었다. 이에 ‘발음 교정’ 및 ‘말하기 연습’ 관련 앱 검색을 추가로 진행하였다. 관련 앱은 대부분 학습 앱이었으며 외국어 학습을 위한 발음 및 발성 연습, 구화교육, 바른말 배우기 등으로 구성되어 있었다. 전반적으로 청능재활 앱은 텍스트를 보여주고 듣기에 해당하는 낱말과 어절을 선택하여 정오반응을 체크하는 방식이다. 따라서 기존 시스템으로는 듣기 연습을 하는 청각장애인이 소리를 이해하고 발화를 하면서 자신의 발음 스펙트럼이 정확한 발음 스펙트럼과 어떻게 차이가 나는지 확인할 방법이 없었다. 이에 본 연구에서는 음성인식 AI를 활용하여 듣기 연습과 말하기 연습, 발음에 대한 말명료도를 확인할 수 있는 스마트폰 앱 “메아리”를 개발하였다.

3.2 시스템 구조와 프로세스

듣기 연습은 낮은 수준의 음성 및 음향적 특징을 탐지할 수 있도록 훈련하여 단계적으로 청지각의 상향식 정보 처리 능력을 개선하도록 하였으며, TTS(text to speech) 기술을 이용하여 텍스트를 정확하게 발화하도록 하였다. 말하기 연습은 STT(speech to text) 기술을 활용한 정확한 발음 스펙트럼과 자신의 발음을 비교할 수 있도록 상대방이 의미적으로 알아들을 수 있는 정도를 뜻하는 말명료도(speech intelligibility)값을 제시하였다. 본 연구에서 설계 및 구현한 시스템은 [그림 1]과 같이 진단검사와 듣기 연습, 말하기 연습으로 구성되어 있다. 전반적인 프로세스는 언어재활 교수와 10년 이상 임상경험을 가진 전문가 3인의 자문을 받아 윤미선[19]의 연구를 기초로 설계하였으며, 듣기 연습의 단계에 따라 말하기 연습을 추가하였다. 선별검사는 청각장애인의 듣기능력이 어느 정도인지를 파악하여 듣기 연습의 시작수준을 결정하기 위한 검사이다. 소리감지 검사와 낱말검사 I, 문장검사 I, 낱말검사 II, 문장검사 II, 문장검사 III 순으로 이루어져 있다. 듣기 연습은 소리의 감지와 변별에서 소리의 확인과 이해 과제로 이행된다. 말하기 연습은 인공지능 알고리즘으로 음성을 비교하여 말명료도의 분석값을 제시하고 어떤 차이가 있는지 알려준다.

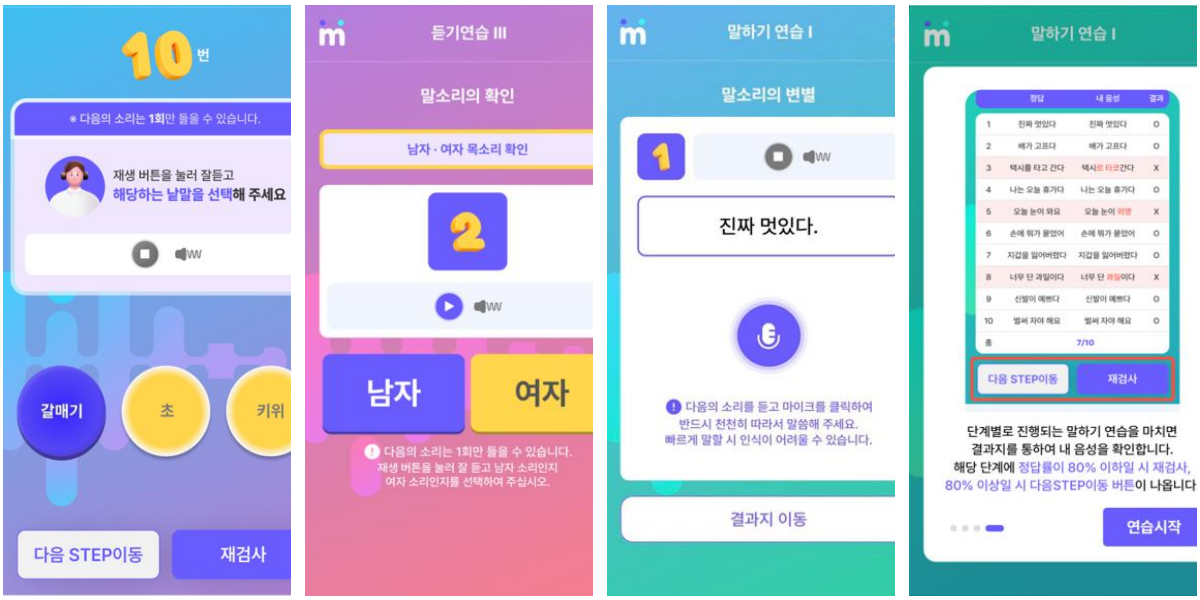
소리감지검사에서 80% 미만의 수행력을 보인 사용자는 듣기 연습의 I단계인 <소리의 감지> 연습을 시작한다. 낱말검사 I과 문장검사 I에서 80% 미만의 수행력을 보인 사용자는 듣기 연습의 2단계인 <말소리의 변별> 연습을 시작한다. 2단계 듣기 연습이 종료되면 말하기 연습 II를 시작한다. 낱말검사 II와 문장검사 II에서 80% 미만의 수행력을 보인 사용자는 듣기 연습 III단계 <말소리의 확인> 연습을 시작하며 종료 후

