

마비말장애 재활을 위한 의료용 기능성 게임

한재혁¹, Khongorzul Dashdondov², 김미혜³

¹충북대학교 컴퓨터공학과 박사과정

²충북대학교 컴퓨터공학과 박사후연구원

³충북대학교 컴퓨터공학과 교수

haraisi22@gmail.com, khongorzul63@gmail.com, mhkim@cbnu.ac.kr

Medical Serious Game for Rehabilitation of Dysarthria

Jae-Hyeok Han¹, Khongorzul Dashdondov², Mi-Hye Kim³

^{1,2,3}Dept. of Computer Engineering, Chungbuk National University

요 약

본 논문에서는 마비말장애로 인한 의사소통의 장애가 발생한 환자의 지속적인 재활을 어렵게 하는 환경적, 공간적, 시간적, 비용적 문제를 해결하기 위한 의료용 기능성 게임을 제안한다. 환자는 기능성 게임을 통해 스스로 마비말장애의 증상인 말 속도와 조음정확도의 변화에 대한 재활을 수행한다. 기능성 게임은 환자의 재활에 필요한 과정을 게임의 형태로 제공하며, 발음평가 기능, 서버 데이터베이스를 사용한 재활 관련 정보 기록, 재활 기록 분석, 목표치 확인, 사용자의 상태에 따른 피드백 기능을 포함한다. 본 논문에서 제안한 의료용 기능성 게임을 사용했을 때 마비말장애 환자들이 스스로 재활 과정을 진행하여 재활의 공간, 시간 및 환경, 비용의 제약을 최소화하고 일상생활로 복귀하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

1. 서론

마비말장애(dysarthria)란 중추신경계 혹은 말초신경계의 질환으로 인해 호흡, 발성, 공명, 조음 및 운율의 각 산출과정에서 말 조절 근육의 마비나 약화, 불협응 등을 보이게 되는 것을 통칭한다. 중추신경계 손상으로 인해 호흡, 발성, 조음, 공명 운율 등 말소리 산출의 전체적인 영향을 미치며, 유형에 따라 차이가 나타날 수 있으나 마비말장애 환자들은 일반적으로 말 속도 및 조음정확도가 감소하며 음질의 저하 및 과다비성을 나타낸다[1]. 성인기에 갑작스럽게 발병하는 마비말장애는 구어 의사소통의 어려움을 포함하여 자신감 상실, 타인과의 관계 단절 등 사회심리학적 측면에서도 어려움을 불러 일으킨다. 결국에는 의사소통 방식의 변화로 삶의 질 저하까지 이어진다[2].

이러한 문제를 해결하기 위해 마비말장애 환자의 재활이 필요하다. 마비말장애의 재활 원리는 다른 재활의 원리와 유사하게 이미 손상된 신경도 자연적인 회복의 과정에서 세포 내의 변화나 세포 간의 변화, 시냅스의 재연결 등으로 인하여 손상된 부분이 재조직될 수 있다는 신경가소성(neuroplasticity) 원리에 입각한다[3]. 수의적으로 손상된 부분에 지속적인 자극을 주거나 움직이도록 하면 행동에 기반한 학습원

리에 의해 신경가소성을 더 활성화할 수 있다. 따라서 비교적 병의 초기부터 지속적인 사용에 의한 운동 재활을 실시하게 되는 것이 일반적이다[4]. 또한 발병 초기의 집중적이고 반복적인 언어치료가 신경학적 회복을 도울 수 있다[5].

재활을 위해 마비말장애 환자는 언어치료실과 같은 병원 시설 입원, 외래 치료, 언어치료사의 가정 방문 요청 등의 선택을 할 수 있다. 그러나 환자 거주지 인근에 언어치료 관련 의료 시설이 없는 경우, 가정방문이 가능한 언어치료사가 없거나 부족한 경우, 혹은 상당한 의료비용의 발생으로 인해 치료를 지속할 수 없는 경우에는 환자의 지속적인 재활이 어려워지고 이는 환자의 회복이 늦춰지거나 상태가 악화되는 원인이 될 수 있다.

