

인지-운동 이중과제 재활치료를 위한 스마트 스택킹 콘 개발연구

김영¹, 김대겸³, 장승완³, 민세동^{2,3,*}

Soonchunhyang University Wellness Convergence Technology Research Institute¹, Medical IT Engineering Department², Software Convergence Department³, Soonschunhyang University

Development of Smart Stacking Cones for Cognitive-Motor Dual Task Rehabilitation Therapy

Young Kim¹, Dae Gyeom Kim³, Seungwan Jang³, Se Dong Min^{2,3,*}

¹Institute of Wellness Convergence Technology, Soonchunhyang University

²Department of Medical IT Engineering, Soonchunhyang University

³Department of Software Convergence, Soonchunhyang University

*Corresponding Author: Se Dong Min

Abstract - 본 연구에서는 인지-운동 이중과제 재활치료의 정량화와 환자별 치료목표를 고려한 맞춤형 평가 및 치료과정을 위해 스마트 스택킹 콘을 개발하였다. 신경계 손상으로 인해 손과 팔에 기능 저하가 있는 환자들의 재활치료를 많이 사용되는 치료 도구인 스택킹 콘의 스마트화에 대한 필요성을 고려하여 압력센서, LED, 3축 가속도센서를 활용한 모듈형 하드웨어로 Stacking Board, Cone Plate, Wrist Band를 각각 개발하였고 환자별 평가와 치료과정이 모두 전산화되도록 소프트웨어를 개발하여 하나의 시스템으로 통합하였다. 치료사의 스마트폰에서 조작이 가능하도록 앱으로 개발된 소프트웨어는 하드웨어에서 전송된 데이터를 기록 분석하고 사용자 정보 및 평가와 치료 방향 등의 사용환경 설정, 평가 및 훈련 선택 기능, 결과값 제시 화면을 제공하도록 설계되었다. 본 연구에서 개발한 스마트 스택킹 콘을 통해 인지-운동 이중과제 재활치료 중의 환자데이터를 실시간으로 모니터링이 가능하므로 설정한 중재에 대한 검증할 수 있으며, 각 환자의 치료목표에 도달하는 과정에 대한 정량적 임상데이터 축적이 가능하다. 앞으로 본 시스템에 특화된 프로토콜 연구가 이루어진다면, 다양한 치료프로토콜 개발 검증연구뿐 아니라 환자군별 중재에 따른 치료 결과 예측에 대한 기초자료가 될 것으로 사료된다.

1. 서 론

뇌혈관질환 및 중추신경계 손상은 그 손상 범위와 정도에 따라 차이는 있지만 대부분 운동장애, 인지장애, 언어장애, 지각장애, 감각장애로 이어지며 환자의 일상생활활동에 많은 제한을 주게 된다. 이 중 운동장애가 가장 흔하게 발생하며 신경근계의 회복을 위해서는 장기간의 재활치료가 요구된다. 특히, 손상된 상지 운동기능은 회복되기까지 매우 오랜 시간이 소요되며 독립적 삶으로의 자연으로 인해 삶의 질이 저하된다. 또한, 중추신경계에 신경학적 손상이 있는 경우 인지손상이 동반될 수 있고, 인지손상은 환자의 일상생활활동 뿐 아니라 사회심리적 전반적인 부분에까지 매우 부정적인 영향을 끼치게 된다 [1-2].

최근 연구보고에 따르면 기존의 전통적인 재활치료보다 ICT 기반의 스마트 재활치료를 시행하는 것이 더 효과적이라고 밝혀지고 있다. 신경학적 손상 환자를 대상으로 이루어지는 중재방법은 최근까지 다양하게 제시되어왔는데 그 중 가장 효과적 결과를 나타난 중재로 일상생활 중 필요한 복합적 과제 수행을 위한 이중과제 훈련이 있다. 이중과제 훈련 연구는 단일과제에 비해 일반인 및 뇌졸중 환자 모두에서 확장된 형태의 두뇌 활성화가 나타났으며, 결과적으로 이중과제 훈련이 뇌의 전두엽 부위를 자극했다는 점에서 이중과제 훈련이 뇌 신경가소성 변화를 가져다주어 비용-효과적인 측면에서 이점이 있다고 알려진 바 있다 [3].