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

말하기 연습 II를 시작한다. 문장검사 III에서 80% 미만인 사용자는 듣기연습의 IV단계 <말소리의 이해> 연습을 시작하며 이후 말하기 연습 III도 시작한다. 문장검사 III에서 80% 이상의 수행력을 보이는 사용자는 듣기연습 과정이 필요로 하지 않는 것으로 평가하였다.

[그림 1] 선별검사와 듣기 연습, 말하기 연습의 프로세스

[Fig. 1] The Process of Screening, Auditory, and Speaking Training



[그림 2] 소리감지검사와 듣기 연습, 말하기 연습 화면 구성

[Fig. 2] Screen Composition for Sound Detection Tests, Auditory Training and Speaking Practice

듣기 연습 I은 환경음과 말소리의 감지로 구성하였다. 환경음은 주변에서 발생하는 여러 가지 소음을 뜻하며 소리가 크고 둔탁한 소리부터 점차적으로 소리가 작고

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

날카로운 소리로 옮겨가도록 구성했다. 말소리 감지는 큰 소리 반응하기부터 작은 소리 반응하기의 과제 순으로 구성되었다. 듣기 연습 II는 소리의 같고 다름을 변별하는 것을 목표로 한다. 차이가 많은 두 소리의 변별에서부터 차이가 적은 두 소리의 변별로 진행된다. 의문문과 평서문의 억양 차이, 길이가 다른 낱말과 문장의 차이, 길이가 같은 낱말과 문장의 차이 순으로 수행하도록 설계되었다. 듣기 연습 III은 말소리를 듣고 그것이 어떤 소리인지를 확인하는 것을 목표로 한다. 소리를 들은 후, 그 소리가 어떤 소리인지 보기에서 고르는 방식이며, 보기의 수가 적은 것에서 보기의 수가 많은 과제로 진행하도록 설계되었다. 또한 길이가 차이나는 낱말과 문장에서 길이가 차이나지 않는 낱말과 문장으로, 음향패턴이 다른 문장에서 음향패턴이 유사한 문장으로 연습을 하도록 설계되었다. 듣기 연습 IV는 말소리를 듣고 따라 말하고 그 의미를 이해하는 것을 목표로 한다.

말하기 연습은 듣기 연습의 각 영역에서 사용된 동일한 낱말과 어절을 발음하도록 설계하였으며, 각 단계별 듣기 연습이 통과된 사용자가 말하기 연습을 할 수 있도록 구성하였다. 소리감지검사와 듣기 연습, 말하기 연습의 화면 구성은 [그림 2]와 같다.