지속적인 재활을 어렵게 만드는 환경적, 공간적, 시간적, 비용적 문제 등을 해결하기 위해서 본 논문에서는 성인 마비말장애 환자의 재활을 도와주는 모바일 기반 기능성 게임을 제안한다. 이 기능성 게임의 대상은 마비말장애로 인해 말 속도와 조음정확도에 문제가 발생해 재활이 필요한 한국어 화자 환자이다. 기능성 게임의 재미 요소와 재활을 접목해 환자의 재활 의지를 향상시키고 효과적으로 재활을 진행할 수 있도록 한다. 마지막으로 사용자의 접근성을

고려하여 기능성 게임은 모바일 환경에서 작동할 수 있도록 설계한다.

2. 관련연구

기능성게임은 ‘게임의 요소를 지니면서 다양한 이로운 측면을 담고 있는 게임’으로 정의할 수 있다. 기능성게임은 게임 요소를 충분히 포함하고 있으며, 재미와 오락적인 요소 외에 별도의 효과를 갖는 게임으로 의료적인 예방 및 치료, IQ와 EQ의 증진, 학습의욕의 증진, 학습보조, 기존의 게임 분류에 포함되지 않는 새로운 형태의 게임을 지칭한다. 기능성게임은 단순한 재미뿐만 아니라 시뮬레이션, 다자간 소통, 플랫폼, 가상현실, 자아인지, 동기화 등 다양한 기술적, 인지적 수준의 요소들을 포괄한다[6].

마비말장애는 다양한 하부유형을 가지고 있으며 일반적으로 마비말장애의 유형은 이완형(flaccid type), 경직형(spastic), 실조형(ataxic), 과소운동형(hypokinetic), 과다운동형(hyperkinetic), 혼합형(Mixed), 일측상부운동신경형(unilateral upper motor neuron) 등으로 분류된다. 이완형은 발성과 공명의 문제를 주로 보인다. 경직형은 근육이 뻣뻣하게 수축되면서 말속도가 느려지고 긴장성 음성을 산출한다. 운동실조형은 일상적인 대화 동안 불규칙적인 조음동작의 멈춤이 나타난다. 과소운동형은 음성 강도와 음도가 단조롭고 말 속도가 빨라진다. 과다운동형은 진전(tremor)이나 근경련(myoclonus)이 턱, 안면, 혀에서 관찰된다. 편측성 상위 운동 뉴런형은 부정확한 조음이 강하게 나타나며 불규칙적으로 조음동작의 갑작스러운 멈춤이 관찰된다. 혼합형은 다양한 유형의 증상이 복합적으로 나타난다[1]. 이처럼 마비말장애의 유형에 따라 나타나는 증상이 달라지므로 재활의 접근 방식을 결정하는데 이러한 환자의 증상에 대한 정보들을 수집하는 것이 중요하다.

마비말장애 재활은 초기단계에서는 자연스럽게 정확하게 구사하는 말의 효율성 증진을 목표로 하고 중기에는 명료도를 유지하는 것이 목표가 되며 말기에는 보완대체의사소통(augmentative and alternative communication)의 사용이 목표가 된다. 쉬운 난이도에서 어려운 난이도로 단계적으로 난이도를 올려가면서 진행하는 것이 일반적이고 각 회기 내에서는 성공적인 수행을 하는 것으로 치료 회기가 마무리되는 것이 재활에 대한 동기부여 측면에서 권고된다[7]. 마비말장애 환자의 조음능력을 개선하기 위한 치료의 기법 자체는 일반적인 조음장애와 크게 다르지 않고 궁극적인 목표를 어느 수준으로 설정하느냐가 서로 다르다[8]. 전통적인 조음훈련 프로그램들은 목표음을 독립음이나 음절 또는 낱말에서 집중적으로 훈

련시킨 후 구나 문장으로 일반화시킨다. 치료 시 이 과정은 단계적으로 진행된다. 맥락별 목표로 하는 단계를 설정한다. 단계별로 진행하기 위한 반응의 정확도 수준은 치료사와 환자의 기대와 능력에 따라 다르겠지만 일반적으로 구조화된 치료 상황에서는 80~90%를 정확하게 수행하여야 하고, 치료를 종료하기 위해서는 적어도 자발화에서 50%이상 정확해야 한다[9].

