Journal of Biomedical Engineering Research 40: 223-229 (2019)
http://dx.doi.org/10.9718/JBER.2019.40.6.223

학 술 논 문

단계별 무릎 재활을 위한 근전도 및 관성센서 피드백 기반 외골격 시스템 개발

김종운[1‡] · 김가을[1‡] · 지영범[1] · 이아람[1] · 이현주[2*] · 태기식[1*]

[1]건양대학교 의공학부, [2]건양대학교 물리치료학과

Development of a Knee Exoskeleton for Rehabilitation Based EMG and IMU Sensor Feedback

Jong Un Kim[1‡], Ga Eul Kim[1‡], Yeong Beom Ji[1], A Ram Lee[1], Hyun Ju Lee[2*] and Ki Sik Tae[1*]

[1]Department of Biomedical Engineering, Konyang University, Daejeon, Republic of Korea
[2]Department of Physical Therapy, Konyang University, Daejeon, Republic of Korea
(Manuscript received 10 October 2019 ; revised 21 October 2019 ; accepted 22 October 2019)

Abstract: The number of knee-related disease patients and knee joint surgeries is steadily increasing every year, and for knee rehabilitation training for these knee joint patients, it is necessary to strengthen the muscle of vastus medialis and quadriceps femoris. However, because of the cost and time-consuming difficulties of receiving regular hospital treatment in the course of knee rehabilitation, we developed knee exoskeleton using rapid prototype for knee rehabilitation with feedback from the electromyogram (EMG) and inertia motion unit (IMU) sensor. The modules was built on the basis of EMG and an IMU sensor applied complementary filter, measuring muscle activity in the vastus medialis and the range of joint operation of the knee, and then performing the game based on this measurement. The IMU sensor performed up to 97.2% accuracy in experiments with ten subjects. The functional game contents consisted of an exergaming platform based on EMG and IMU for the real-time monitoring and performance assessment of personalized isometric and isotonic exercises. This study combined EMG and IMU-based functional game with knee rehabilitation training to enable voluntary rehabilitation training by providing immediate feedback to patients through biometric information, thereby enhancing muscle strength efficiency of rehabilitation.

Key words: Knee rehabilitation, Vastus medialis, Knee exoskeleton, Electromyogram (EMG), Inertia motion unit (IMU), Complementary filter, Isometric exercise, Isotonic exercise

I. 서 론

무릎 질환자 수와 함께 무릎관절 수술 건수가 2011년 44,385건에서 2017년 66,588건으로 증가하면서[1], 수술 전후 무릎 재활의 중요성이 강조되고 있다. 무릎관절 수술 환자의 일반적인 재활훈련은 초기에 관절가동범위(ROM: range of movement)를 확보한 후 등척성, 등장성, 등속성 운동을 이용한 무릎관절 주위 근력강화 훈련 중심으로 진행된다[2]. 수술 후 초기에 무릎관절의 가동범위 증가 훈련을 시행하는 것은 일상생활 복귀 및 적응 시간을 단축할 수 있기 때문에[3], 재활훈련에 있어 중요한 목표가 된다. 무릎 관절의 가동범위 확보 후 시행되는 근력강화 운동에서 넙다리네갈래근(quadriceps

Corresponding Author : Hyun-Ju Lee
Dept. of Physical Therapy, Konyang University, 158 Gwanjeodong-ro, Seogu, Daejeon, 35365, Republic of Korea
Tel : +82-10-9947-5761, +82-42-600-8453
E-mail : leehj@konyang.ac.kr
Corresponding Author : Ki-Sik Tae
Dept. of Biomedical Engineering, Konyang University, 158 Gwanjeodong-ro, Seogu, Daejeon, 35365, Republic of Korea
Tel : +82-10-7204-7727, +82-42-600-8518
E-mail : tae@konyang.ac.kr
‡Contributed equally to this work.
이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-현장맞춤형 이공계 인재양성 지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2018025568).