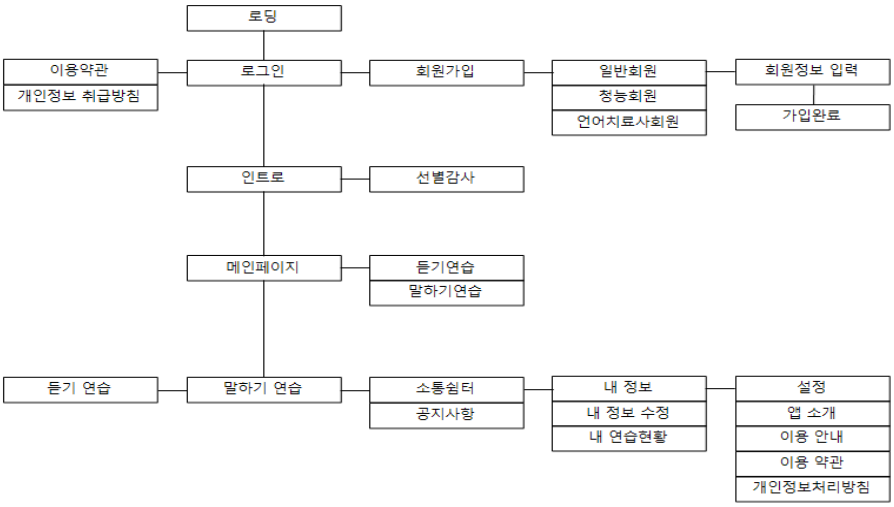
3.3 앱의 기능 및 어휘 목록 개발

‘메아리’ 앱에서 구현할 기능과 관련하여 직접적인 기능과 유기적인 기능을 정리하였다. 앱에서 필요한 기능 구현과 어휘 목록을 개발하기 위하여 청능재활 분야 교수와 10년 이상의 임상 경력을 가지고 있는 청능재활 전문가 3인에게 포커스 그룹 인터뷰를 실시하였다. 포커스 그룹 인터뷰 결과, 목표 단어 발화의 음성, 제시된 낱말 및 문장의 정오반응에 대한 피드백 기능, 가족 등 촉진자 및 전문가 등과의 훈련 정보 공유, 수행 이력 저장 및 조회, 말명료도 확인, 훈련 데이터의 시각화 등의 기능으로 결정하였다.

어휘목록은 윤미선[19]의 연구를 토대로 국립국어교육원(Korea Institute of Korean Language)의 자료에서 한국인이 자주 사용하는 낱말 및 문장으로 추출한 어휘를 포커스 그룹의 자문을 받아 변경 사용하였다. 선정된 어휘목록은 음소기반, 낱말 기반, 어절기반, 인지기술 기반 훈련 등으로 구성되어 있다. 각 영역별 길이가 같은 낱말과 어절, 길이가 다른 낱말과 어절, 음향패턴이 유사한 낱말과 어절, 음향패턴이 다른 낱말과 어절을 구분하여 체계적으로 훈련할 수 있도록 설계하였다. 앱 개발 시에 포커스 그룹과 수시로 회의를 했으며, 앱의 실행과 사용자의 정오반응, 피드백, 훈련 성과가 원활하게 나타날 수 있도록 구조를 확정 지었다. 앱 개발과 관련한 구조도 및 운영도는 [그림 3]과 같다.

선별검사	듣기연습	말하기연습	소통쉼터	내정보
소리감지검사	소리의 감지	말하기연습1	공지사항	내 정보
낱말검사1	말소리의 변별	말하기 연습2		내 정보수정
문장검사1	말소리의 확인	말하기 연습3		내 연습현황
낱말검사2	말소리의 이해	말명료도 분석		
문장검사2				
문장검사3				

Copyright ⓒ 2023 KCTRS



[그림 3] 앱 개발 구조 및 운영 프레임워크

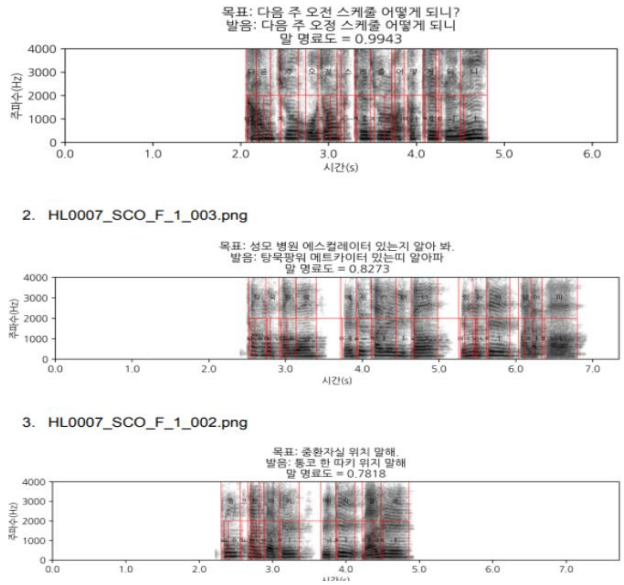
[Fig. 3] Structural and Operational Framework for Application evelopment

3.4 음성인식 인공지능 활용 말명료도 분석

말명료도는 화자가 의도한 메시지를 청자에게 정확하게 전달한 정도를 의미한다[20]. 말명료도는 조음, 호흡, 발성 등 여러가지 요인에 의해 결정되며 불필요한 반복, 과도한 무의미어, 간투사 사용 등 비유창성에 의해서도 저하될 수 있다. 인공지능을 이용한 말명료도 분석은 3단계에 걸쳐서 이루어진다. 우선, 인공지능 모델을 이용하여 음성 파일에서 소리상의 요소인 음소를 추출한다. 그다음, 원래 화자가 말하려고 했던 문장을 음소로 변환한다. 마지막으로 실제 발음한 글자 표기상의 요소인 자소와 목표했던 발화의 자소를 비교한다. 본 연구에서는 청각장애인에게 흔히 나타나는 조음 오류에 집중하였으며 말명료도를 정확한 조음과 동일한 의미로 보고 목표했던 자소를 얼마나 정확하게 발음했는지로 계산하였다.

