

## 스마트폰을 이용한 뇌졸중 후 상지 편마비 환자의 상지 게임재활훈련 프로그램 개발 및 임상적 유용성 평가에 대한 예비연구

임현미 · 최윤희<sup>1</sup> · 백남중<sup>2</sup> · 구정훈

계명대학교 의과대학 의용공학과, <sup>1</sup>순천향대학교 서울병원 재활의학과, <sup>2</sup>분당서울대학교병원 재활의학과

### Development and Clinical Evaluation of the Upper Extremity Rehabilitation Game Program for Patients with Upper Extremity Hemiplegia After Stroke Using Smartphone: Preliminary Study

Hyunmi Lim, Yoon-Hee Choi<sup>1</sup>, Nam-Jong Paik<sup>2</sup> and Jeonghun Ku

*Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, Keimyung University*

<sup>1</sup>*Department of Physical and Rehabilitation Medicine, Soonchunhyang University College of Medicine, Soonchunhyang University Hospital, Seoul, South Korea*

<sup>2</sup>*Department of Rehabilitation Medicine, Seoul National University College of Medicine, Seoul National University Bundang Hospital, Seongnam, South Korea*

(Manuscript received 27 July 2015; revised 15 September 2015; accepted 16 September 2015)

**Abstract:** In the paper, we developed the mobile based rehabilitation system for patients with upper extremity hemiplegia after stroke and evaluated clinical usefulness and effectiveness of the system. The sensors built in the smartphone were used to track patients' upper limb motion and the movements was transferred to the tablet PC through bluetooth connection so that the game contents could be interact with the movements. The rehabilitation game contents was based on Brunnstrom stage(B-stage), and was designed to lead accurate movement of upper limb. For the clinical evaluation of the effectiveness, 11 patients were recruited and make them perform an exercise of their wrist, shoulder, and forearm using the system for two weeks. The change of upper limb motor function was measured using fugl-meyer assessment(FMA), Brunnstrom stage(B-stage). And the change of quality of life was measured using EuroQoL-5 Dimension(EQ-5D), Beck Depression Inventory(BDI). The results showed significant improvement in upper limb function but not in quality of life. We verified mobile based rehabilitation program could be useful and effective for the clinical use.

**Key words:** Mobile, Rehabilitation, Stroke, Hemiplegia

### 1. 서 론

뇌 손상은 관련된 영역의 편마비를 발생시키며, 마비측의

Corresponding Author : Jeonghun Ku  
M221, School of Medicine, Keimyung University, 1095  
Dalgubeoldaero, Dalseo-Gu, Daegu 704-701, Korea  
TEL: +82-10-3333-9051  
E-mail: jeonghun.ku@gmail.com

이 연구는 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2013R1A1A2060973)

사지를 사용할 수 없게 만드는 후유 장애의 원인이 된다[1]. 뇌졸중 환자의 69%가 상지 운동장애를 경험하고, 56%의 환자가 5년 이상이 지나도 편마비로 인해 불편을 겪고 있다 [2]. 편마비로 인한 상지 기능의 손상은 일상생활 과제를 수행하고 완수하는데 큰 장애가 되고, 이로 인해 뇌졸중 환자에게 심각한 문제점으로 인식되므로 뇌졸중으로 인한 운동 기능 손상의 회복을 위해서는 재활이 중요하다[3-4]. 뇌 손상 이후의 운동기능의 재구 조화(re-organization)는 손상 되지 않은 운동 대뇌 피질(motor cortex)의 실질적인 기능 분담에 달려있는데, 대뇌피질의 기능분담을 위해서는 환자

의 잠재력과 더불어 시기적으로 빠르고 강도 높은 운동 훈련이 필요하다[5].

마비 측 상지의 기능향상을 위한 강도 높은 운동 훈련프로그램의 대표적인 중재방법으로는 강제유도 운동치료(Constraint-Induced Movement Therapy; CIMT)가 시행되어 왔다. CIMT 중재에 대한 연구를 살펴보면, 선별된 뇌졸중 환자를 대상으로 강제유도 운동치료 실시 후에 운동대뇌 피질의 표식(representation)과 연관된 손 기능의 향상을 보고하였다[6]. 그러나 강제유도 운동치료는 환자의 불편감과 낙상과 같은 안전에 대한 문제를 가지고 있고, 많은 환자들이 중도에 포기하는 경우가 많아 동기 욕구가 높은 환자들만 모든 치료 시간을 견디어 낸다는 제한 점이 있다[7].