마비말장애와 같은 말소리장애를 검사할 때 장애의 종류, 대상의 연령 등에 따라서 평가방법이 달라질 수 있다. 특정 장애 영역의 오류를 중점적으로 관찰할 수 있도록 제작되었거나 연령대에 따라서 아동에게는 쉬운 어휘를 중심으로, 성인에게는 성인에게 적절한 어휘로 검사를 제작하기 때문이다. 말소리장애 검사의 종류에는 선별검사, 심화검사, 표준화검사, 비표준화검사가 있으며, 선별검사는 심도 있는 진단 및 평가를 필요로 하는 대상을 선별하기 위한 검사, 심화검사는 검사하고자 하는 목적에 따라 제작이 되는 검사, 표준화검사는 검사의 기준이 마련되어 있는 검사, 비표준화검사는 면접을 통한 평가, 자발적인 대화를 녹취하여 분석하는 방식 등의 검사를 의미한다[9].

최근에는 성인 마비말장애 환자의 재활을 위해 디지털 매체를 사용하는 방법이 고려되고 있다. 그 중 하나인 디지털 치료제는 약물, 주사 등 전통적 치료 방식에서 벗어나 모바일 앱, 가상현실, 인공지능, 게임 등의 방식으로 질병을 치료, 예방, 관리하고자 하는 것으로 기존의 전통적 치료방식과 동일하게 임상시험을 통해 효과가 검증되어야 하며, 활용 시 의사의 처방을 필요로 한다[10]. 국내 거주 중인 1, 2 급 언어재활사 100 명을 대상으로 조사한 결과 디지털 치료제 사용 경험자는 38 명, 경험이 없는 인원은 62 명이였다. 디지털 치료제 사용 경험 유·무와 상관없이 설문에 참여한 언어재활사를 대상으로 디지털 치료제를 사용하기 적절할 것이라 예상되는 장애 영역을 중복 선택 가능으로 물었을 때 신경말·언어장애 70 명(40.7%), 지체장애 55 명(32.0%), 발달장애 47 명(27.3%), 기타 의견으로 말소리장애, 청각장애에 적절할 것 같다는 답변을 얻을 수 있었다[11].

본 논문에서 제시한 의료용 기능성 게임에서 사용자의 조음정확도를 측정하기 위해서는 음성 인식 기능이 필요하다. KoSpeech는 한국어 음성을 인식하고 인식된 음성을 텍스트로 변환하는 Speech-To-Text 인공신경망 모델이다. KoSpeech 모델은 인식된 문자열과 정답 간의 문자 오류율(Character Error Rate)에서 다른 한국어 인식 모델보다 10.31% 우수한 성능을 보였다[12].