본 연구에서 사용한 음성데이터는 2022년 한국지능정보사회진흥원(NIA)의 지원으로 수집된 구음장애인 명령어 데이터이며 한국인이 많이 사용하는 문장을 순서대로 발음하도록 한 752개의 명령어로 구성되었다. 그 중 통계적 다양성과 구문적 정확성, 의미적 정확성, 유효성을 검증받은 음성파일 및 레이블 파일 약 15만 쌍을 분석 데이터로 활용하였으며 레이블 파일에는 스크립트 및 음성에 대한 발음과 철자 전사 텍스트를 포함하고 있다. 분석방법으로 우선, STT엔진을 이용하여 실제 발음에 가까운 텍스트를 확보하고 어절과 음절, 음소를 강제로 정렬시켰다. 그다음에 음소 강제 정렬 결과와 함께 모음 구간의 포먼트를 확인하여 스펙트로그램을 시각화하였다. 말명료도를 계산하는 데는 자소오류율(GER, Character Error Rate)를 사용하였다. 자소오류율은 오류가 얼마나 많은지 나타내는 지표이므로 스크립트와 STT에서 얻은 텍스트를 이용하여 CER을 계산하여 두 문장이 일치하면 0, 완전히 다르면 1점이 나오게 되어, 말명료도를 1-CER로 계산하였다. 음성 파일에서 음소를 추출하기 위해서 Wav2vec 2.0 모델을 사용하였으며, 말명료도 분석 알고리즘과 분석 결과는 [그림 4]와 같이 나타났다.

Copyright ⓒ 2023 KCTRS




```
# stt 결과
res = stt(args.file)
json_file = wav_file.parent / pathlib.Path(wav_file.name.replace( ".wav" ," .json" ))
if json_file.exists():
   with json_file.open( "r" ) as f:
        data = json.load(f)
        transcript = data[ "annotations" ][ "script" ]
        pronounce = data[ "annotations" ][ "pronunciationForm" ]

# cer
cer_metric = load_metric( "cer" )
cer_score = cer_metric.compute(
    predictions = [to_label(res[ "transcript" ])],
    references = [to_label(transcript)])

# plot spectrogram
sound = Sound(args.file)
spectral = SpectralFeatureExtractor(sound)
spectral.get_magnitude()
spec = to_array(spectral.get_spectrogram(spectral.magnifude))
width, height = spec.shape
figsize = (1, height/width) if height>=width else (width/height, 1)
figsize = [s*3 for s in list(figsize)]
plt.figure(figsize=figsize)
plt.title(f' 목표: {transcript}₩n 발음: {res[ "transcirpt" ]}₩n 말 명료도 = {1-cer_score:.4f}' )

# pause_time
Pause_times = IpEboundary(sound.signal, sound.sample_rate).get_pause_times()
```

[그림 4] 말명료도 분석 결과 및 소스 코드

[Fig. 4] Speech Intelligibility Analysis Results and Source Codes

3.5 앱 구성

본 연구에서 개발한 앱은 주요 기능과 부가 기능으로 구분할 수 있다. 주요 기능은 선별검사(소리감지 검사, 낱말검사 I, 문장검사 I, 낱말검사 II. 문장검사 II, 문장검사 III)와 듣기 연습(소리의 감지, 말소리의 변별, 말소리의 확인, 말소리의 이해), 말하기 연습(말하기 연습 I, 말하기 연습 II, 말하기 연습 III, 말명료도 분석)으로 구성되어 있다. 부가 기능에는 회원가입(일반회원, 청능회원, 언어치료사 회원)과 로그인, 내정보 수정 등이 있고 내 연습 현황을 통해 가족과 촉진자, 재활전문가들이 수행결과를 공유할 수 있다.