이렇듯 조기에 빠른 재활치료가 중요하지만 기존의 재활치료들은 흥미가 부족하여 환자로 하여금 재활운동의 참여를 이끌어 내기 힘들다. 상지의 지속적 사용을 통한 뇌 기능의 변화를 유도하고, 충분한 동기 부여를 통해 지속적으로 참여시킬 수 있는 치료 방법으로 가상현실 치료가 대두되고 있다. 가상현실 치료는 재활 임상환경에서 신경학적 가소성에 기반한 운동 기능 향상을 위한 훈련 강도와 반복을 제공할 수 있는 기술적 방법으로 채택되기 시작했다[8]. 실제 연구에서도 뇌졸중 환자들을 대상으로 집중적 가상현실 훈련을 실시한 결과 상지 운동기능의 의미 있는 회복을 관찰할 수 있었다[9-10].

이와 같이 가상현실을 이용한 운동은 환자의 치료 효과와 참여도를 더욱 향상시키지만, 재활운동을 할 수 있는 환경을 구축하기 위해 고가의 장비와 시설이 요구되므로 실제 치료실 혹은 가정에서의 지속적인 운동관리에는 어려움이 따른다. 이러한 한계점을 보완할 수 있는 재활 패러다임은 모바일 재활이다. 최근 모바일 기기의 발전으로 인한 재활과 모바일 기기의 결합으로 가정에서 쉽게 재활운동을 할 수 있는 방법들이 소개되고 있다. 스마트폰의 센서를 이용한 다양한 게임 콘텐츠를 통해 움직임과의 상호작용에 의한 몰입감으로 재활치료에 대한 참여의지를 고무하여 환자가 능동적으로 재활을 수행할 수 있도록 도와줄 수 있으며, 보편적으로 사용되는 스마트폰을 이용하여 재활환경 구축에 대한 부담 없이 재활운동을 수행할 수 있다. 이러한 모바일 플랫폼의 재활은 재활의 동기부여와 접근성이 용이한 중재 방법 중 하나가 될 수 있다. 사전연구에서 실시간 모바일 재활의 유용성을 살펴본 바에 따르면, 많은 환자들이 모바일 환경 재활운동의 치료효과 및 활용도에 대한 기대와 재활의 동기부여에서 긍정적인 의견을 나타냈다[11].

본 연구에서는 모바일 기기를 이용하여 뇌졸중 후 상지 편마비 환자를 위한 재활훈련 시스템을 개발하고, 그 프로그램의 임상적 유용성 평가에 대한 예비연구를 하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 상지 재활 훈련 시스템 구성

상지 재활훈련 시스템은 크게 두 가지로 구성된다. 게임 콘텐츠를 통해 환자의 훈련 상황을 시각적으로 피드백 하는 태블릿PC(Samsung galaxy note 10.1), 상지의 움직임을 검출하는 스마트폰(Samsung galaxy S 2)으로 구성되어 있으며 프로그램은 안드로이드 기반으로 개발되었다. 상지의 움직임은 스마트폰에 내장되어 있는 오리엔테이션 센서 값의 변화를 이용해 검출하였고 센서 정확도에 대한 실험결과 오차는 1도 이내로 환자들의 재활운동에 무리 없이 사용 가능했다. 재활운동 시 상지 움직임을 측정하기 위해 스마트폰을 팔목, 어깨 등 재활을 수행하고자 하는 부위의 관절각을 얻을 수 있는 곳에 암밴드를 이용하여 고정시켰다. 상지 움직임 검출을 위해 사용된 스마트폰의 무게는 약 120 g으로 환자에게 적용했을 때 무게로 인한 불편감 없이 운동을 수행할 수 있었다. 고정된 스마트폰으로부터 검출된 환자의 환측 상지 움직임 데이터는 블루투스 통신을 통하여 게임이 진행되는 태블릿PC로 전송이 된다. 데이터 전송속도는 9600bps으로 설정하였으며 태블릿PC에서는 수신된 값을 바탕으로 게임이 진행된다. 그림 1은 모바일 게임재활의 시스템 구성을 보여준다.

