

뇌손상 환자의 상지 재활을 위한 웨어러블 장치와 모바일 게임 개발

Development of a Mobile Game and Wearable Device for Upper Limb Rehabilitation after Brain Injury

임홍준*, 강윤주, 송제영, 이민봉, 오지은, 구정훈

H. J. Lim, Y. J. Kang, J. Y. Song, M. B. Lee, J. E. Oh, J. H. Ku

요 약

현재 뇌손상환자에게 시행되고 있는 재활치료들은 훈련 환경이 단조롭고 긴 시간 동안 단순하고 반복적인 운동으로 인해 흥미와 참여도가 떨어져 훈련 효율이 저하된다는 문제가 제기되었다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 상지 재활훈련을 위해 상지에서 측정되는 근전도 신호와 모션센서를 기반으로 하는 웨어러블 장치와 모바일 게임을 결합한 새로운 재활 프로그램 개발을 제안함으로써 위에서 제기된 문제를 해결하고자 하였다. 개발된 웨어러블 장치는 밴드 형태로 제작되어 신체에 쉽게 착용 및 해체가 가능하고, 모바일 게임은 웨어러블 장치로부터 측정되는 근전도 신호를 통하여 인식되는 움켜잡는 행동(*grasp motion*)과 모션센서를 통하여 인식되는 굴곡(*flexion*), 신전(*extension*), 외전(*abduction*), 내전(*adduction*)을 반영하여 게임을 통한 재활 훈련이 가능하도록 설계되었으며, 난이도 조절을 통한 환자 개개인에 적합한 맞춤형 재활환경을 제공할 수 있도록 하였다. 개발된 프로그램을 상지 재활이 필요한 14명의 뇌손상 환자를 대상으로 적용한 후, 설문조사를 통한 유용성 평가를 진행한 결과 개발된 재활프로그램이 기존 재활프로그램보다 흥미가 있었고 재활훈련 간 지루하지 않았다고 응답하였고, 추후 개발된 프로그램 재사용에 대한 의지를 보였다.

ABSTRACT

Conventional upper extremity rehabilitation paradigm after brain injury has several shortcomings that is monotonous, simple, and repetitive in exercises over a long period of time, thereby causing training efficiency to decline as a consequence of low interest and participation. To resolve this issue, this paper proposes a new rehabilitative program integrating a wearable device integrated with EMG and motion sensor and a mobile game for the upper limbs' rehabilitative training. The developed wearable device is manufactured in the form of band, making it easy to wear. The mobile game is designed to enable rehabilitative training through games reflective of flexion, extension, abduction, and adduction identified by motion sensors along with grasp motion recognized by EMG signals measured from the wearable device. It also provides a tailored rehabilitative environment suitable for individual patients based on difficulty adjustments. As a consequence of applying the developed program to 14 brain injury in need of the upper limb rehabilitation and taking surveys on the utility of the developed rehabilitative program, the responses indicated that the developed rehabilitative program is far much more interesting and fun than the conventional rehabilitative program, further to the desire of those surveyed to reuse the developed program in the future.

Keyword : Rehabilitation Program, EMG, Mobile Game, Motion Sensor, Brain injury

접 수 일 : 2017.05.31
심사완료일 : 2017.07.17
게재확정일 : 2017.07.20

*임홍준 : 계명대학교 의학과 석사과정
hongjun9110@gmail.com (주저자)
강윤주 : 을지병원 재활의학과
md52516@hanmail.net (공동저자)