인공와우 이식 청각장애인을 위한 재활은 각 분야의 전문가들로 구성된 cochlear implant program team(이비인후과 의사, 청각학자, 언어병리학자, 청각장애인 교육자, 심리학자, 정신과 의사, 사회복지사 등)에 의해 이루어진다. 각 구성원들은 인공와우 프로그램의 전주기 과정을 통해서 청각장애인과 청각장애인 가족들을 위하여 각자의 역할을 담당한다[18]. 이것은 청각장애인들이 인공와우와 잘 적응할 수 있도록 의료적·사회적·정서적 도움을 제공하기 위함이다. 따라서 스스로 훈련하면서 가족 및 각 분야의 전문가들이 함께 훈련 과정을 모니터링할 수 있는 시스템을 개발할 필요성이 제기된다. 이를 위해 일반회원과 언어재활사 회원으로 로그인하여 학습현황을 공유하며 재활훈련에 도움을 줄 수 있도록 메뉴를 구성했다. 또한 기존 연구들은 듣기연습만 제공할 뿐, 음성 인공지능 기술로 딥러닝 하여 청각장애인의 발화를 정확하게 이해하고 인식하는 음성인식 기술이 적용되지 않아 말하기 연습에 한계가 있었다. 이러한 문제를 극복하기 위해 본 연구에서는 신경망(NN: Neural network)을 기반으로 뛰어난 음성인식 성능을 보이는 Wav2vec 2.0을 이용하여 말명료도 분석과 함께 목표했던 음소의 발화가 얼마나 표준발음과 차이가 있는지를 알려주어 정확한 말하기 연습이 가능하도록 하였다.

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

3.6 앱의 사용성 평가

앱의 사용성 평가 분석 도구로서 이영미 외[21]가 최수의[22]와 유구종 외[23], 현은자 외[24]의 연구를 참고하여 모바일 콘텐츠 평가 준거, 앱 인터페이스 평가준거, 단어게임 앱 평가준거를 기반으로 만든 평가 기준표를 사용하였다. 평가 기준표가 청능재활용 사용성 평가에 적합한 항목으로 구성되어 있는지 언어재활 전문가 포커스 그룹 3인으로부터 내용타당도 검증을 받았다. 평가 기준표는 사용자 용이성과 교육적 가치, 흥미성, 상호작용성의 4개 항목과 각 항목별로 8개 문항(총 32문항)으로 구성되었으며, '전혀 그렇지 않다(1점)'에서 '매우 그렇다(5점)의 Likert식 5점 척도를 사용하였다. 여기에서 '사용의 용이성'은 '청각장애인 스스로 사용할 수 있는가?'를 평가하고, '교육적 가치'는 '배울점이 있고 적합한가?'를 평가하며, '흥미성'은 '재미있게 몰입할 수 있는가?'를 평가한다. 마지막으로 '상호작용성'은 '상호작용 기능이 제공되는가?'를 평가하였다. 이 외에 추가적으로 보완 요청 사항을 조사하였다. 앱 테스트 버전의 기능상 오류와 개선사항을 파악하기 위하여 5년 이상 임상경험을 가진 언어재활사 및 청능사 그룹의 전문가 12명을 대상으로 사용성 평가를 하였으며 앱에 대한 설명과 함께 앱의 조작 및 체험, 설문지 평가 순으로 이루어졌다. 사용성 평가에 참여한 전문가 12명의 구체적인 정보는 [표 2]와 같다.

[표 2] 참여자 정보

[Table 2] Participants's Information

Classification		Frequency(%)
Age(yr)	20-29	3(25.0)
	30-39	5(41.7)
	40-49	3(25.0)
	50-59	1(8.3)
Education degree	Bachelor	3(25.0)
	Master	8(66.7)
	Ph.D.	1(8.3)
Working experience(yr)	< 1	0
	1-3	1(8.3)
	3-5	2(16.7)
	5-7	6(5.0)
	7-9	2(16.7)
	> 9	1(8.3)

사용성 평가 참여자(n=12)들에게 앱을 체험할 시간을 충분히 주고, 앱의 사용성 평가를 5점 척도로 설문조사 하였다. 사용성 평가는 사용자 용이성과 교육적 가치, 흥미성, 상호작용성의 4가지 영역으로 진행되었다. [표 3]과 같이 각 영역에서의 평균은 사용자 용이성이 4.33(SD = .87), 교육적 가치 4.08(SD = .80), 흥미성 3.92(SD = .56), 상호작용성 3.83(SD = .78)으로 나타났다. 전반적으로 사용하기 편리하고 교육적 가치에도 긍정적 반응이지만, 상대적으로 흥미성과 상호작용성이 낮게 나타나 앱 기능의 개선이 필요하다.