### 2. 재활 게임 콘텐츠.

재활 게임 콘텐츠는 현재 뇌졸중 후 편마비 환자를 대상으로 시행되고 있는 브룬스트롬 회복단계(Brunnstrom stage: 이하 B-stage)에 따른 상지재활훈련에 기반하여 제작했다. B-stage란 회복 단계를 뜻하며 상지의 B-stage는 수의적 운동이 불가능한 1단계부터 독립적인 관절 움직임이 쉽게 가능해지는 6단계로 나누어져 있다[12].

재활게임 콘텐츠는 고 연령층이 사용하기에 무리가 없도

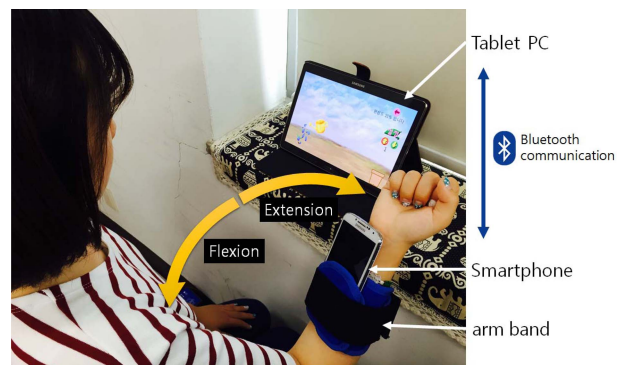


그림 1. 시스템 구성 및 팔꿈치의 굴곡/신전 운동의 예시.  
Fig. 1. Configuration of mobile-based rehabilitation system and flexion & extension of elbow.

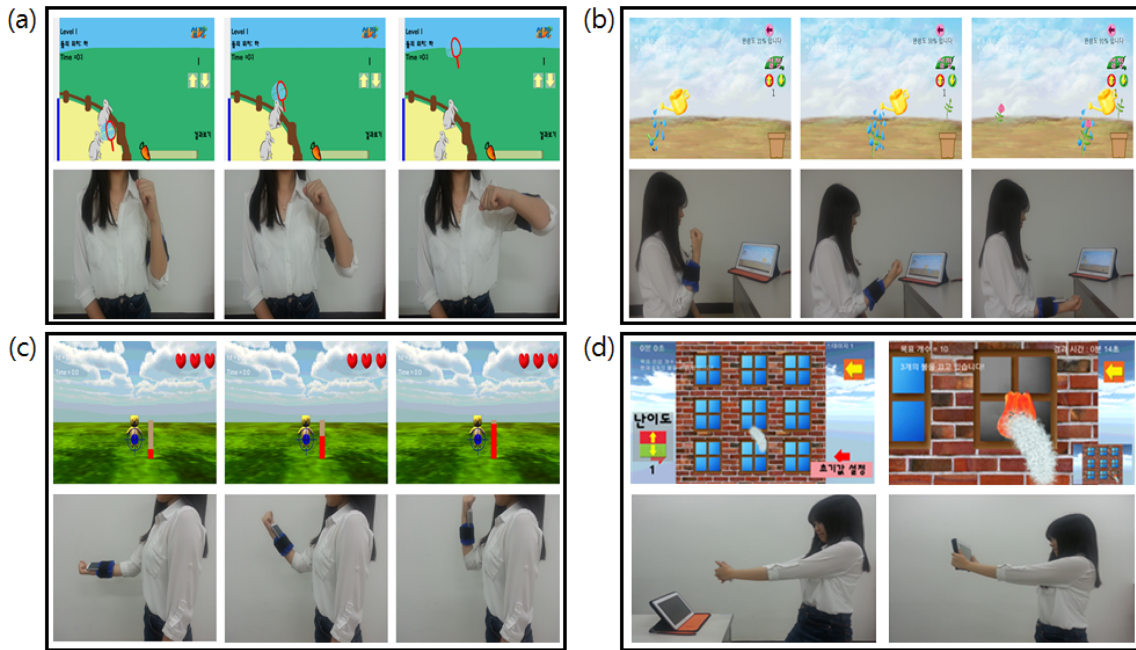


그림 2. 팔 운동 단계별 재활게임 콘텐츠 및 시행모습. (a) 팔 운동 2단계, (b)(c) 팔 운동 4단계, (d) 팔 운동 1단계, 3단계.  
 Fig. 2. Rehabilitation game contents. (a) arm exercise step 2, (b)(c) arm exercise step 4, (d) arm exercise step 1,3.