femoris)의 강화는 중요하며[4], 이 중 안쪽빗넓은근(vastus medialis)은 무릎 안쪽 지지대로서 무릎관절의 Q각과 무릎뼈(patella)의 활시위로 발생되는 생체역학적 불리함으로 인해 쉽게 근 약화되는 경향이 있다. 안쪽빗넓은근의 약화는 무릎 가쪽의 강한 활시위 힘을 견제하지 못해 무릎뼈의 부정렬과 염증 및 통증을 유발할 뿐만 아니라 무릎관절의 마지막 15~20° 폄을 힘들게 하여 관절가동범위의 확보를 방해한다[5]. 따라서 안쪽빗넓은근에 대한 체계적이고 집중적인 강화 운동이 요구된다. 무릎의 근력강화 운동은 무릎관절의 안정성 확보와 무릎뼈의 이동경로 이탈 방지, 관절각도에 따라 외적 토크에 따른 근육의 내적 토크 활성화를 목적으로 한다. 이는 환자의 통증 및 염증을 감소시키고, 일상생활 동작을 통해 삶의 질을 증가시키는데 중요하다. 또한 무릎 폄 근육은 두 관절 근육(two joint muscle)으로 되어 있어 무릎뿐만 아니라 엉덩관절의 움직임에도 영향을 미치기 때문에 서기와 걷기와 같은 기능적 움직임에도 영향을 미친다[6]. 근력 강화를 위해 시행되는 등척성 운동(isometric exercise)은 관절의 움직임 즉 근육의 길이가 변화하지 않는 상태에서 근수축을 유지하는 운동으로 관절가동 범위의 제한이 있거나 초기 근력증가를 위해 활용된다. 또한 등장성 운동(isotonic exercise)은 근육의 길이가 길어지거나 짧아짐으로써 근수축을 유지하는 운동으로 관절의 각도에 따라 내적 토크와 외적 토크의 변화가 발생하며 근력과 지구력 증가를 유도하여 재활에 필수적으로 사용된다[7].

최근 근활성도를 측정하고 이를 통해 피드백 훈련을 함으로써 근력을 강화하는 방법으로써 근전도(electromyogram: EMG)가 추천된다. 이때 얻어지는 근활성도를 이용하면 훈련의 강도와 시간, 반복횟수 등을 조절하여 효과적인 근력 강화 운동을 시행할 수 있다. Dursun 등의 연구에서는 근전도를 활용한 재활훈련에 시각적 피드백으로써 접목하면 무릎관절의 기능이 향상되고 통증 강도도 낮아진다고 하였다[8]. 하지만 이러한 재활훈련은 환자의 적극적인 참여를 유도하기 어려워 도중에 중단되는 경우가 많다[9-11]. 이를 해결하기 위한 방안으로는 기능성 게임이 있으며[12,13], 일반적인 게임이 추구하는 즐거움뿐만 아니라 달성하고자 하는 특정 목적을 가지기 때문에 근전도와 접목하여 재활치료에 활용한다면 환자의 의욕저하로 인해 발생하는 자발적 훈련의 부족 문제를 해결할 수 있고, 더 나아가 재활훈련의 효율을 높일 수 있을 것이다[14]. 또한 최근 기능성 게임과 근전도를 접목한 재활훈련 중 환자에게 시각적으로 피드백을 제공하는 것이 환자의 자발적 의지를 높여 재활의 효과를 증가시킨다는 연구결과가 잇따라 보고되고 있다. Nadia 등과 Ganesan 등은 재활훈련에서 근전도(electromyogram: EMG)를 이용한 기능성 게임을 통해 근 상태를 시각적으로 제공하는 것이 환자의 동기부여에 기여할 수 있다는 것을 보고 하였다[15,16]. 기능성 게임에서 근전도를 시각적 피드백 요소로 사용할 뿐만 아니라 게임의 제어 요소로도 사용한다면 환자의 자발적이고 적극적인 참여를 유도하여 근력 향상에 도움이 될 것으로 보이지만, 아직 이에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 환자의 무릎관절가동범위와 근력 향상을 위해 관성 측정 센서(IMU), 근전도(EMG)를 기반으로 한 무릎 외골격 시스템을 개발하고 시각적 피드백이 가능한 기능성 게임과 이와 연동하여 실제 단계별 재활에 이용할 수 있는 홈 케어 시스템을 개발하고자 하였다.

II. 시스템 제작 및 결과

1. 무릎 재활 외골격 시스템

(1) 관성센서를 이용한 각도 측정

본 연구에서 기기 개발에 사용된 관성 측정 센서(LSM9DS0, STMicroelectronics, Switzerland)는 4×4×1.0 mm이며 전원 차단 모드/저전력 모드가 가능하다. 관성 계측장치에는 3축 가속도계와 3축 각 속도계가 내장되어 있어 진행 방향, 횡방향, 높이 방향의 가속도와 롤링(roll), 피칭(pitch), 요(yaw) 각속도의 측정이 가능하며, 관성 센서로부터 얻어지는 가속도와 각속도를 적분하여 이동 자세에 따른 데이터를 산출하여 무릎의 관절가동범위를 측정하였다.

관성 센서의 가속도는 저주파 영역에서 응답특성이 좋다.