추가적 보완사항 응답으로는 리빙랩을 통해서 더 많은 사용자의 사용성 평가를 받아야 한다는 의견과 말명료도 값을 통해 발음 스펙트럼의 차이를 알 수 있지만 더욱 직관적으로 확인할 수 있도록 시각화 작업이 필요하다는 의견, 발음교정과 관련하여 혀를 움직이는 방법이나 입술 모양을 제시해 줄 필요가 있다는 의견, 학습현황을 재활전문가들이 직접 공유받을 수 있는 방법 등이 필요하다는 의견이 제시되었다.

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

[표 3] 사용성 평가 결과

[Table 3] Usability Evaluation Result

	Ease of use	Educational value	Interestingness	Interactive
Mean SD	4.33 (.87)	4.08 (.80)	3.92 (.56)	3.83 (.78)

4. 결론 및 논의

인공와우 이식 청각장애인들의 청능재활은 여러 분야의 전문가들에 의해 이루어진다. 고도화된 재활 훈련은 전문가들의 전문적인 지도, 가족들의 지지, 청각장애인 스스로의 동기에 의하여 지속될 수 있다[17]. 디지털 복지기술은 기술의 발전에만 초점을 맞춰서는 안 된다. 복지와 돌봄 영역에서 삶의 질 향상을 위한 혁신이 이루어져야 하기 때문이다. 따라서 청각장애인들이 디지털 복지기술을 지속적으로 사용할 수 있도록 순응도를 높이기 위해 다차원적인 방안을 고민해야 한다[7]. 시간과 공간, 비용의 제약을 넘어 누구나(Anyone), 언제나(Anytime), 어디서나(Anywhere) 훈련이 가능하도록 설계하되, 사용자 중심의 UI를 고민해야 하고, 순응도 향상을 위해 전문가를 포함한 지역사회 자원들을 적극 활용하여 동기 강화가 이루어질 수 있도록 해야 한다.

본 연구는 이러한 디지털 복지기술의 관점에서 인공와우 이식 청각장애인을 위한 청능재활 앱을 개발하였다. 대부분의 청능재활 앱과 같이 듣기 훈련에 국한되는 것이 아니라 음성인식 인공지능 기술을 활용하여 듣기 훈련과 말하기 훈련이 동시에 진행될 수 있도록 구성하였으며, 청각장애인 당사자는 물론 가족과 촉진자 그룹, 재활전문가들이 함께 참여하여 훈련할 수 있도록 설계하였다. 개발된 앱은 선별검사와 듣기 연습, 말하기 연습의 주요 기능과 로그인, 내정보 수정, 연습 현황 등의 기능이 포함된 부가기능으로 구성되어 있다. 이 모델은 듣기 기술의 발달 단계에 따른 훈련 시스템으로 설계되었기에 보다 전문적이고 체계적으로 재활 훈련을 할 수 있다. 또한 표준 발화 스펙트럼과 청각장애인의 발화 스펙트럼을 비교 분석하여 말명료도 및 다르게 발음된 음소를 알려줌으로써 개인별 특성에 따른 훈련을 할 수 있다. 연습 현황 메뉴를 통해 훈련 이력과 결과를 보호자 및 촉진자 그룹, 재활전문가가 재활 훈련의 동기부여와 순응도 향상을 지원할 수 있도록 일반회원과 언어재활사 회원으로 로그인하거나, SMS 전송 서비스를 통해 공유할 수 있도록 하였다.

이 앱은 고도난청(71~90dB)과 심도난청(91 dB)인 인공와우 이식 청각장애인들을 위한 듣기 연습과 말하기 연습을 위해 개발되었지만, 일반적인 청각장애인들뿐만 아니라 청력과 발음 유창성에 문제가 생기는 사람들도 훈련용으로 사용할 수 있어 대상자 폭이 넓다. 이 앱에서 사용된 음성인식 인공지능은 음소 및 자소 단위의 분석을 통해 말명료도를 분석하기 때문에 다양한 언어에 관계없이 활용할 수 있어 외국어 학습용 발음교정에도 활용될 수 있다. 또한 언어재활 전문가들의 자문을 통해 단계별 훈련 낱말 및 어절을 구성하였고, 사용자 중심의 UI를 구성해서 사용이 용이하도록 디자인하였다.