록 제작했으며 모바일 디바이스 이외에 다른 장치는 사용하지 않도록 했다. 또한 게임 중 모든 움직임은 근경직이 발생하는 것을 예방할 수 있도록 제작했다. 경직은 반사의 과흥분으로 인한 건반사의 항진을 보이는 신장 속도에 비례하는 긴장성 신장 반사로 정의되는데 속도가 증가됨에 따라 경직이 증가하게 되므로 갑작스러운 동작은 근경직을 초래할 수 있기 때문에[13] 상지를 천천히 움직이도록 유도했다. 게임의 난이도는 미리 설계되어 있는 형식에 맞추어 진행되는 일반모드와 사용자가 직접 조절할 수 있는 사용자 설정 모드로 나누었다. 사용자 설정 모드에서는 게임의 난이도에 관여하는 운동 횟수, 운동 속도, 관절각 범위 등의 여러 요소들을 직접 조절함으로써 환자 개개인의 질환상태에 부합하는 재활운동이 될 수 있도록 했다. 그림 2는 정상인 피험자에 대해 개발한 게임을 적용한 모습을 보여준다. 그림 2의 (a)는 어깨 내전-외전 운동으로 어깨관절각에 따라 오브젝트(그물채)가 위아래로 움직인다. 오브젝트의 위치를 조절하여 날아오는 장애물(돌맹이)을 제거하는 게임이다. 게임의 단계별로 장애물이 높이를 점차적으로 높여가며 관절가동범위의 확장을 유도했다. 그림 2의 (b)와(c)는 팔꿈치 굴곡-신전운동이다. 게임(b)에서는 팔꿈치의 신전운동 시 팔꿈치의 신전각에 따라 오브젝트(물뿌리개)가 좌우로 움직이며 게임(c)에서는 팔꿈치의 굴곡운동 시 굴곡각의 크기에 상응하여 오브젝트(사과)를 던지는 힘이 커지도록 하여 더 멀리 날아가도록 했다. 그림 2의 (d)는 어깨 굴곡 및 내전외전 운동게임이다. 어깨 움직임을 통해 오브젝트(물 호스)를 상하좌우로

이동하며 타겟 오브젝트(볼)와의 접촉을 일정시간 유지하도록 했다.

### 3. 유용성 평가

개발한 프로그램의 임상적 유용성의 예비평가를 위해 경기도 성남시에 소재하는 S대학교 병원에 내원하고 있는 뇌졸중 후 상지 편마비를 겪고 있는 환자 11명(평균연령: 61.64 ± 15.80세)을 대상으로 시험적용을 실시했다(IRB number: B-1306/208-005). 실험과정은 총 10회기로 2주간 진행되었으며 한 회기는 개발한 모바일 재활게임을 이용하여 손목의 굴곡&신전, 어깨 운동, 팔뚝의 내전&외전으로 구성된 총 3가지 재활운동을 30분간 수행하고 작업치료(Occupational Therapy) 30분을 병행하는 것으로 구성했다. 임상적 유용성은 재활훈련 수행 전후 상지 기능의 회복 정도와 삶의 질 척도의 변화, 그리고 훈련 후 모바일 재활의 만족도에 대한 질문지 응답을 통해 평가했다.

#### (1) 평가도구

##### 상지 기능 검사

상지 기능의 회복 정도는 퍼글-마이어 평가(fugl meyer assessment: 이하 FMA) 상지 점수와 팔과 손의 B-stage를 통해 평가했다. FMA는 뇌졸중 환자의 기능적 회복 정도를 평가하기 위해 고안된 평가도구로써, 브룬스트롬의 편마비 분류와 회복(Brunnstrom's hemiplegia classification and progress record)의 6단계 과정을 근거로 50개의 항목

표 1. 모바일 재활치료의 만족도 질문 결과.

Table 1. The results of satisfaction questionnaire of mobile-based rehabilitation.

질문항목		Mean (n = 11)	Min (n = 11)	Max (n = 11)
정보내용	사용하신 재활치료 프로그램이 충분한 치료를 제공합니까?	4.17	3	5
	사용하신 재활치료 프로그램이 환자분의 현재 상황에 맞는 치료방법을 제공합니까?	4.25	4	5
형식	사용하신 재활치료 프로그램의 구성이 적절합니까?	4.25	3	5
사용 편의성	사용하신 재활치료 프로그램의 정보가 알아보기 쉽습니까?	4.08	3	5
	사용하신 재활치료 프로그램의 사용이 편리합니까?	4.42	3	5
전반적 만족도	재활치료 프로그램의 사용에 대한 만족도를 평가하신다면 어떻습니까?	4.25	3	5
질환관리	질환관리에 도움이 되었습니까?	4.3	3	5