1. 서론

뇌손상 중 대부분을 차지하는 뇌졸중 환자의 69%는 상지에서 기능적인 운동장애를 경험하고, 약 56%의 환자가 발병 후 5년 이상이 지나도 편마비로 인한 불편을 호소하고 있다[1-3]. 뇌졸중 환자가 경험하는 편마비는 한쪽의 상·하지 또는 얼굴부분의 근력 저하가 나타나는 상태를 말하고 반신감각마비, 실어증, 실인증 등을 함께 동반 할 수 있고 강직성 마비와 관절운동범위의 감소를 초래한다[4]. 이는 환자의 보행, 상지 기능 손상 등 기능적인 제한을 가져오게 하고 일상생활에 제한을 가져오게 하므로, 극심한 스트레스와 삶의 질 저하를 경험하게 한다[5]. 뇌손상 환자에게 있어 재활 목적은 일상생활을 영위할 수 있도록 편마비 등으로 인한 장애를 최소화하는 것인데 대부분의 일상생활에 필요한 동작은 상지가 수반되므로, 상지 재활은 매우 중요하다[6]. 현재 시행되고 있는 상지재활훈련으로는 건축 상지 운동제한치료법(Constraint-Induced Movement Therapy, CIMT), 보바스 치료법, 로봇 치료법, 거울 치료법(mirror therapy), 기능적 전기자극(Functional Electrical Stimulation, FES) 등의 다양한 치료법이 시행되고 있고, 이러한 재활 치료들은 감각손상과 편측마비가 있는 환자에게 임상적으로 효과가 있다고 보고되었다[7-8].

기존의 보바스 치료법은 훈련받은 물리치료사에 의해 이루어지는데 장소, 비용 및 시간적인 제한이 따른다. 또한 CIMT, FES, 거울 치료 등은 훈련 환경이 단조롭고 흥미와 참여도가 떨어져 훈련 효율이 저하된다는 문제가 제기되었고 로봇 치료법은 매우 고가여서 비용의 문제와 재활훈련을 위해서 장비가 마련된 센터나 병원 방문이 이루어져야 되며, 착용하기 불편하다는 문제점이 있다[8-9]. 또한 근전도 바이오피드백과 상지재활훈련을 결합하여 손을 움켜쥐는 동작(grasp)과 손을 펴서 관절을 늘려주는 동작(hyper extension) 등을 근전도 신호의 피드백을 통하여 손 재활에 꼭 필요한 동작의 유도가 가능하게 하고, 신경적응과 수정과 반복을 통한

운동학습을 촉진시킬 수 있는 자발적인 재활훈련의 가능성을 보여준 연구가 있었다 [10-11].. 하지만 근전도 바이오피드백을 활용한 재활프로그램은 장치의 제약 등으로 인한 그 활용성과 환자의 흥미와 재미를 이끌어내기에 한계가 있었다. 따라서 뇌손상 후 좀 더 치료적인 접근성이 용이하며 환자의 흥미와 참여를 높이기 위한 새로운 재활운동 방법이 요구되는 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 근전도 신호와 모션센서를 기반으로 하는 웨어러블 장치를 개발하여 환자에게 편의성을 제공하고, 상지 재활훈련 환경에 적합한 모바일 게임을 개발하여 환자에게 흥미와 재미를 통한 자발적인 재활참여와 재활효율을 높이려고 하였다.

2. 본론

2.1 재활 훈련 프로그램 구성

개발된 프로그램은 하드웨어와 모바일 게임으로 구성되었다. 하드웨어는 웨어러블로 제작되어 재활이 필요한 환부에 착용하여 재활 훈련을 수행할 수 있게끔 하였으며, 밴드 형태로 환자가 손쉽게 착용 및 해체가 가능하도록 하였고, 장비의 소형화를 통하여 착용하는데 부담감이 없도록 하였다. 내장된 모션센서에서 출력되는 데이터와 근전도 획득 모듈을 통해 획득한 근전도 신호를 사용하여 게임 진행에 필요한 명령을 생성하고, 블루투스를 통하여 모바일 기기로 명령이 전송되도록 하였다. 개발된 게임은 안드로이드 운영체제를 기반으로 하고 있으며, 테블릿 PC 및 휴대전화에서 수행가능 하도록 구성하였다. 게임은 환자에게 재활에 필요한 동작을 유도함으로써 게임을 통한 재활훈련을 가능하게 하였다.

2.2 하드웨어 구성

2.2.1 근전도 신호 획득 및 하드웨어 구성

근전도(EMG)는 근육이 수축할 때 발생하는 활동전위를 측정하는 것으로 수 μV ~ 수 mV의 진폭과 10~500Hz의 주파수 특성을 가지고 있으며 여러 가지 방법을 통하여 측정이 가능하다. 본 연구에서는 건식 전극을 사용하여 비 침습적인 방법으로 근전도 신호를 획득하였다. 그림 1은 전체적인 시스템의 구성을 보여주고 있으며 개발된 근전도 획득 모듈의 구성은 센서 부, 증폭 부, 필터 부로 이루어져 있다.