인공신경망 모델의 훈련 데이터로는 AI Hub에서

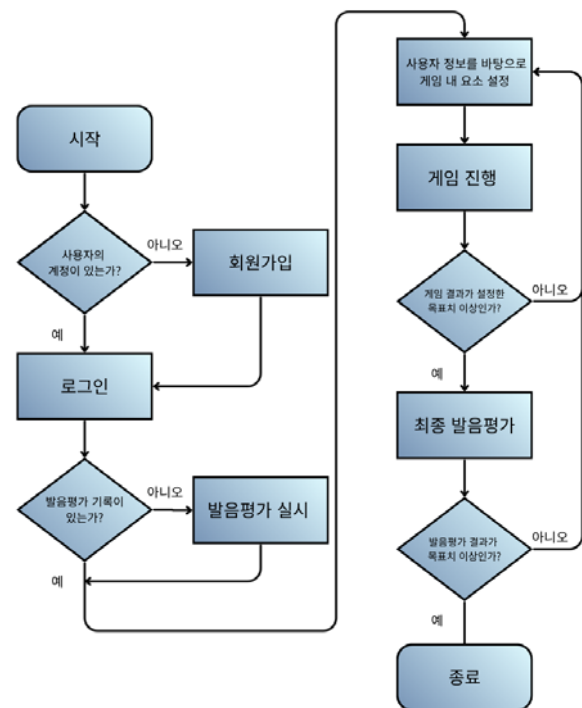
제공하는 한국어 대화 음성 데이터를 사용한다. 한국어 대화 음성 데이터는 한국인의 일상 대화를 인식하고 음성을 문자로 실시간 변환하는 AI 개발용 대화 한국어 음성 데이터이다. 데이터의 유형은 오디오와 텍스트로 구성되어 있고, 연령·원거리·노이즈·다자대화 등 다양한 환경을 인식할 수 있는 대화·음성 데이터 셋 구축을 목적으로 하고 있다[13].

3. 마비말장애 재활을 위한 의료용 기능성 게임

본 논문에서는 성인 마비말장애 환자의 지속적인 재활을 어렵게 만드는 환경적, 공간적, 시간적, 비용적 문제 등을 해결하기 위한 성인 마비말장애 환자의 재활을 돕는 의료용 기능성 게임을 제안한다. 본 논문에서 제안한 기능성 게임은 기능성 게임과 재활을 접목시켜 환자의 재활 의지를 향상시키고 효과적으로 재활을 하는 것, 환자가 말 속도 및 조음정확도를 일상의 의사소통에 문제가 없을 정도로 회복하는 것, 모바일 환경에서 동작하는 것을 목표로 한다.

(그림 1)은 본 논문에서 제안한 기능성 게임의 흐름도이다. 본 논문에서 제안한 기능성 게임은 모바일 환경에서 동작하며, 환자의 재활 과정을 기록하고 확인하기 위해 서버와 연동된 데이터베이스를 사용한다. 사용자는 게임을 실행한 뒤 아이디와 비밀번호, 자신의 인적사항, 증상에 대한 의료 정보를 기입하는 것으로 계정을 생성해 회원가입을 한다. 사용자는 생성된 계정으로 로그인한 상태에서 기능성 게임을 사용할 수 있으며, 사용자가 작성한 자신의 증상과 관련된 정보와 게임을 진행하면서 수행한 재활에 대한 기록은 데이터베이스의 계정 항목에 연결되어 저장된다. 재활을 시작하기 전에 해당 계정에 발음평가 기록이 없다면 발음평가를 수행하고 그 결과를 데이터베이스에 입력한다. 발음평가에서는 사용자의 말 속도와 조음정확도를 측정해 사용자의 현재 상태를 평가한다. 조음정확도는 음성 인식이 가능한 KoSpeech 모델을 사용해 음성을 문자로 변환해 계산한다. 발음평가의 결과와 사용자가 입력한 정보를 사용해서 사용자의 재활이 필요한 목표음소와 현재의 말 속도를 파악하고 재활의 목표치를 설정한다. 발음평가의 기록이 확인되면 재활을 진행할 수 있다. 재활의 내용은 목표음소를 독립음이나 음절 또는 낱말에서 집중적으로 훈련시킨 후 구나 문장으로 일반화하는 전통적인 조음훈련 프로그램[9]을 게임과 접목한 것으로 발음평가 결과와 이전까지 진행한 재활의 결과를 반영하여 현재 사용자가 재활이 필요한 목표음소와 목표로 할 말 속도를 측정하고 재활 중 사용할 단어와 문장, 목표 말 속도, 단어 개수, 정답 처리 기준 점수와 같은 난이도를 설정한다. 게임에 사용할 단어는 일상적으로 사용하는 단어로 설정하기 위해 국립국어원에서 2003년 5월에 발표한 한국어 학습용 어휘 목록[14]에서 선택한다. 게임이 시작되면 이전 단계에서 선택된 단어들이 화면의 상단에 표시된다. 단어는 하나씩 화면 상단에서 하단으로 이동하며 화면 끝에 도착했을 때 화면에서 제거된다. 단어의 이동 속도는 목표