본 연구를 통해 개발된 청능재활 앱의 사회복지학적 함의는 다음과 같다. 첫째, 인공와우 이식 수술을 받은 청각장애인들의 사회복지적 이슈를 해결할 수 있다. 인공와우 이식 수술 후 효과를 극대화하기 위해서는 지속적인 교육과 재활이 필요하다. 본 앱은 시간과 공간, 비용의 제약으로 인해 적극적으로 교육 및 재활서비스를 이용하기

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

어려운 청각장애인들이 보다 효과적으로 재활서비스를 제공할 수 있어 삶의 질 향상에 기여할 수 있다. 둘째, 청능재활 앱 개발을 통해 청각장애인들의 사회적 참여를 증진시킬 수 있다. 청각장애인들은 소통과 교류에 제약이 발생하기 쉽다. 따라서 본 연구에서 개발한 앱을 통해 일상적인 대화나 소통을 보다 쉽게 할 수 있으며 지역사회 구성원으로서 사회적 참여를 증진시킬 수 있다. 셋째, 청능재활 앱 개발은 청각장애인들의 교육적 측면에서도 의미가 있다. 음성인식 인공지능 기술이 고도화될수록 청각장애인들의 언어 교육과 문학 교육, 음악 교육 등 다양한 분야에서 교육을 위한 기술이 개발되어 교육 기회의 평등성을 보장할 수 있다. 넷째, 청능재활 앱은 청각장애인들의 보건의료 서비스 제공에도 활용될 수 있다. 앱 내에서 예약과 진료안내, 의약품 복용 안내 등의 서비스를 제공하면 청각장애인들이 보다 원활하게 의료서비스를 이용할 수 있다. 이렇듯 청능재활 앱은 청각장애인들의 인권 보호와 사회통합에 기여할 수 있고 삶의 질을 향상시키는데 중요한 역할을 한다. 그러나 이것을 스타트업이나 기업들의 개발에만 의존해서는 부족하며, 청능재활 앱 개발을 위한 연구, 시범사업, 인프라 및 빅데이터 구축 등 다양한 분야에서 국가가 적극적으로 개입하여 공공서비스로서 기능을 할 수 있도록 지원해야 한다.

후속 연구에 대해 제언을 하자면, 향후 본 앱을 무료로 배포하여 더 많은 인공와우 이식 청각장애인들의 사용경험을 바탕으로 성능과 UI를 개선할 수 있어야 한다. 또한 말명료도 관련 음성인식 인공지능을 고도화하여 시각화된 데이터를 제공하고 훈련 과정에서 전문적인 치료 및 코칭이 가능하도록 인터페이스를 구성할 필요가 있다. 특히 말하기 연습과 관련하여 발음교정 시 혀의 움직임이나 입술 모양을 애니메이션으로 제공하거나, VR 등의 기술과 연계하여 디지털 치료제로서 기능을 할 수 있도록 발전시킬 수 있다면 더욱 고도화된 청능재활 앱으로써 기능할 수 있을 것이다.

5. 감사의 글

본 연구는 2022년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력 기반 지역혁신 사업의 결과입니다.(2021RIS-001)

This research was supported by “Regional Innovation Strategy (RIS)” through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(MOE)(2021RIS-001) 다.

References

[1] J. K. Kim, Study on Welfare Technology and Welfare Technology Assessment for Older Adults, The Journal of the Korea Contents Association, (2018), Vol.18, No.5, pp.156-166.
DOI: https://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2018.18.05.156

[2] https://nordicwelfare.org/valfardspolitik/valfardsteknologi/, Jan 18 (2023)

[3] Nordic Centre for Welfare and Social Issues, Focus on Welfare Technology, Stockholm: Nordic Centre, (2010)
Available from: https://nvc.brandfactory.se/Files/sv-SE/9047/RelatedFiles/Velferdsteknologi_eng.pdf

[4] G. C. Ryu, J. Y. Seo, J. I. Kim, T. E. Kim, Y. H. Choi, J. W. Jung, S. H. Kim, D. W. Lee, J. S. Lee, K. J Cho, A Study on the System Builing for Successful Application of Welfare Technology to Welfare System, Korea Institute for Health and Social Affairs, (2014)
Available from: https://repository.kihasa.re.kr/handle/201002/13755

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

[5] B. Hofmann, Ethical challenges with welfare technology: a review of the literature, Science and engineering ethics, (2013). Vol.19, No.2, pp.389-406
DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s11948-011-9348-1

[6] S. Y. Park, Y. S. Lee, C.W. Kang, H. O. Park, S. G. Bae, J. W. Lee, S. S. Choi, Current Trends Analysis of Welfare Technology in Korea for Older Adults and People with Disabilities, Journal of the Korea Convergence Society, (2017), Vol.8, No.10, pp.295-304.
DOI: https://dx.doi.org/10.15207/JKCS.2017.8.10.295

[7] S. D. Lee, B. H. Kim, The Verification of the Effectiveness of Dementia Prevention Program Using Digital Welfare Technology for the Elderly, Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange, (2022), Vol.8, No.12, pp.555-567.
DOI: http://dx.doi.org/10.47116/apjcri.2022.12.45

[8] S. H. Ahn, S. W. Kim, J. Y. Park, Prelimainary Study on a Social-Enterprise-centered Model of Welfare Technology Ecosystem, Journal of Social Value and Enterprise, (2017), Vol.10, No 2, pp.167-196.
DOI: http://dx.doi.org/10.32675/ses.2017.10.2.006

[9] F. B. Cole, C. Flexer. Hearing aids, coclear implants, and FM system. In F. B. Cole & C. Flexer (2nd ed.), Children with Hearing Loss: Developing Listening and Talking: Birth to Six, (2011), pp.117-166.