송제영 : 을지병원 재활의학과 작업치료실
jy8271535@eulji.ac.kr (공동저자)

이민봉 : 을지병원 재활의학과 작업치료실
20150686@eulji.ac.kr (공동저자)

오지은 : 을지병원 재활의학과 작업치료실
20160221@eulji.ac.kr (공동저자)

구정훈 : 계명대학교 의용공학과 교수
kujh@kmu.ac.kr (교신저자)

* 이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(No. NRF-2017R1A2B4011920).

증폭 부의 주요 특성은 외부 잡음 신호를 제거하고, 매우 작은 진폭을 가지는 근전도 신호의 진폭을 증폭시키는 역할을 하며, 원 신호는 약 1000배 증폭되도록 증폭률을 설정하였다. 추가적으로 AC커플링 회로를 증폭 부 앞부분에 추가하여 근전도 신호에 포함된 직류성분을 제거함으로 증폭기가 포화되어 신호가 제대로 측정되지 않는 문제를 해결하였다. 필터 부에서는 앞선 연구들에서 정의한 근전도 신호 유효 주파수 범위에 따라 아날로그 2차 저역통과 필터, 고역통과필터를 사용하여 주파수 범위를 10Hz~500Hz로 설정하였다. 필터를 통과한 근전도 신호는 A/D 변환기(analog to digital converter)를 통하여 수치화 시켰고, 블루투스를 사용하여 모바일 기기로 전송하였다. 단일 근전도 신호 만으로 사용자의 동작 의도 파악에 어려움이 있으므로 본 연구에서는 9축 모션센서 추가하여 환자의 동작을 파악하였다.

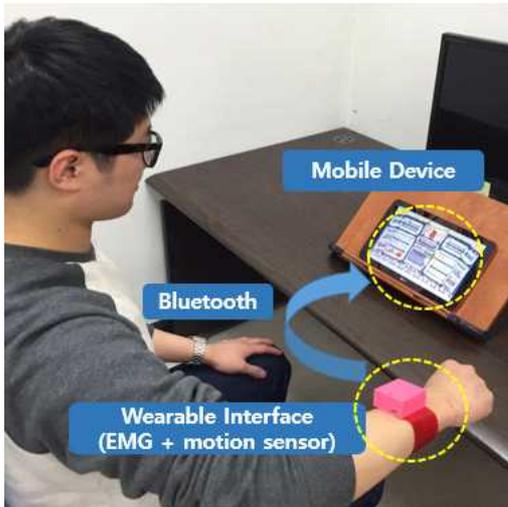


그림 1. 재활 시스템 구성
Fig. 1. System Configuration

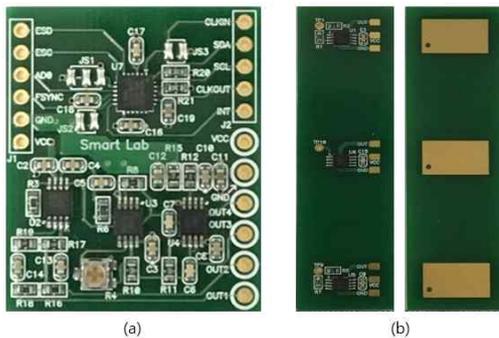


그림 2. (a) 근전도 획득 모듈 및 모션센서, (b) 건식 전극
Fig. 2. (a) EMG Acquisition Module and Motion Sensor, (b) Dry Electrode

2.3 웨어러블 장치

그림 3은 본 연구에 의해 개발된 웨어러블 장치 외관과 착용모습을 보여준다. 웨어러블 장치는 근전도 신호 측정과 모션인식을 통하여 손 재활에 필요한 손을 움켜쥐는 동작(grasp)과 손을 펴서 관절을 늘려주는 동작(Hyper extension) 인식과 하박 및 상박의 재활에 필요한 굴곡(flexion), 신전(extension), 외전(abduction), 내전(adduction) 인식이 모두 가능하도록 제작되었다. 또한 웨어러블 장치는 밴드 형태로 제작되어 사용자가 쉽게 착용 가능하고, 착용하는데 있어 불편함이 없도록 디자인 하였다.