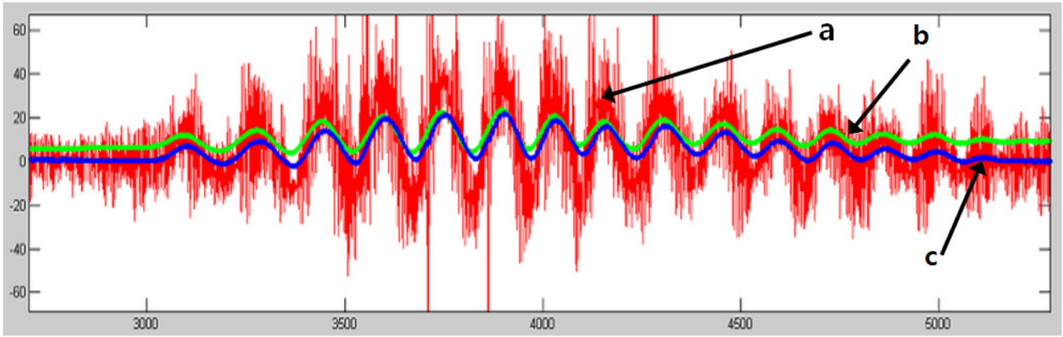


그림 1. (a) 가속도, (b) 각속도, (c) 상보 필터 파형
Fig. 1. (a) Acceleration, (b) gyroscope (b) and (c) complementary filter waveforms

하지만 그림 1의 a와 같이 미세한 진동에도 반응하여 노이즈를 발생시키기 때문에 동작 시간에 따른 일정한 주기의 평균값으로 데이터를 계산하여야만 유의미한 데이터를 얻을 수 있다. 그림 1의 b를 나타내는 각속도는 고주파 영역에서 응답특성이 좋지만 오랜 시간에 걸친 측정에서는 오차들이 쌓여 정확한 데이터를 측정할 수 없는 문제가 발생한다. 이러한 센서들의 단점을 보완하기 위해 서로의 부족한 부분을 보충하여 값을 추출해 내는 방법인 상보 필터(complementary filter)를 이용하여 식 (1)과 같이 angle 값을 조정해 주었다. 그림 1의 c는 상보필터 신호를 나타낸다[17].

$$\angle = 0.98*(\angle + \mathrm{GyroData}*dt) = 0.02*(\mathrm{AccelData}) \quad (1)$$

상보필터가 적용된 센서에 대한 성능평가를 진행하기 위해 시스템의 주요 기능으로 각도의 정확도를 측정하기 위한 실험을 진행하였다. 대상자는 과거 무릎 관절 질환 병력이 없는 정상 성인 10명을 대상으로 하였으며, 측정 방법은 초기 각도(initial Angle) 값을 130°로 설정한 후 피실험자의 무릎에서 측정된 각도(measurement angle) 값과 비교를 식 (2)와 같이 오차율을 백분율로 변환하여 표기하였다. 오차율에 따른 시스템 성능(system performance)을 통해 외골격 시스템의 정확성은 약 97.2%를 나타냄을 확인할 수 있었다. 표 1은 실험 대상자의 신체 정보 및 실험 결과를 나타낸다.

$$\text{System performance (\%)} = \left\{1-\left|\left(\frac{\text{Initial angle}-\text{Measurement angle}}{\text{Initial angle}}\right)\right|\right\}\times 100 \quad (2)$$

(2) EMG 센서를 이용한 근활성도 측정

근활성도를 활용한 시각적 피드백 재활훈련 기기 개발을 위해 사용된 EMG 센서(EMG sensor module, Kong Tech, 한국)는 3.8 cm×3.8 cm의 크기로 기존의 전극 패드를 와이어로 연결해야 하는 불편함을 해소하였고, smooth 필터를 적용하여 출력 데이터 처리가 용이한 센서이다. 이는 무릎의 안쪽넓은근에 부착시켜 센서에 의해 측정된 근수축 시 활성 및 비활성 신호를 전송하여 근력 강화를 위한 운동 게임과 연동하게 된다.

본 연구에서 자료의 기록은 안쪽넓은근에서의 표면 근전도를 이용하고 처리는 Arduino Nano를 이용하여 근활성도를 측정하였다. 디지털 신호처리부로 신호를 전달하기 전에 아날로그 형태의 생체신호를 디지털 신호로 변환하기 위해서는 ADC가 필수적이므로 이를 통해 0~1023까지의 수치로 변환하였다.

