

가상현실기술을 이용한 경사침대에서의 자세제어훈련에 관한 연구

이정수, 김현석, 정정호, 정진석, 김동욱, 김남균*
 전북대학교 대학원 의용생체공학과
 전북대학교 의과대학 의공학과*

Postural Balance Rehabilitation using Virtual Reality Technology

J.S.Lee, H.S.Kim, K.H.Chong, J.S.Jeong, D.W.Kim, N.G.Kim*
 Department of Biomedical Engineering graduated school, Chonbuk National University
 Department of Biomedical Engineering, College of medicine, Chonbuk National University*

Abstract

We proposed a new system for the postural balance rehabilitation training. For the purpose, we used the virtual hiking system using virtual reality technology. We evaluated the system by measuring the parameters such as path deviation, path deviation velocity, cycling time, and head movement.

From our results, we verified the usefulness of virtual reality technology in rehabilitation. Our results showed that this system was effective postural balance rehabilitation training device and might be useful as the clinical equipment.

서론

뇌손상과 중추신경계의 기능 손상으로 인하여 인지능력, 운동감각 등에 어려움을 겪는 환자가 증가하고 있어 이들의 사회복귀를 위한 재활훈련의 필요성은 날로 증가하고 있다^[1,2,3,4]. 이러한 환자의 재활치료를 위한 기존의 장비로는 근력을 길러주는 장치나 힙판과 같은 컴퓨터 모니터를 보며 자세균형훈련을 하는 장치들이 있었다. 그러나 이들은 자세균형재활에 필요한 시각, 전정기관, 체성감각등을 통합적으로 자극하지 못하고 있어 효과적인 재활훈련에는 미흡하였다. 또한, 기술한 바 있던(96년 대한의용생체공학회 춘계학술대회) 자전거를 이용한 가상하이킹 시스템과 같은 재활장비는 환자가 똑바로 서거나 어느정도 보행이 가능한 환자에게 적용이 되기 때문에 설 수조차도 없는 환자에게는 적당한 재활장비가 없는 실정이다.^[7,8]

이에 본 연구에서는 가상현실감 기술과 평형판을 이용한 가상 하이킹 시스템(Virtual Hiking System)을 만들어 피험자로 하여금 경사침대에 누워서 훈련을 받을 수 있도록 하여 감각의 통합자극을 통한 평형감각과 보행감각의 유지는 물론 보행시 필요한 기초적인 근력을 기를 수 있도록 하였다.

또한, 가상환경 속에 있는 피험자로 하여금 실제환경에 들어와 있는 듯한 느낌을 주어 가상환경에 몰두하게 함으로써 피훈련자의 훈련시 단조로움을 피할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 가상현실기술과 평형판을 이용한 가상 하이킹 시스템을 개발하고 이 시스템의 재활훈련에의 유용성을 검토하고자 한다.

시스템구성 및 실험방법

1. 시스템 구성

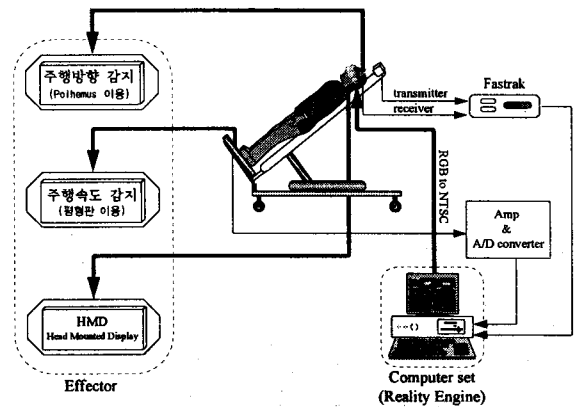


그림 1. 시스템 구성도
 Fig. 1. System configuration

본 시스템은 그림 1에서 보는 바와 같이 효과 발생기인 이펙터(Effector)와 그래픽 구동장치인 리얼리티엔진(Reality Engine)으로 구성된다. 이펙터(Effector)는 피험자에게 시각자극을 주는 HMD(Head Mounted Display)와 이미지의 주행속도와 주행방향을 제어해 줄 평형판과 Fastrak™으로 구성된다.

리얼리티 엔진(Reality Engine)부는 모의환경을 제공하는 가상현실프로그램과 이 프로그램을 구동시킬 수 있는 컴퓨터시스템으로 구성된다. 가상현실 프로그램은 C++언어를 주로 사용하였으며, 주행속도를 향상과 끊기지 않는 display 효과를 위해 화면 출력 루틴(Routine)을 어셈블리(Assembly)언어로 구성하여 자전거로 하이킹을 하는 가상공간을 구성하였다.