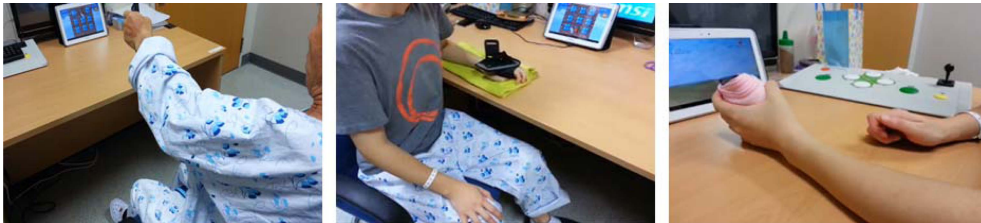


그림 3. 재활훈련 프로그램 시행 모습.

Fig. 3. The scene for a training with mobile rehabilitation.

158

으로 상세히 분류하였고, 상지의 경우 어깨, 팔꿈치, 전완, 손목, 손가락의 협응 능력으로 세분화 된다. 이 검사는 수행할 수 없을 시 0점, 부분적으로 수행 시 1점, 완전하게 수행 시 2점씩 주어지고, 상지 66점, 하지 34점 전체 100점으로 구성된다[14].

삶의 질 평가

삶의 질 평가를 위해 EuroQoL-5 Dimension(이하 EQ-5D)와 Beck Depression Inventory(이하 BDI)지수를 측정했다. EQ-5D는 EuroQol 그룹에서 개발한 일반적 건강 관련 삶의 질 측정도구로 운동능력, 자기관리, 일상 활동, 통증/불편, 불안/우울의 5개 차원에 대해서 문제없음, 다소 문제있음, 심각한 문제 있음의 3가지 수준으로 평가하도록 구성되어 있다[15].

프로그램 만족도 질문지

재활치료 후, 개발한 모바일 재활프로그램의 만족도에 대한 질문지 응답을 수행했다. 질문의 유형은 사용 편의성, 질환관리 등의 문항으로 이루어진 행렬식질문이며 5점리커트 척도로 매우 그렇다(5점)부터 매우 그렇지않다(1점)으로 구성되어 있다.

(2) 자료처리

본 연구의 통계적 분석은 SPSS 21을 이용하여 통계처리

하였으며, 재활훈련 전과 10회의 치료 종료시점 사이의 상지 기능과 삶의 질의 변화를 검정하기 위해 대응표본 t-검정을 실시했다. 통계학적 유의수준은  $p < .05$ 로 하였다.

III. 연구결과

모바일 재활게임의 유용성 평가 결과는 그림 4, 그림 5와 같다.

1. 상지 기능의 변화

(1) FMA 변화

FMA평가를 시행한 결과, 재활훈련 전 상지의 FMA 평균점수는  $25.82 \pm 6.87$ , 훈련 후 평균 점수는  $43.91 \pm 6.05$ 였다. 훈련 후 상지기능의 유의미한 증가를 보였다( $t = -4.278$ ,  $df = 10$ ,  $**p < .01$ ).

(2) B-stage 변화

B-stage평가를 시행한 결과, 재활훈련 전 손의 b-stage 평균단계는  $2 \pm 0.43$ , 훈련 후 평균단계는  $3.91 \pm 0.46$ 였다. 팔의 b-stage 평균단계는 훈련 전  $2 \pm 0.43$ , 훈련 후  $4.09 \pm 0.49$ 였다. 훈련 효과에 의한 B-stage(hand)의 변화를 알아본 결과 유의미한 증가를 보였으며( $t = -5.573$ ,  $df = 10$ ,



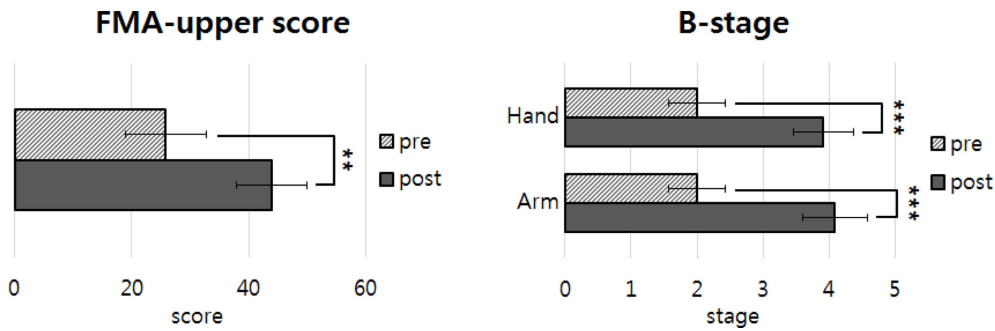


그림 4. 상지 운동기능의 변화. \*\*P < .01, \*\*\*P < .001.