센서에 의해 측정된 근활성도는 게임의 오브젝트를 움직이는 것에 이용되며 근육이 활성되는 정도에 따라 게임 오브젝트의 화면 속에서의 위치가 달라지게 하였다. 또한, 측정된 근활성도는 모니터와 같은 시각적 장치를 통해 실시간으로 제공해 줌으로써 평소 자각하기 어려운 자신의 생체 정보를 스스로 확인하며 재활훈련을 진행할 수 있다.

(3) BLE 통신

본 연구에서는 IMU 모듈과 EMG sensor의 신호를 SPI 통신으로 전송하기 위해 Arduino Nano와 HM-10 모듈을 사용해 통신 하드웨어를 구성하였다. 데이터 자료를 수집한 하드웨어는 구현을 위해 모바일 기기와의 통신이 가능해야 한다. 통신과정에서 BLE를 이용한 통신을 실시함으로써 기존 Bluetooth Basic보다 저전력 방식 시스템을 구축하였다. 표 2는 Bluetooth 모듈의 소비 전력을 나타낸다.

(4) 무릎 재활 외골격 시스템 설계

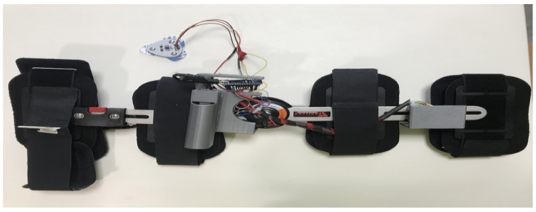
무릎 재활 외골격 시스템은 무게는 1.040 g으로 사이즈는

표 1. 상보필터를 적용한 관성측정 센서의 정확도 평가
Table 1. System evaluation of IMU using complementary filter

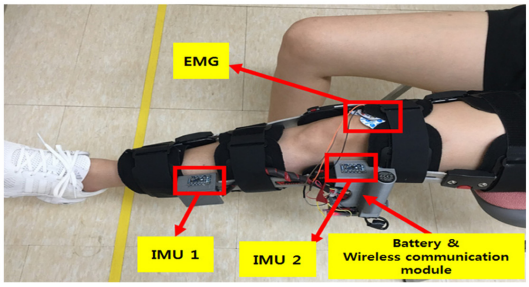
Subjects	Gender	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Initial Angle (°)	Measurement Angle (°)	System Performance (%)
1	Female	23	170	55	130	131	99.23
2	Male	26	174	72		134	96.92
3	Male	24	175	70		138	93.84
4	Male	26	173	57		136	95.38
5	Female	24	159	52		133	97.69
6	Male	24	178	64		132	98.46
7	Male	23	169	55		125	96.15
8	Male	23	165	55		132	98.46
9	Male	26	185	83		129	99.23
10	Male	28	178	72		134	96.92
		24.7±1.7	172.6±6.9	63.5±10.3		132.4±3.6	97.2±1.7

표 2. Bluetooth Basic과 BLE의 소비 전력
Table 2. Consumption power of bluetooth basic and BLE

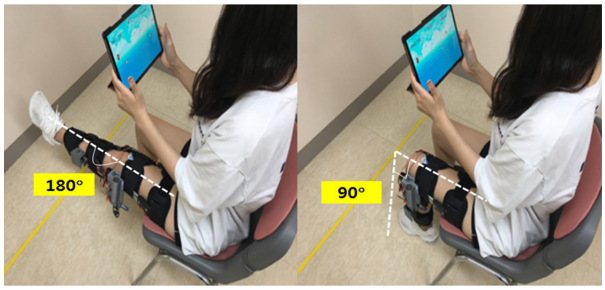
	Bluetooth Basic	BLE
Consumption power	1W (as the reference)	0.01W-0.50W (depending on use case)



(a) 무릎 재활 외골격 시스템 착용 전



(b) 무릎 재활 외골격 시스템 착용 후



(c) 착용 후 운동게임 모습

그림 2. 무릎 재활 외골격 시스템 (a) 착용 전, (b) 후, (c) 운동게임 장면
Fig. 2. (a) Before, (b) after and (c) exergaming state wearing knee exoskeleton

50 cm에서 65 cm까지 총 7단계의 선택이 가능하기 때문에 다양한 환자들에게 사용될 수 있도록 제작되었다. 또한 무릎의 각도를 제한시킬 수 있는 잠금 장치가 내장되어있기 때문에 무릎관절의 운동 범위를 제한시켜 단계별로 재활이 가능하고, 무릎관절면 안정성을 유지시켜 이탈을 방지하며, 올바른 자세를 유지할 수 있는 보조기기로 사용 가능하다. 무릎의 각도와 안쪽빗넓은근의 근활성도를 측정하기 위해 본 연구에서는 무릎 보조기기와 IMU 2개, EMG 1개를 사용하여 게임을 통한 무릎 재활훈련이 가능한 외골격 시스템을 제작하였다(그림 2).