특히, 상지 운동기능이 손상된 경우 단일 또는 이중과제 재활치료를 대표적으로 사용되는 치료 도구로는 스택킹 콘이 있다. 하지만, 국내 치료실에서 흔히 사용되는 스택킹 콘은 환자에게 피드백을 주거나 동기부여를 할 수 있는 빛 또는 소리와 같은 물리적 자극이 없어 정적이면서 반복적인 동작만을 훈련시킨다. 또한, 전통적인 스택킹 콘 치료훈련은 상황에 따라 전체 훈련시간 동안 환자와 치료사와의 상호작용이 충분히 일어나지 않는다는 한계점이 존재한다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점들을 보완하여 각 환자의 증상과 치료목표에 따른 인지-운동 이중과제 재활치료를 맞춤형으로 설계할 수 있는 스마트 스택킹 콘 시스템을 개발하였다.

2. 본 론

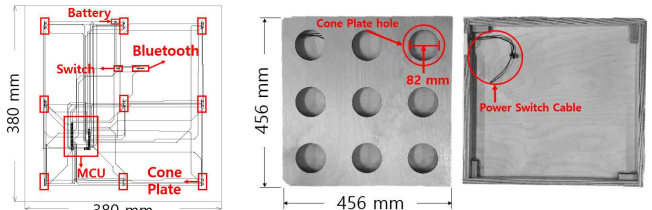
2.1 스마트 스택킹 콘 개발

스마트 스택킹 콘은 하드웨어부와 소프트웨어부의 개발을 각각 따로 진행한 후 통합 연동 과정을 거쳐 시스템화되었다.

2.1.1 하드웨어 디자인 및 회로 설계

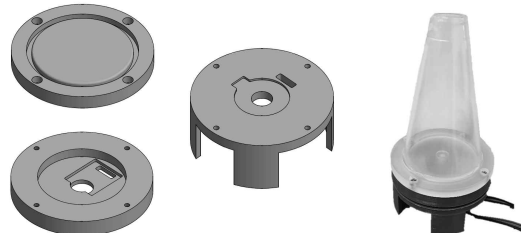
스마트 스택킹 콘의 하드웨어는 1) Stacking Board, 2) Cone Plate, 3) Wrist Band로 이루어졌으며, 각 파트의 외형 디자인 및 회로를 설계한 뒤, 개별적으로 제작하여 하나의 하드웨어로 통합 개발하였다. 각각의 개발내용은 다음과 같다.

1) Stacking Board는 그림 1(b)와 같이 9개의 Cone Plate를 배치할 수 있도록 82 mm 지름 사이즈의 원형 공간을 9개 확보하였고, 사용자가 앉은 자세에서 모든 Cone Plate에 손이 닿을 수 있도록 상지의 관절가동범위를 고려하여 Board의 크기를 456 x 456 mm²로 제작하였다. PCB는 그림 1(a)와 같이 Stacking Board 내부에 들어갈 수 있도록 380 x 380 mm²의 사이즈로 디자인하였다. PCB 내에는 수집된 데이터를 무선으로 전송할 수 있도록 블루투스 모듈(HC-05)을 장착하였으며, 9개의 Cone Plate 영역을 MCU (Micro Controller Unit)로 연결하여 전원을 공급받을 수 있도록 디자인하였다. 또한, 전원 공급선을 연결하지 않고 독립적으로 과제를 수행할 수 있도록 9V 건전지를 장착하였으며, Board 미사용 시에는 배터리를 절약하기 위하여 외부에 On/Off 스위치를 배치하여 스마트 스택킹 콘의 사용 자유도를 높였다.



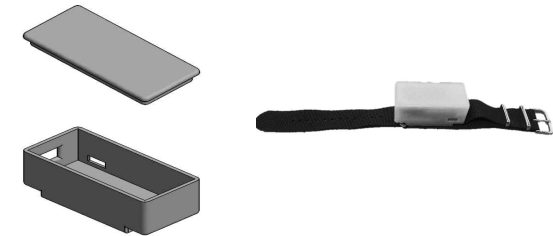
(a) PCB (b) 외부 케이스 개발 완성본
 <그림 1> Stacking Board의 PCB와 외부 케이스 개발

2) Cone Plate는 Stacking Board의 원형 홈에 완벽히 일치해 위치하도록 3D 프린팅으로 Cone 하부 지지대의 외형을 디자인 제작하였다. 또한, 사용자가 매번 Cone을 들어 올린 시점(onset time)을 파악하기 위한 목적으로 그림 2와 같이 Cone Plate 하단부에 FSR (Force Sensitive Resistor) 센서를 부착하였다. FSR 센서에서 감지되는 압력 값의 변화를 통해 Cone의 Stacking 유무 및 쌓아지는 Cone의 개수를 측정하도록 설계하였다. 또한, 인지훈련 시 Cone의 Stacking 여부를 통해 사용자에게 다음 Cone을 쫓을 위치에 대한 알림을 주기 위해 Cone 하부 지지대 마다 3색 LED 배치 및 회로를 연결하였다. 치료사에게는 훈련 또는 평가 도중 시작지점(start point cone plate)에 준비된 Cone의 개수가 부족해지는 경우 새로운 Cone을 추가할 수 있도록 치료사에게 알림을 주도록 설계 제작하였다.