말 속도와 단어의 길이에 따라 결정된다. 사용자는 이동 중인 단어를 소리 내어 읽는 것으로 화면에서 제거할 수 있다. 이를 모든 단어가 제거될 때까지 반복한다. 서버의 KoSpeech 모델을 사용해서 제시된 단어와 사용자의 발음을 비교, 평가하여 점수를 매기고 그 결과를 데이터베이스에 기록하고 기능성 게임으로 반환한다. 사용자는 게임이 끝난 후에 결과창에서 이번 게임에서 출현한 단어, 자신이 단어를 발음한 음성, 서버에서 받은 각 단어의 발음평가 점수, 말 속도, 정답 처리 여부, 자음 체계 분류별 평가 결과, 목표치 달성 여부, 결과에 대한 피드백을 확인할 수 있다. 사용자는 이 과정을 반복함으로써 마비말장애의 재활을 진행할 수 있고 최종적으로 설정된 목표치를 만족했다고 판단되었을 때 최종 발음평가를 수행하는 것으로 재활 종료 여부를 판단할 수 있다.

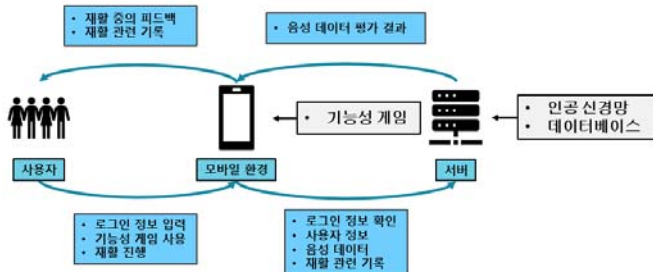


(그림 1) 기능성 게임의 흐름도.

(그림 2)는 본 논문에서 제안한 마비말장애 재활을 위한 의료용 기능성 게임의 시스템 구조이다. 기능성 게임의 시스템은 사용자, 모바일 환경, 서버로 구성된다. 사용자는 인터넷과 연결된 스마트폰과 같은 모바일 기기를 사용하여 기능성 게임을 사용할 수 있다. 재활이 진행하면서 수집된 사용자 관련 정보들은 기능성 게임과 연결된 서버의 데이터베이스에 전달, 저장된다. 서버는 음성 인식을 위한 인공지능망과 사용자 정보를 저장하는 데이터베이스로 구성된다. 서버의 인공지능망은 기능성 게임으로부터 사용자의 음성 데이터와 해당 음성 데이터에 해당하는 단어를 수신하고 이를 비교해 평가한다. 음성 데이터의 평가 결과는 모바일 환경으로 전송된 후 기능성 게임을 통해 사용자에게 전달된다. 서버의 데이터베이스에는 사용자의 계정 정보가 저장되며 사용자의 계정 정보

에는 사용자의 인적사항, 의료 정보, 재활 관련 정보, 목표치가 포함되어 있다.

사용자는 모바일 환경에 기능성 게임을 설치하고 사용하면서 재활을 진행하고 피드백을 수용한다. 사용자는 기능성 게임을 사용해 서버의 데이터베이스에 저장된 자신의 재활 관련 기록을 확인할 수 있다.



(그림 2) 기능성 게임의 시스템 구조.