2.4 게임 콘텐츠

개발된 게임은 음식을 만들기 위해 필요한 식재료를 획득하는 게임으로 환자들에게 재활훈련에 필요한 물건을 움켜잡는 행동(grasp motion), 굴곡(flexion), 신전(extension), 외전(abduction), 내전(adduction)을 유도하여 게임을 통한 재활훈련이 가능하도록 제작되었다. 재활게임 콘텐츠는 고 연령층이 사용하기에 무리가 없도록 제작되었으며, 웨어러블 장비와 모바일 기기 이 외에 다른 장비를 사용하지 않도록 하였다. 또한 재활훈련 중 발생할 수 있는 근경직은 운동에 수반되는 이상 근수축 현상으로 게임 중 천천히 운동할 수 있도록 유도하여 이를 예방하였다.[12].



그림 3. 웨어러블 장치 외관 및 착용모습
Fig. 3. Appearance and wear of wearable devices

본격적인 재활훈련에 앞서 환자의 운동수행능력을 평가하여 난이도를 조절함으로 환자 개개인에 맞는 게임 환경을 제공한다. 운동수행능력 평가가 끝나면 사용자 설정 화면으로 이동하게 되고, 사용자 설정 화면에서는 환자의 이름, 나이, 재활부위, 게임진행 방법, 메뉴를 선택할 수

있다. 사용자 설정이 끝난 후 본격적인 재활훈련을 수행하게 된다. 게임은 환자의 상태에 따라 두 가지 방식으로 진행할 수 있고, 그림 4는 두 가지 방식의 게임 진행을 각각 보여준다. 그림 4의 (a)는 게임모드 1로 근력이 약하고, 근력 유지가 어려운 환자들에게 적용하는 게임 방식으로 웨어러블 장비를 착용한 상지의 움직임에 따라 게임상의 캐릭터가 움직이게 되고, 목표로 하는 식재료 위에 캐릭터가 위치했을 때 캐릭터 상단에 측정되는 근전도를 피드백해주는 게이미바가 생성된다. 이때 목표치 이상의 근전도 신호가 측정되면 식 재료가 목표지점으로 이동하게 되고, 이때 식 재료를 획득할 수가 있다. 메뉴에 따라 필요한 식 재료를 모두 획득할 때까지 게임은 진행되고, 모든 식 재료를 획득했을 때 게임은 종료된다. 그림 4의 (b)는 게임모드 2로 근력 유지가 가능한 환자를 대상으로 적용 가능한 진행 방식으로 식 재료를 획득하는 방법만 다르고 나머지 사항을 동일하게 운영된다.

앞서 설명한 게임모드 1에서는 목표치 이상의 근전도 신호가 측정되면 목표지점으로 자동으로 식 재료가 이동하는 반면 게임모드 2는 목표치 이상 크기의 근전도를 유지한 상태로 목표지점까지 식 재료를 운반해야지만 식 재료를 획득할 수 있다. 게임 종료 후 환자의 신상 정보 및 재활훈련 내용은 저장되어 추후 분석이 가능하도록 하였다.

2.4 설문지 평가

2.4.1 연구대상

본 연구는 뇌손상으로 전문의의 진단을 받은 환자 중 연구 참여에 동의한 14명(남자 6명, 여자 8명)을 대상으로 진행 되었다. 선정된 환자의 발병 원인은 뇌경색 8명, 뇌출혈 5명, 뇌종양 1명으로 5명의 아급성기 환자와 9명의 만성기 환자가 등록되었고, 그 중 우측 편마비가 8명, 좌측 편마비가 6명이었다. 환자들의 평균 연령은 56.7(17-77세)세로, 발병 당시부터 평가까지 평균 재활기간은 24.3(2-108)개월이었다. 상지근력이 MRC grade 2 이하의 중증 마비나 Modified ashworth scale grade 2 이상 중증도 이상의 상지 경직, 심각한 우울증, 실행증 또는 인지 기능저하(<24 on the Mini-Mental State Examination)로 설문을 수행하기 어려운 환자는 제외하였다.