(a) 3D 프린팅으로 제작된 Cone 하부 지지대 (b) Cone plate 개발 완성본
 <그림 2> Cone Plate 개발

3) Wrist Band는 사용자가 Smart Cone을 들어 올린 시점부터 Stacking Board에 내려놓는 시점까지의 과정에서 손의 떨림을 측정하기 위해 3축 가속도 센서를 내장하여 개발하였다. 개발한 Wrist Band는 그림 3과 같이 3축 가속도 센서 및 MCU를 내장하고 있으며, 외부 잡음 차단과 센서 보호 및 손목에 착용이 편안하도록 외부 케이스를 디자인하여 개발하였다.



(a) 3D 프린팅으로 제작된 센서 외부케이스 (b) Wrist Band 개발 완성본
<그림 3> Wrist Band 개발

Stacking Board와 9개의 Cone Plate를 하나로 결합하여 완성된 스마트 스테킹 콘의 모습은 그림 4와 같으며, Wrist Band와 연동하여 함께 사용 시 환자의 상지기능 평가와 재활치료훈련에 모두 적용할 수 있다.

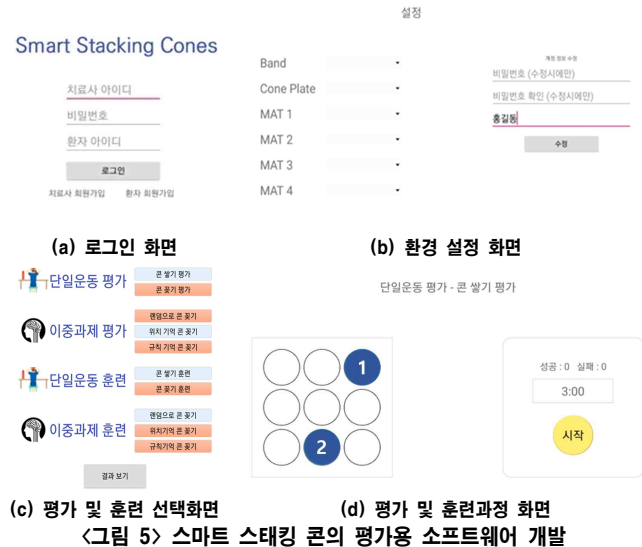


<그림 4> 스마트 스테킹 콘 개발 완성본

2.2 소프트웨어 디자인 및 개발

스마트 스테킹 콘 하드웨어와 연동하여 환자별 맞춤형 평가 및 재활치료 훈련 프로그램을 설계할 수 있도록 응용 소프트웨어를 개발하였다.

스마트 스테킹 콘 소프트웨어는 1) 로그인 화면, 2) 환경 설정 화면, 3) 평가 및 훈련 선택화면, 4) 평가 및 훈련 화면으로 구성되어 재활훈련 시 사용자의 정보 및 재활훈련 과정에 대한 관리가 체계적으로 이루어질 수 있도록 전산화 시스템을 구현하였다. 소프트웨어 내 각 화면의 기능은 다음과 같이 설계 구현하였다.



(a) 로그인 화면 (b) 환경 설정 화면 (c) 평가 및 훈련 선택화면 (d) 평가 및 훈련과정 화면
<그림 5> 스마트 스테킹 콘의 평가용 소프트웨어 개발

1) 로그인 화면은 스마트 스테킹 콘으로 재활치료훈련을 수행하고자 하는 치료사와 환자의 정보를 입력하도록 하여 치료 공급자와 수요자에 대한 정보를 저장해 준다. 정보가 없을 경우, 회원가입을 통해 사용자에 대한 정보를 DB화하여 저장할 수 있다.