4. 결과

본 논문에서 제안하는 기능성 게임은 다음과 같은 특징을 가진다: 1) 사용자는 모바일 환경에서 기능성 게임을 사용할 수 있고, 기능성 게임은 연동된 서버의 데이터베이스에 사용자의 정보를 기록한다. 2) 사용자는 자신이 기록한 정보, 발음 평가 결과, 이전 재활 결과를 기반으로 설정된 단어 및 난이도로 게임을 진행한다. 3) 사용자의 음성은 음성 인식 시스템을 통해 텍스트로 변환되어 평가된다. 4) 게임이 종료된 후 사용자는 게임 진행 중 출현한 단어, 발음한 음성, 각 단어의 발음 평가 점수, 말 속도, 정답 처리 여부, 자음 체계 분류별 평가 결과, 목표치 달성 여부, 결과에 대한 피드백을 확인할 수 있다. 5) 사용자는 게임을 반복적으로 진행하면서 마비말장애 증상에 대해 재활을 진행할 수 있고 발음평가를 수행하는 것으로 재활이 완료 여부를 판단할 수 있다.

이러한 기능을 갖춘 기능성 게임을 지속적으로 사용하는 것으로 마비말장애 환자들이 환경적, 공간적, 시간적, 비용적 문제를 극복하고 재활을 수행할 수 있을 것으로 기대한다.

5. 결론

본 논문에서 성인 마비말장애 환자의 재활을 도와주는 모바일 기반 기능성 게임을 제안했다. 본 논문에서 제안한 기능성 게임을 구현했을 때, 마비말장애 환자들의 조음정확도를 향상시키고, 말 속도를 조절하는데 활용될 수 있을 것으로 기대하며, 발병 초기의 지속적인 재활을 방해하는 환경적, 공간적, 시간적, 비용적 문제를 해결하는데 도움을 줄 것으로 전망한다.

참고문헌

- [1] Duffy, J. R. "Motor speech disorders: substrates, differential diagnosis, and management" 3rd Ed, St. Louis, MO: Elsevier Mosby, 2013.
- [2] 황윤경, 황윤지, 김수련. "Quality of Life of Patients with Post-Stroke Speech-Language Disorders" *Audiology and Speech Research*, 14, 4, 292-299, 2018.
- [3] Drubach, D. A., Makley, M., and Dodd, M. L. "Manipulation of central nervous system plasticity: a new dimension in the care of neurologically impaired patients" *Mayo Clinic Proceedings*. Vol. 79. No. 6, 796-800, 2004.
- [4] 윤지혜. "퇴행성질환과 말언어장애 재활". *대한후두음성언어의학회지*, 28, 2, 79-83.
- [5] Kiran, S., Thompson, C. K. "Neuroplasticity of language networks in aphasia: Advances, updates, and future challenges" *Frontiers in neurology*, 10: 295, 2019.
- [6] Im, C. J. "기능성게임의 현황, 개발 사례와 전망" *Korea Multimedia Society*, 15, 2, 1-9, 2011.
- [7] Brookshire, R. H. "Effects of task difficulty on sentence comprehension performance of aphasic subjects" *Journal of Communication Disorders*, 9, 2, 167-173, 1976.
- [8] 표화영, 심현섭. "마비성 말 장애 (dysarthria)의 명료도 향상을 위한 연구 동향" *특수교육*, 4, 1, 36-60, 2005.
- [9] 김수진, 신지영. "말소리장애" 제 2 판, 서울특별시, 시그마프레스, 2020.
- [10] LEE, S. M. "KHIDI Bio Health Report" *Korea Health Industry Development Institute*, 51-62, 2019.
- [11] 김정은, 송태진, 나지영. "성인 마비말장애 환자 대상 디지털 치료제 활용에 대한 언어재활사의 경험 및 견해 연구" *언어치료연구*, 34, 2, 1-10, 2025.
- [12] Kim, S., Bae, S., and Won, C. "Open-source toolkit for end-to-end Korean speech recognition" *Software Impacts*, 7, 100054, 2021.
- [13] <https://www.aihub.or.kr/aihubdata/data/view.do?currMenu=115&topMenu=100&aihubDataSe=data&dataSetSn=130>
- [14] https://www.korean.go.kr/front/etcData/etcDataView.do?mn_id=46&etc_seq=71