그림 3은 본 시스템의 개요도를 보여준다.

2. 게임 콘텐츠 개발

(1) 게임개요

본 연구에서는 개발된 무릎 재활 외골격 시스템을 활용해

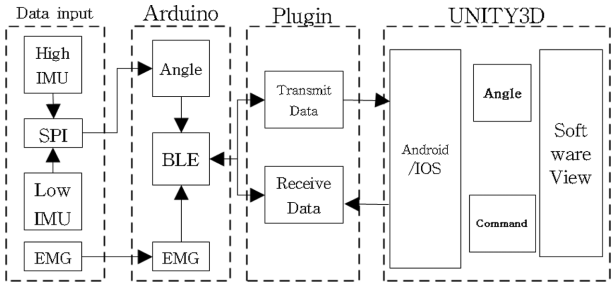


그림 3. 무릎 재활 외골격 시스템 구성도
Fig. 3. Configuration of knee exoskeleton system for rehabilitation

재활치료를 위한 게임 콘텐츠를 개발하였다. 게임은 UNITY 프로그램(Ver. 2018.3.0f2, Unity Technologies, USA)을 통해 개발하였고 게임은 안드로이드 OS를 기반 App으로 제작하여 휴대기기로 다운받아 게임을 할 수 있도록 하였다.

게임은 기본적으로 무릎 재활 환자를 위한 운동 중 '앉아서 무릎 굽혔다 펴기' 운동을 통해 얻어지는 무릎 각도와 사용하는 근육의 활성도를 각각 측정한 센서값들을 게임 요소로 사용하였다. 이는 제작한 무릎 재활 외골격 시스템의 IMU와 EMG 센서로 각각 측정하였고 이를 통해 얻어진 데이터들은 블루투스를 사용하여 실시간으로 게임과 연동되도록 제작하였다. 그리고 무릎 재활운동을 위한 등장성 운동과 등척성 운동을 번갈아서 시행할 수 있도록 게임 콘텐츠를 설계하였다. 게임은 2가지 모드로 나누어 구성하였는데 근력이 거의 없는 무릎 재활 초기 환자에게는 IMU 기반의 게임을, 무릎 재활을 통해 근력이 어느 정도 돌아온 환자에게는 EMG 기반의 게임을 선택할 수 있게 하였다. 그림 4는 게임의 모드를 선택할 수 있는 초기 화면이다.

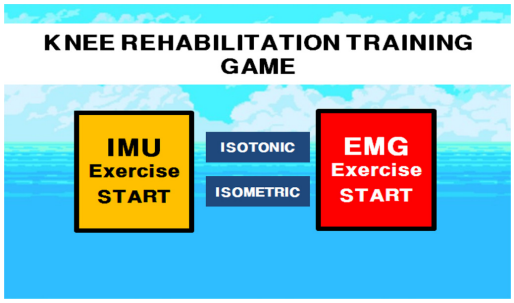


그림 4. 게임 초기 화면
Fig. 4. Initial screen of game

(2) 게임 방식 구성

게임은 기본적으로 2D running game 형태로, 게임 오브젝트(여우 캐릭터)가 왼쪽에서 오른쪽으로 전진해 나아가는 형태로 제작하였고 오른쪽에서 자동으로 등장하는 보상 오브젝트(보석)를 획득하여 점수를 올리는 방식으로 두 모드 동일하게 게임이 진행되게 하였다. 이때 등장하는 보석들은 개발자가 임의로 설정한 위치인 높은 위치, 중간 위치, 낮은 위치로 3가지 높이에 맞춰 등장한다. 이에 따라 사용자는 IMU 혹은 EMG 센서가 부착된 무릎 재활 외골격 시스템을 착용하고 움직임으로부터 얻어지는 각 센서값들을 사용하여 여우 캐릭터를 상하로 이동할 수 있도록 게임을 설계하였다. 그림 5는 게임 내 3가지 위치를 보여준다. 게임에서 등장하는 보석의 위치는 무작위로 나오는 것이 아니라 등장성, 등척성 두가지 운동을 위해 설정된 목표에 도달하기 위한 동기부여가 될 수 있도록 단계별 재활에 따라 난이도가 조절되도록 설정하였다.