2.4.2 프로그램 만족도 질문지

개발된 프로그램을 사용하여 재활치료 후, 개발한 프로그램의 만족도에 대한 설문지 평가를 수행했다. 질문의 유형은 프로그램 사용 편의성, 만족도, 흥미여부 등을 물어보는 문항으로 구성되어있고, 매우 그렇다(5점)부터 매우 그렇지 않다(1점)로 구성된다.

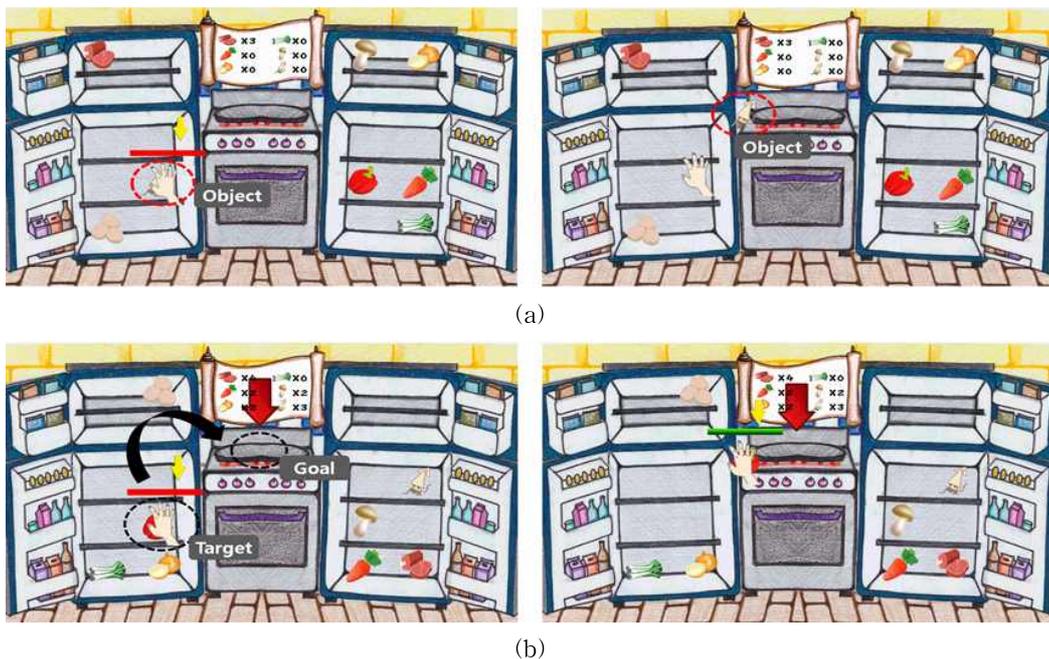


그림 4. 게임 콘텐츠 (a) 게임모드 1, (b) 게임모드 2
 Fig. 4. Game contents (a) Game mode 1, (b) Game mode 2

2.4.3 설문평가 결과

표 1은 선정된 환자 15명을 대상으로 프로그램 적용 후 설문조사를 실시한 결과를 보여준다. 설문지 1,2번 항목은 개발된 프로그램과 상관없이 재활훈련이 상지 기능 회복에 도움이 되는지를 확인해보기 위한 항목으로 모든 환자가 재활훈련을 받기 전보다 상지 기능이 회복이 되었다고 응답하였다. 실험에 참여한 대다수의 환자가 기존에 시행했던 재활훈련보다 게임을 활용한 재활치료가 더 재미있었고, 개발된 프로그램을 시행하는 동안 지루함을 전혀 느끼지 않았다고 하였다. 게임을 활용한 재활치료에 전반적으로 만족하며, 상지기능 회복에 도움이 될 것 같다고 응답하였다. 또한 웨어러블 장치를 환부에 착용 및 해체할 때 전혀 불편하지 않았으며, 사용이 쉬웠다고 응답하였다. 추후 개발된 웨어러블 장치와 모바일 게임을 결합한 상지재활훈련 프로그램을 사용하여 재활훈련을 진행할 의사가 있음을 보였다.