Fig. 4. The change of motor function of upper limb. \*\* and \*\*\* represent a significant value of p < .01 and p < .001 respectively.

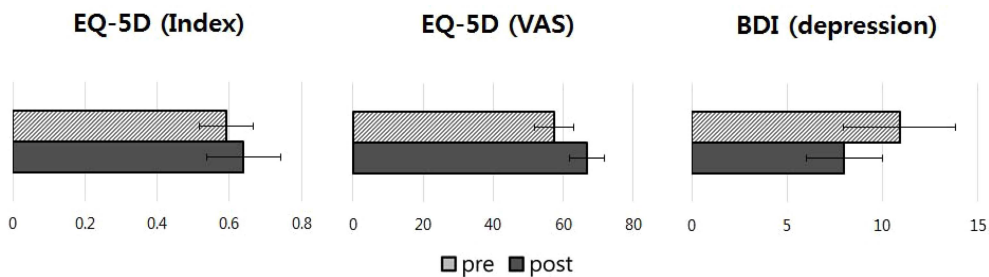


그림 5. 삶의 질 척도의 변화.

Fig. 5. The change of quality of life.

\*\*\*p < .001), B-stage(arm) 또한 통계학적으로 유의하게 증가했다(t = -5.333, df = 10, \*\*\*p < .001).

이는 근 경직이 시작되며, 굴근 시너지 운동이나 연합반응과 관련된 특징을 보이는 단계에서 근 경직이 더 이상 운동에 영향을 주지 않으며, 복합적인 운동이 더 쉬워지는 단계로 상지 기능이 향상되었음을 의미한다. 또한 손 전체로 잡기가 시작되고 약간의 손가락 굽히기가 가능한 단계에서 손바닥을 사용하여 구 모양의 물건이나 원통형의 물건을 쥐고 놓는 것이 가능한 단계로 손의 기능향상이 이루어졌음을 의미한다.

## 2. 삶의 질의 변화

### (1) EQ-5D 변화

건강관련 삶의 질 평가를 시행한 결과, 재활훈련 전 EQ-5D(Index) 평균점수는 .58 ± .07에서 훈련 후 .64 ± .10였다. EQ-5D(VAS) 평균점수는 훈련 전 57.27 ± 5.62, 훈련 후 66.82 ± 4.97였다. 두 척도는 재활치료 전에 비해 훈련 후 증가함을 보였으나 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(p > .05).

### (2) BDI 변화

우울증 진단척도 평가를 시행한 결과, 재활훈련 전 BDI의

평균점수는 10.91 ± 2.93, 훈련 후 8.00 ± 1.20였다. 재활치료 후 우울증이 감소되었음을 보였으나 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(p > .05).

## 3. 프로그램 만족도 질문지

만족도 응답평균을 100점으로 환산하면 질환관리가 82.5점으로 가장 높았으며, 그 뒤를 이어 프로그램의 형식, 사용편의성과 전반적 만족도가 81.25점, 치료제공이 80.25점으로 나타났다.

## IV. 고찰 및 결론

본 예비연구는 모바일기반의 상지재활 프로그램을 이용한 훈련이 뇌졸중 후 상지 편마비 환자의 기능회복과 삶의 질에 미치는 영향을 확인하고자 실시되었다.

재활 프로그램은 두 개의 모바일 기기로 구성되며, 브룬스트롬 회복단계에 따른 팔 운동 단계에 기반한 게임컨텐츠를 개발했다. 게임컨텐츠는 재활운동 진행 중 갑작스러운 운동으로 인한 근 경직이 발생하는 것을 예방할 수 있도록 제작했으며 상지 움직임의 정량적 측정을 통해 환자 개인의 질환상태에 부합하는 알맞은 재활훈련 프로토콜을 제공할 수 있도록 설계했다.