(3) 게임모드

첫 번째 'IMU 모드 게임'은 무릎의 굽힘과 폄 운동에 따른 무릎 각도 값을 기반으로 캐릭터를 상하로 움직이는 방식으로 진행된다. 캐릭터의 위치는 무릎을 완전히 폈을 때의 기준을 180° 라고 할 때, 180°~150° 면 높은 위치로 올라가고, 무릎의 각도가 150~100° 일 때는 중간 위치로, 무릎의 각도가 100°~80°면 낮은 위치로 움직여서 캐릭터의 위치에 따라 보석을 얻는 게임으로 설계하였다. 각 각도 범위는 무릎을 구부린 상태에서 펼 때 넙다리 네 갈래근의 내적인 토크가 증가, 유지, 감소됨에 따라 초기, 중간, 끝 범위로 나누었다. 그리고 환자의 무릎 각도를 실시간으로 알려주기 위해 게임 화면 좌측 상단에 표시하였다. 그림 6(a)는 'IMU 모드 게임' 에서의 캐릭터의 움직임과 환자의 실시간 무릎 각도 값을 보여준다. 그림 6(b)는 'EMG 모드 게임'에서의 초기 EMG값이 측정됨을 보여준다. 'EMG 모드 게임'은 무릎의 굽힘 폄 운동을 진행하면서 발생하는 근육의 활성도에 따라 캐릭터를 상하로 움직이는 방식으로 게임이 진행된다. 먼저 EMG 모드를 선택하게 되면 초기에 4초 동안 사용자의 무릎 움직임에 따라 안쪽 넓은 근의 근활성도를 측정하게 된다. 이렇게 측정된 EMG 값을 최소값과 최대값으로 분류하고 여기서 분류한 최대, 최소 EMG 값은 캐릭터 동작을 위한 기준 근활성도로 사용되며 두 값 사이의 범위를 Mapping 하여 캐릭터가 상하로 움직일 때의 범위가 나누어지도록 값을 지정하였다. 이를 통해 개인마다 다른 근활성도의 범위가 나타나도 각 환자에게 알맞은 EMG 범위를 기준 근활성도로 설정하여 진행할 수 있도록 하였다. 그림 6(c)는 'EMG 모드 게임' 에서의 운동 중 EMG 모드의 화면을 보여준다. 초기 EMG 측정이 끝나고 게임이 시작되면 게임 화면 왼쪽 하단에 사용자의 최대 EMG 값과 최소 EMG을 표시하여 사용자는 재활이 진행됨에 따라 최대 EMG 값이 변화함을 직관적인 수치로 확인 할 수 있도록 하였다. 게임 진행 시 실시간으로 측정되는 근활성도가 기준 근활성도 최대 EMG 값의 70% 이상인 경우에는 캐릭터가 높은 위치로 올라가고 기준 근활성도 최소 EMG 값의 140% 이하인 경우에는 캐릭터가 낮은 위치로 내려가며, 이 두 값의 중간범위 값일 때에는 중간 위치로 이동하게 하였다. 게임의 두 모드의 진행방식은 등장성 운동과 등척성 운동의 반복으로 동일하다. 게임에서 이 운동들은 보석의 생성 방식으로 각각 구현하였다. 먼저 등장성 운동을 진행하기 위하여