표 1. 모바일 재활치료 만족도 질문 결과
Table 1. The result of satisfaction questionnaire of mobile-based rehabilitation

질문항목	Mean (n=15)	Min (n=15)	Max (n=15)
재활치료 전 운동능력을 스스로 평가하면?	2.6	1	5
재활치료 후 운동능력을 스스로 평가하면?	3.6	3	5
기존 작업치료에 비해 게임을 활용한 재활치료가 운동능력 향상에 더 많은 도움이 되었다.	4	3	5
기존 작업치료에 비해 게임을 활용한 재활치료가 재미있었다.	4.4	3	5
게임 조종기 사용이 편리했다.	4.1	2	5
게임을 활용한 재활치료에 만족감을 느낀다.	4.3	3	5
게임을 활용한 재활치료가 재활에 도움이 되었다.	4	3	5
게임을 활용한 재활치료가 진행되는 동안 지루함을 느꼈다.	1.2	1	2
앞으로도 계속 게임을 활용한 재활치료를 받을 생각이 있다.	4.4	2	5

3. 결론

본 연구에서는 뇌손상 환자의 능동적인 재활훈련을 위해 근전도 신호와 모션센서를 기반으로 하는 웨어러블 장치와 모바일 게임을 결합한 재활 훈련 시스템 개발을 제안하였다. 제작된 웨어러블 장치는

소형화와 간편화를 통해 환자에게 편의성을 제공하여 손쉽게 사용할 수 있게 하였다. 근전도 신호를 사용하여 상지 운동의 정량적인 평가와 운동 피드백이 가능하였다. 근전도 신호를 통하여 움켜잡는 행동(grasp motion)인식이 가능하고, 모션센서를 통하여 굴곡(flexion), 신전(extension), 외전(abduction), 내전(adduction)인식이 가능하게 함으로 재활훈련 중 상지뿐 아니라 손가락 재활까지 동시에 진행할 수 있다. 개발된 게임은 뇌손상환자에게 상지 재활에 필요한 동작을 유도하여 게임을 통한 재활을 가능하게 하며, 난이도 조절을 통하여 환자 개개인에 적합한 재활 환경을 제공한다.

개발된 프로그램은 장소의 제약 없이 재활훈련이 가능하고, 환자의 운동수행능력에 적합한 훈련 환경을 제공할 수 있다는 장점을 가진다. 또한 치료사의 의존성을 줄이게 되므로 비용 절감효과를 가져온다는 장점이 있다. 무엇보다 재활과 게임과의 결합을 통하여 환자에게 재활훈련에 대한 흥미와 재미를 제공하여, 동기부여를 통하여 훈련 간 집중력을 높일 수 있다는 점에서 재활에 적극적으로 활용될 수 있을 것이며 더 나은 재활 결과를 기대해볼 수 있다. 설문 조사를 통해 실험 참가자들이 개발된 프로그램에 대한 긍정적인 평가와 추후 프로그램 재사용에 대한 의지를 보였다는 점에서 연구 초기 계획했던 목표에 부합하였다고 생각한다. -

추후 설문 평가가 아닌 상지 기능 평가를 통하여 프로그램 검증 및 개선이 필요하며, 다 채널 근전도 신호 획득 모듈을 이용한 웨어러블 장치 개발을 통하여 단일 채널 근전도 획득 모듈을 이용한 프로그램보다 더욱 다양하고 정확한 상지 근력 평가 및 동작 의도 파악을 통하여 보다 정확한 상지 기능 파악 및 재활 효율 검증이 가능할 것으로 예상된다. 본 연구에서는 뇌손상 후 상지 기능저하 환자의 재활훈련에 초점을 맞추어 시스템을 개발하였지만, 프로그램의 유연성을 확장한다면 뇌손상 후 편마비 경우에만 국한되는 것이 아니라 중추 또는 말초신경 근육 질환 등으로 재활운동치료가 요구되는 다른 경우에도 적용할 수 있을 것이다.