개발한 프로그램의 임상적 유용성 예비평가를 위해 11명

의 뇌졸중 후 상지 편마비 환자에게 시험적용을 수행하고, 상지 운동기능의 회복을 평가하기 위한 퍼글.마이어, 브른 스트롬 회복단계, 삶의 질 변화를 평가하기 위한 EuroQoL-5 Dimension와 Beck Depression Inventory를 사용한 결과에서, 재활치료 후 삶의 질은 개선되었으나 통계학적으로 유의미한 변화는 보이지 않았으며 상지 기능은 재활치료 전과 비교하여 상지 FMA척도와 팔과 손의 B-stage가 유의하게 증가하는 상지 기능의 개선을 보여주었다. 위의 평가 결과로부터, 본 연구에서 개발한 모바일 게임기반 재활치료 프로그램이 상지기능 개선에 임상적 유용성이 있다고 할 수 있었다.

기존에는 Wii 프로그램, 키넥트(Kinect) 등을 이용한 가상현실 게임 재활치료에 대한 연구가 이루어져왔다[16]. 가상현실을 이용한 게임재활은 재활운동의 동기를 부여해주고, 스스로 할 수 있는 능동운동으로 다양한 가상환경을 경험할 수 있도록 해준다는 장점이 있어 재활치료를 위해 많이 사용되어 왔다. 하지만 실제 환자가 수행 시 조작이 어렵고, 환자들에게 필요한 기능적 동작을 하기에는 어려움이 따르며 전신을 감지해야 하기에 일어서서 훈련을 해야 하므로 적용 가능한 환자가 제한적인 단점이 있었다. 또한 고비용의 장비가 요구되므로 재가환자가 가정에서 재활훈련의 플랫폼을 구축하기에는 어려움이 따르는 한계점이 있었다.

본 연구에서 제안한 모바일 기반의 재활운동은 가상현실 게임 재활치료의 장점을 갖고 앞선 제한사항들을 보완할 수 있다. 첫째, 환자가 시스템을 직접 다루기 쉽다는 것이다. 재활훈련 후 수행된 모바일 재활의 만족도 질문결과를 보면 많은 환자들이 장비와 소프트웨어의 사용에 어려움 없이 편리하다고 응답했다. 둘째, 단순한 게임목적으로 디자인된 콘텐츠가 아닌 환자가 수행해야 할 정확한 기능적 운동을 유도할 수 있는 콘텐츠를 제공한다는 것이다. 세 번째로, 재활을 수행하고자 하는 목표부위에 스마트폰을 부착하여 그 부위의 움직임을 측정하므로 신체 움직임 측정을 위해 전신을 감지할 필요가 없다는 것이다. 이로써 재활운동 중 일어난 자세가 요구되지 않아 앉아있거나 병상에 누워있는 환자에게도 적용 가능할 것이다. 네 번째, 보편적으로 보급되어있는 스마트폰을 이용하므로 재활을 위한 별도의 고비용 장비가 요구되지 않아 재활치료를 위해 장비가 구비되어있는 재활치료기관을 방문하지 않고도 훈련이 가능하다는 것이다. 이를 통해 통근치료가 어려운 환자나 재가환자가 가정에서 자신의 스마트폰을 이용해 재활 훈련을 실시할 수 있으며 휴대성이 용이하여 가정뿐만 아니라 아니라 실외 어디서든 장소에 구애 받지 않고 재활훈련을 실시할 수 있을 것이다. 마지막으로, 앞에서 언급한 바와 같이 재활 시 정확한 근육 움직임을 유도하므로 운동을 보조해줄 보호자 없이도 가정에서 환자 스스로가 재활훈련을 수행할 수 있을 것이다. 이

와 더불어 흥미 있는 게임으로 이루어져 시청각적 피드백을 제공함으로써 환자에게 재활치료의 동기를 제공할 수 있다.