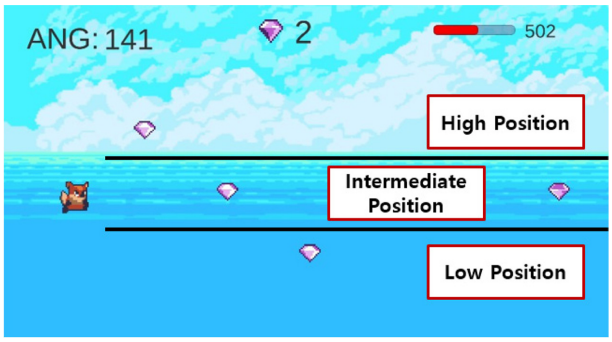


그림 5. 게임 내 3 가지 위치
Fig. 5. Three positions in game

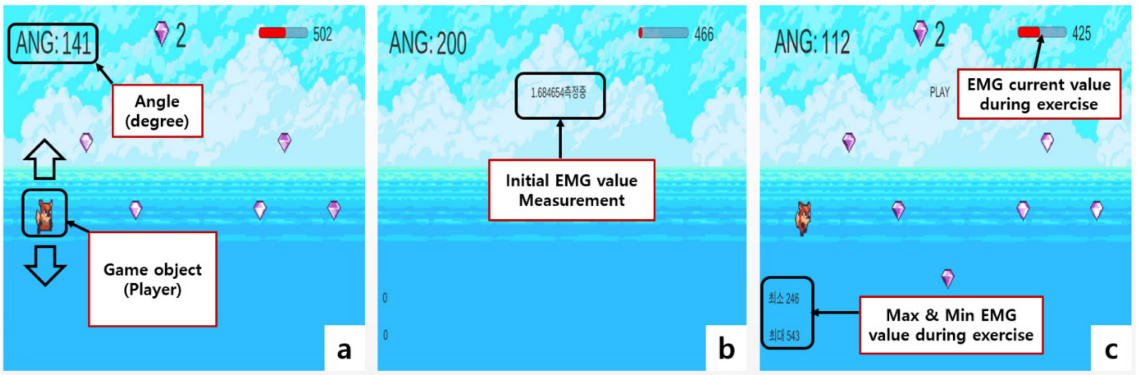


그림 6. 게임 모드: (a) IMU 게임화면, (b) EMG 게임 초기 화면(초기 EMG 값 측정), (c) 운동 중EMG 게임 화면
Fig. 6. Exergame modes: (a) IMU game, (b) EMG game (Initial EMG value measurement) and (c) EMG game during exercise

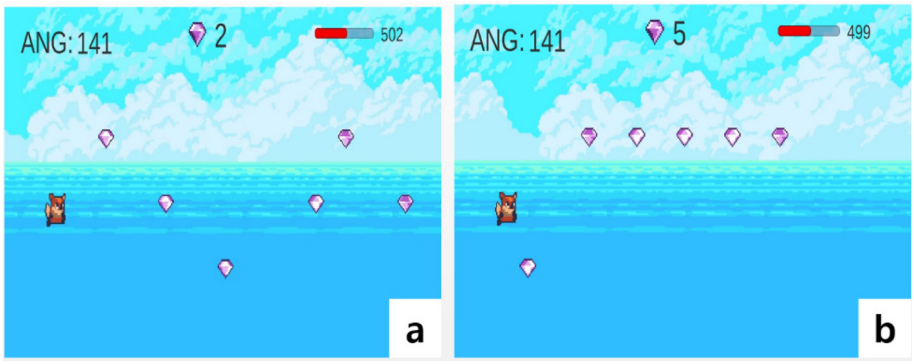


그림 7. (a) 등장성 및 (b) 등척성 운동게임
Fig. 7. (a) Isotonic and (b) isometric exercise in game

보석을 지그재그 형태로 배치되어 나오게 한다. 이때 사용자는 보석을 획득하기 위해 무릎을 굽혔다 폈다 하며 등장성 운동을 실시하게 된다. 등척성 운동은 환자의 상태에 따라 무릎 허용 각도 범위 내 또는 최대 폄 각도에서 일정시간 유지해야만 보석 획득이 가능하도록 재활훈련을 유도하였다. 그림 7은 게임 내 등장성 운동과 등척성 운동 각각에 따른 보석의 생성 방식을 보여준다. 이 게임을 실행하면 '등장성 운동 3번 실행 후 등척성 운동 1번 실행', 그리고 이것이 반복되는 식으로 게임이 진행되며 사용자에 따라 자체적으로 설정할 수 있다. 두 모드는 캐릭터가 일정 이상의 보석을 획득하면 게임이 종료될 수 있도록 설계하였다. 얻을 수 있는 보석을 조절하여 개발한 무릎재활 프로그램의 진행 시간을 조절할 수 있으며, 이는 사용자가 개인에 맞춰서 단계별로 조절할 수 있도록 설계하였다.

III. 결 론

본 연구에서는 무릎 재활훈련을 위한 홈 케어용 외골격형 재활 훈련기기 및 이와 연동하여 시행할 수 있는 EMG와 IMU를 기반 기능성 게임을 개발하였다. 하드웨어 인터페이스는 Arduino Nano, IMU 센서와 EMG, 저전력 블루투스 통신을 이용해 구성하였으며, 이를 무릎 보조기기에 부착하여 웨어러블 무릎 재활 외골격 시스템을 제작함으로써 무릎관절의 재활이 필요한 환자에게 무릎 손상 없이 단계별 관절 안정성 근력운동이 가능하도록 하였다. 또한 하드웨어 인터페이스와 기능성 게임을 저전력 블루투스 통신과 Plug In을 구성하여 연결함으로써 근활성도와 무릎의 각도를 이용해 게임을 진행할 수 있도록 하였다. 이때 무릎각도의 정확성을 위해 상보필터를 적용하였으며 오차율에 따른 시스템 성능을 통해 외골격 시스템의 정확성은 97.2%를 나타냄을 확인하였다.