REFERENCES

[1] Nakayama, H., et al., Compensation in recovery of upper extremity function after stroke: the Copenhagen Stroke Study. Arch Phys Med Rehabil., vol. 75, no. 8, pp. 852-7, 1994.
[2] Luke, C., K.J. Dodd, and K. Brock, Outcomes of

the Bobath concept on upper limb recovery following stroke. Clin Rehabil, vol. 18, no. 8, pp. 888-898, 2004.

- [3] Gillot, A. J., Holder-Walls A., Kurtz J. R. and Varley N. C, "Perceptions and experiences of two survivors of stroke who participated in constranint-induced movemnet therapy home programs", Am J occu ther, vol. 57, no. 2, pp. 168-176, 2003.
- [4] Pang, M.Y., J.J. Eng, and W.C. Miller, Determinants of satisfaction with community reintegration in older adults with chronic stroke: role of balance self-efficacy. Phys Ther, vol. 87, no. 3, pp. 282-291, 2007.
- [5] de Haan, R., et al., Measuring quality of life in stroke. Stroke, vol. 24, no. 2, pp. 320-327, 1993.
- [6] Duncan, P.W., et al., Similar motor recovery of upper and lower extremities after stroke. Stroke, vol. 25, no. 6, pp. 1181-1188, 1994.
- [7] Oujamaa, L., et al., Rehabilitation of arm function after stroke. Literature review. Ann Phys Rehabil Med, vol. 52, no. 3, pp. 269-293 2009.
- [8] Langhorne, P., J. Bernhardt, and G. Kwakkel, Stroke rehabilitation. Lancet, vol. 377, no. 9778, pp. 1693-1702, 2011.
- [9] Harmsen, P., et al., Risk factors for stroke in middle-aged men in Goteborg, Sweden. Stroke, vol. 21, no. 2, pp. 223-229, 1990.
- [10] J. Chae, F. Bethoux, T. Bohine, L. Dobos, T. Davis, and A. Friedl, "Neuromuscular stimulation for upper extremity motor and functional recovery in acute hemiplegia," Stroke, vol. 29, no. 5, pp. 975-979, 1998.
- [11] M. I. P. Lourenção, L. R. Battistella, C. M. M. de Brito, G. R. Tsukimoto, and M. H. Miyazaki, "Effects of biofeedback accompanying occupational therapy and functional electrical stimulation in hemiplegic patients," International Journal of Rehabilitation Research, vol. 31, no. 1, pp. 33-41, 2008.
- [12] Lance JW. "Comtrol of muscle tone, re exes and movement: Robert Wartenberg Lecture", Neurology, 30 pp. 1303-13, 1976.



임 홍 준(Lim Hong Joon)

2016년 2월 계명대학교 의용공학과 학사졸업
 2017년 8월 계명대학교 의학과 의용공학전공 석사졸업
 2017년 8월 - 현재 메카솔루션 선임 연구원

Interst : Rehabilitation, Signal Processing, Virtual reality



강 윤 주(Kang Youn Joo)

2011년 8월 연세대학교 의과대학 의학과 박사
 2013년 2월 - 현재 을지 의과대학 재활의학과 부교수

Interst : stroke rehabilitation, virtual reality, EMG



송 제 영(Song Je young)

2007년 2월 건양대학교 작업치료학과 학사졸업
 2017년 - 현재 을지대학교 을지병원 재활치료실 근무

Instrest : Cognitive therapy, Dysphagia therapy



이 민 봉(Lee minbong)

2013년 2월 극동대학교 작업치료학과 학사졸업
 2017년 - 현재 을지대학교 을지병원 재활치료실 근무

Instrest : Cognitive therapy, Dysphagia therapy



오 지 은(Oh Ji Eun)

2016년 2월 건양대학교
작업치료학과 학사졸
업
2017년 - 현재 을지대학교
을지병원 재활치료실
근무

Instrest : Dysphagia therapy,
Cognitive therapy



구 정 훈(Jeonghun Ku)

2005년 2월 한양대학교 의용
생체공학과 박사
2010년 9월 - 현재 계명대
학교 의용공학과 조
교수

Instrest : Rehabilitation device, Virtual Reality,
Brain mechanism, Biosignal
processing