[10] Y. Lee, Parental current practice and needs in smart device applications for children with cochlear implants, Audiology and Speech Research, (2016), Vol.12, No.4, pp.269-279.
DOI: http://dx.doi.org/10.21848/asr.2016.12.4.269

[11] W. Ziegler, Task-related factors in oral motor control: Speech and oral diadochokinesis in dysarthria and apraxia of speech, Brain and Language, (2002), Vol.80, No.3. pp.556-575.
DOI: http://dx.doi.org/10.1006/brln.2001.2614

[12] Y. K. Hwang, Y. J. Hwang, S. R. Kim, Quality of Life of Patients with Post-Stroke Speech-Language Disorders, Audio Speech Research, (2018), Vol.14, No.4, pp.292-299.
DOI: https:/dx.doi.org/10.21848/asr.2018.14.4.292

[13] J. Yu, H. Chun, C. G. Song, W. Han, Case study of speech perception enhancement in hearing-impaired adult by auditory training program of mobile device, Audiology, (2014), Vol.10, No.2, pp.158-168.
DOI: https://dx.doi.org/10.21848/audiol.2014.10.2.158

[14] J. D. Kim, Current State of Computer-Based Auditory Training Programs, J Clinical Otolaryngol, (2016),Vol.27, pp54-66.
DOI: https://dx.doi.org/10.35420/jcohns.2016.27.1.54

[15] Y. Lee, S. Lim, Y. Choi, B. Moon, A Mobile App(See&Speach) of Correcting Pronunciation for Hearing-Impaired Persons, The Journal of Korean Association of Computer Education, (2015), Vol.18, No.4, pp.11-18.
DOI: http://dx.doi.org/10.32431/kace.2015.18.4.007

[16] A. Djourno, C. Eyries, Auditory prosthesis by means of a distant eldtrical stibulation of the sensory nerve with the use of an indwelt coiling, Presse Med, (1957), Vol.65, pp.14-17.
Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13484817/

[17] J. H. Lee, Auditory Rehabilitation - Cochlear Implantation, Hanyang Med Rev, (2015), Vol.35, pp.108-112.
DOI: http://dx.doi.org/10.7599/hmr.2015.35.2.108

[18] L. S. Kim, S. J. Kim, Cochlear Implant (Re) Habilitation, Korean J Audiol, (1997), Vol.1, No.1, pp.33-47,
Available from: https://www.ejao.org/upload/pdf/0201997004.pdf

[19] M. S. Yoon, Hearing Practice for individuals with hearing impairment with Cochlear Implants, Gun-ja Press, (2003)

[20] G. Weismer, J. Y. Jeong, J. S. Laures, R. D. Kent, J. F. Kent, Acoustic and intelligibility characteristics of sentence production in neurogenic speech disorders, Folia Phoniatr Logop, (2001), Vol.53, pp.1-18.
DOI: http://dx.doi.org/10.1159/000052649

[21] Y. Lee, S. Lee, M. Sung, Analysis of Mobile Application Trends for Speech and Language Therapy of Children with Disabkilities in Korea, Phonetics and Speech Sciences, (2015), Vol.7, No.3, pp.153-163.

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

DOI: http://dx.doi.org/10.13064/KSSS.2015.7.3.153

[22] S. U. Choi, A study on mobile edutainment contents development for children. Kyungsung University, Kyungsung University, Master Thesis, (2003)

[23] K. J. Yoo, M. K. Kim, A. Kim, An Analysis of Contents and Inetrations for the Educational Application on Smart-Phone and Tablet PC, The Journal of Korean Open Association for Early Childhood Education, (2012), Vol.17, No.1, pp.169-194.
UCI: G704-000666.2012.17.1.002

[24] E. J. Hyun, H. M. Yeon, J. Y. Jang, E. Y. Lee, Contents analysis of vocabulary learning game application on smart-phone and tablet PC for young children's language learning, Journal of Korea Contents Association, (2013), Vol.12, No.11, pp.551-561.
DOI: http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2013.13.11.551

Copyright ⓒ 2023 KCTRS