개발한 기능성 게임은 안쪽빗넓은근의 근력 강화 및 무릎관절의 안정성에 중요한 등척성 운동과 등장성 운동을 반복 진행하도록 하여 환자의 수준별, 단계별 무릎관절의 폄과 굽힘을 유도하였고, 환자가 그 동작을 집중적으로 몰입할 수 있도록 게임요소를 삽입하였다. 또한 그래프로 시각화 하여 근활성도를 피드백 함으로써 재활의 효율을 높이고, 얻은 보석의 개수를 통해 흥미를 느낌으로써 동기부여가 될 수 있도록 구성하였다. 재활의 경과에 따라 IMU 모드와 EMG 모드 중 하나를 선택하여 환자가 단계별로 무릎관절 재활을 진행할 수 있도록 하였다.

근전도와 관성센서 피드백 기반 무릎 재활 외골격 시스템은 근전도를 통해 시각 피드백이 가능한 기능성 게임으로써 무릎 질환 환자들의 재활운동 효율을 높이고, 관성 센서를 통해 각도에 따른 정확한 운동을 제시함으로써 가정에서도 단계별 재활운동이 가능하도록 환경을 제공이 가능할 것으로 사료되며 차후 임상에 활용 가능할 것으로 판단된다.

References

[1] Korean Statistical Information Service. "Rank by frequency of disease surgery". 2013-2016.
[2] Kang DH, Yu IY, Lee GC. The Effects of Knee Extensor Flexor Muscle Strength and Joint Position Sense in Squat Exercise on Variety Surface. Journal of the Korean Society of Integrative Medicine. 2013;1(2):47-57.
[3] Park SJ, Song GS, Lee HJ, Tae KS. Development and Usability Evaluation of a Functional Game Based on Inertial Sensor for Knee Rehabilitation in Total Knee Arthroplasty Patient. Journal of rehabilitation welfare engineering & assistive technology. 2019;13(2):127-33.
[4] Lewek M, Rudolph K, Axe M, Snyder-Mackler L. The effect of insufficient quadriceps strength on gait after anterior cruciate ligament reconstruction. Clinical Biomechanics 2002; 17(1):56-63.
[5] Meira EP, Brumitt J. Influence of the hip on patients with patellofemoral pain syndrome: a systematic review. Sports Health. 2011;3(5):455-65.
[6] Neumann DN. Kinesiology of the Musculoskeletal System 3rd ed. Mosby. 2016.

[7] Shin SY, Jung YH, Lee KH, Kang JK. Muscle Strength Following Short Term Isometric And Isotonic Exercise. Journal of Korean Physical Therapy Science. 1999;6(4):167-71.
[8] Dursun N, Dursun E, Kilic Z. Electromyographic biofeedback–controlled exercise versus conservative care for patellofemoral pain syndrome. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2001;82(2):1692-5.
[9] Burke JW, Mcneill MDJ, Charles DK, Morrow PJ, Crosbie JH, McDonough SM. Optimizing engagement strategies for stroke rehabilitation using serious games. Journal the visual computer. 2009;25(12):1085-99.
[10] Duncan PW, Horner RD, Reker DM, Samsa GP, Hoenig H, Hamilton B, Laclair BJ, Dudley TK. Adherence to post-acute rehabilitation guidelines is associated with functional recovery in stroke. Stroke. 2002;33(1):167-77.
[11] Beeker MH. Patient Adherence to prescribed therapies. Medical Care. 1985;23(5):539-55.
[12] Rego PA, Moreira PM, Reis LP. Serious games for rehabilitation: A survey and a classification towards a taxonomy, Information systems and technologies (CISTI) 5th conference, 2010.
[13] Christian S, Thomas P, Hannes K, Full body interaction for serious games in motor rehabilitation. Proceedings of the 2nd augmented human international conference. 2011.
[14] Saponas TS, Tan DS, Morris D, Balakrishnan R, Turner J, Landay A. Enabling Always-Available Input with Muscle-Computer Interfaces. Proceedings of the 22nd annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. 2009;167-76.
[15] Nadia GH, Karen GM, Vicente PV, Armando AS, Laura CA. Development of an EMG-based exergaming system for isometric muscle training and its effectiveness to enhance motivation, performance and muscle strength. International Journal of Human-Computer Studies. 2019;124:44-55.
[16] Ganesan Y, Gobee S, Durairajah V. Development of an Upper Limb Exoskeleton for Rehabilitation with Feedback from EMG and IMU Sensor. Procedia Computer Science. 2015;76:53-9.
[17] Thomas S, Jörg R, Thomas S. IMU-Based Joint Angle Measurement for Gait Analysis. Sensors. 2014;14:6891-909.