2) 환경 설정 화면에서는 치료사가 인지-운동 평가 및 훈련 전 사용할 Stacking Board와 Cone Plate, Wrist Band에 대한 블루투스 통신을 연결하는 설정 할 수 있으며, 해당 기기에 대한 치료사의 권한을 지정할 수 있다. 위 정보를 수정하고자 할 때는 수정 버튼을 통해 치료사 계정의 정보를 수정하여 변경할 수 있다.

3) 평가 및 훈련 선택화면은 수행하고자 하는 평가 및 훈련을 선택하여 해당 평가와 훈련을 수행하는 페이지로 이동시켜주는 중심 역할을 한다. 수행 가능한 평가 및 훈련 모드는 아래 표와 같이 구성하였다.

<표 1> 스마트 스테킹 콘 소프트웨어 내 평가/훈련 모드 및 내용

평가/훈련 모드	평가/훈련 내용 구성
단일운동 평가/훈련	콘 쌓기 및 콘 뺏기 평가/훈련 중 선택하여 진행할 수 있도록 구성 - 콘 뺏기 예시: 스테킹보드에 랜덤으로 불이 켜지면 사용자는 3분 동안 해당 위치에 1개씩 순서대로 콘을 꽂음(그림5d 참조)
이중과제 평가/훈련	이중과제를 통한 3가지 평가/훈련 모드 중 선택하여 진행할 수 있도록 구성 - 변환적 집중력: 랜덤으로 콘 뺏기 - 작업 기억력: 규칙 기억해서 콘 뺏기 - 위치 기억력: 위치 기억해서 콘 뺏기
평가 및 훈련 결과	측정변수인 과제 성공률, 수행시간, 반응속도, 손 떨림 등에 대한 결과 값을 볼 수 있도록 화면 구성 (훈련모드의 경우, 어떤 난이도를 수행했는지에 대한 정보도 제공될 수 있도록 구성)

4) 평가 및 훈련 화면은 각 훈련에 대한 시나리오를 제공하고, 평가/훈련 종료 시 결과화면을 통해 사용자(환자)의 기본정보, 수행 날짜, 수행한 평가 및 훈련의 종류, 전체 성공률, 올바르게 Cone을 쌓은 개수, 잘못된 위치에 Cone을 쌓은 개수, 다음 Cone을 꽂을 때까지 걸린 시간, 총 수행시간, 담당 치료사의 피드백 내용 등의 정보를 제공해준다.

3. 결 론

본 연구에서는 상지에 운동기능저하가 있는 환자의 재활치료를 위해 많이 사용되는 전통적 스테킹 콘을 보완하여 각 환자의 증상과 치료목표에 따른 인지-운동 이중과제 재활치료를 맞춤형으로 설계할 수 있는 스마트 스테킹 콘 시스템을 개발하였다.

정적이며 반복적 동작만을 훈련시키는 기존 스테킹 콘 치료에 비해 개발된 모듈식 스마트 스테킹 콘은 다양한 버전의 동적 움직임 뿐 아니라 인지 재활 훈련이 가능하고 환자의 움직임 데이터와 치료과제에 대한 점수를 실시간으로 정량화하여 측정 분석이 가능하므로 임상에 적용 시 환자별 맞춤 재활훈련의 치료적 효과가 뛰어날 것으로 기대된다.

더 나아가, 이중과제 훈련은 인지기능 및 운동기능 증진에 대한 효과가 검증이 되었지만, ICT 기반 이중과제에 특화된 프로토콜은 아직까지 연구 보고된 내용이 없으므로 본 연구로 특화된 프로토콜 연구가 이루어진다면 다양한 치료프로토콜 개발 검증 연구에 기초가 될 것으로 사료된다.

감사의 글

“이 논문은 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임” (NRF-2018R1D1A1B07050037).

[참 고 문 헌]

[1] Seidler, R. D., Bernard, J. A., Burutolu, T. B., Fling, B. W., Gordon, M. T., Gwin, J. T., & Lipps, D. B. (2010). Motor control and aging: links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(5), 721-733.

[2] Brown, T., Mapleston, J., Nairn, A., & Molloy, A. (2013). Relationship of cognitive and perceptual abilities to functional independence in adults who have had a stroke. *Occupational therapy international*, 20(1), 11-22.

[3] Al-Yahya, E., Johansen-Berg, H., Kischka, U., Zarei, M., Cockburn, J., & Dawes, H. (2016). Prefrontal cortex activation while walking under dual-task conditions in stroke: a multimodal imaging study. *Neurorehabilitation and neural repair*, 30(6), 591-599.