본 연구의 제한점으로는, 대조군과의 상지기능 변화에 대한 비교가 이루어 지지 않아 평가결과에서 나타난 통계학적으로 유의미한 상지 운동기능의 개선이 ‘시간의 경과에 따른 자연스러운 기능회복’ 또는 ‘작업치료 재활훈련을 병행함으로써 얻어진 기능 개선’이 아닌 본 연구에서 개발한 모바일기반 재활게임 프로그램을 적용함에 따른 결과임을 일반화 하기에 미약하다는 것이다. 하지만 본 연구에서 얻어진 결과로 미루어 봤을 때, 모바일 기반의 상지재활게임은 환자의 상황에 맞는 치료방법을 제공하여 질관리에 도움이 되고, 고 연령층의 환자가 이용하기에 어려움이 없어 재활치료 프로그램에 대한 만족도가 높았으며 실제로 앞서 수행한 임상적 유용성 평가에서도 상지기능의 개선을 나타냄으로 보아 기존에 시행되었던 재활치료법과 같이 환자에게 유용한 새로운 상지재활의 패러다임이 될 것이라 생각된다. 더 나아가 본 연구에서 개발한 모바일 재활 시스템에서 상지 움직임을 측정하는 스마트폰을 대신하여 스마트워치와 같은 웨어러블 디바이스와의 결합을 통해 향후 더 발전된 상지재활 플랫폼을 제시할 수 있을 것이라 기대된다.

## Reference

- [1] Taub, E., Miller, N. E., Novack, T. A., Cook, E. W., & Fleming, W. C. "Techniques to improve chronic motor deficit after stroke". *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 74, pp. 347-354, 1993.
- [2] Gillot, A. J., Holder-Walls A., Kurtz, J. R., Varley, N. C. "Perceptions and Experiences of Two Survivors of Stroke Who Participated in Constraint-Induced Movement Therapy Home Programs", 2003.
- [3] Broeren, J., Rydmark, M., & Sunnerhagen, K. S. "Virtual reality and haptics as a training device for movement rehabilitation after stroke: A single-case study", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85, pp. 1247-1250, 2004.
- [4] Feys, H. M., De Weerd, W. J., Selz, B. E., Cox Steck, G. A., Spichiger, R., Vereeck, L. E., et al. "Effect of a therapeutic intervention for the hemiplegic upper limb in the acute phase after stroke: A single-blind, randomized, controlled multicenter trial", *Stroke*, 29, pp. 785-792, 1999.
- [5] Liepert, J., Bauder, H., Miltner, W. H., Taub, E., & Weiller, C. "Treatment induced cortical reorganization after stroke in humans", *Stroke*, 31, pp. 1210-1216, 2002.
- [6] Liepert, J., Bauder, H., Miltner, W. H., Taub, E., & Weiller, C. "Treatment induced cortical reorganization after stroke in humans". *Stroke*, 31, pp. 1210-1216, 2002.
- [7] S. J., Levine, P., & Leonard, C. "Modified constraint-induced movement therapy in acute stroke: A randomized controlled pilot study", *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 19, pp. 27-32, 2005.
- [8] Adamovich, S. V., Fluet, G. G., Tunik, E., & Merians, A. S. "Sensorimotor training in virtual reality: A review", *Neuro*

- Rehabilitation, 25, pp. 29-44, 2009.
- [9] Holden, M. K., & Dyar, T. "Virtual environment training: A new tool for neurorehabilitation", *Neurology Report*, 26, pp. 62-74, 2002.
- [10] Broeren, J., Rydmark, M., & Sunnerhagen, K. S. "Virtual reality and haptics as a training device for movement rehabilitation after stroke: A single-case study", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85, pp. 1247-1250, 2004.
- [11] Hyunmi Lim, Jeonghun Ku, et al, "Preliminary study for the evaluation of the usefulness of the mobile game based upper extremity rehabilitation program" in Proc. 47<sup>th</sup> The Korean Society of Medical & Biological Engineering, Gumi, Korea, May. 2013.
- [12] Brunnström, Signe. "Movement therapy in hemiplegia: a neurophysiological approach", *Facts and Comparisons*, 1970.
- [13] Lance JW. "Control of muscle tone, reflexes and movement: Robert Wartenberg Lecture", *Neurology*, 30, pp. 1303-13, 1976.
- [14] Fugl-Meyer A. R., Jaasko L, Leyman I., Olsson S. and Steglind, S. "The post-stroke hemiplegic patient; 1. method for evaluation of physical performance", *Scand J Rehabil Med*, vol. 7, pp. 13-31, 1975.
- [15] EuroQol group. EuroQol: "a new facility for the measurement of health-related quality of life", *The EuroQol Group. Health Policy* 1990.
- [16] Jeonghun Ku, Hyungjun Lim, Youn Joo Kang. "Upper Extremity Rehabilitation using Virtual Reality after Stroke", *Brain & NeuroRehabilitation*, vol. 7, pp. 30-38, 2014.