또한, CBES 100kg type의 로드셀 4개로 구성된 평형판으로 부터의 출력 신호를 증폭하기 위한 증폭기와 이 신호를 컴퓨터에 입력시켜주는 A/D 컨버터와 머리의 움직임을 측정하기 위한 3차원 위치 측정기인 Fastrak™가 있다.

가상공간의 구성은 시야의 중앙부에 직선도로, 곡선도로 각각 약 500m의 도로가 있고 그 주위에는 풀밭의 이미지가 있다. 그리고 도로와 풀밭과의 경계를 따라 가로등이 서 있으며 배경이미지는 지평선부근에 원근효과를 증가시키기 위해 산과 구

름이 떠있는 파란하늘의 이미지로 구성되어 있다. 피험자는 이러한 공간속에서 가상의 하이킹을 하게 된다.

시스템의 구성에서 주행방향은 머리의 좌우 회전을 측정하여 가상 주행의 진행방향을 결정하였고, 이 측정은 Fastrak 을 이용하였다. Fastrak 의 원리는 transmitter 에 의해 자기장이 형성되면 receiver 가 3 차원 위치를 측정하게 된다. 이 값은 RS-232C 를 통해 컴퓨터에 입력된다. HMD 는 Virtual I/O 사의 I-glasses 를 이용하였다. 이 I-glasses™는 최고 640 × 480 의 해상도를 나타내며, 가볍고 쓰기 편하다는 장점을 가지고 있다. 이 HMD 는 두 개의 LCD 와 렌즈 등으로 구성되며, 컴퓨터로부터 이미지 입력을 받게 된다. 이미지 입력은 RGB 신호를 NTSC 신호로 바꾸어 주는 컨버터를 거치게 된다.

주행속도는 평형판을 이용한다. 평형판은 4 개의 로드셀로 구성되며, 각각의 신호를 증폭하게 된다. 증폭된 신호는 A/D 컨버터를 거쳐 컴퓨터에 입력된다. 평형판을 눌렀을 때, 오른발과 왼발에 누르는 힘의 차이가 생기게 되고 이를 가상페달의 움직임으로 인식하도록 한다. 즉, 왼발에 더 힘을 가하고, 오른발에 약하게 힘을 가하면 왼쪽페달을 구르는 것으로 인식하도록 한다. 이와 마찬가지로 그 반대는 오른쪽 페달을 구르는 것으로 가정하게 된다.

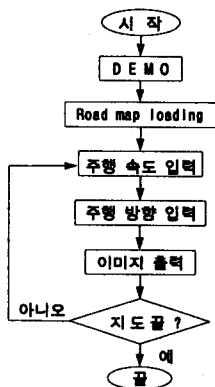


그림 2. 시스템 흐름도
Fig. 2. The flow chart of the system

그림 2는 VR 시스템의 흐름도로 우선 지도가 불러지고 주행속도, 주행방향, 그리고 Fastrak 의 receiver 위치를 측정한 후, 측정된 값에 의해 가상주행도로의 이미지가 출력되고 지도가 끝났는지 확인한다. 지도가 끝나면 프로그램이 종료되고, 끝나지 않았으면 다시 주행속도, 주행방향을 입력받게 된다.

2. 실험방법

본 실험은 그림 1의 시스템 구성도에서 보는 바와 같이 피험자는 경사침대에 누워서 실험을 하게 된다. 머리에는 HMD 를 착용하고 머리의 중앙에 3 차원 위치 측정기인 Fastrak 를 설치하였다. 경사침대의 발판에 평형판을 설치하여 가상주행도로인 직선도로, 곡선도로를 주행하게 하였다.

피험자는 20 세 이상의 건강한 성인을 대상으로 하였으며 주행횟수는 직선도로와 곡선도로를 각각

4 번씩 반복주행하도록 하였으며, 가상공간의 주행도로에의 적응과 설명을 위해 실험전에 2 회~ 3 회 주행하도록 하였다. 또한, 경사침대의 각도는 0°, 45°, 90°로 하여 각각 실험하였다.

각각의 도로에는 중앙선을 표시하였고, 가능한 한 가상공간에서 피험자의 위치를 나타내는 화면의 붉은 점을 그 중앙선에 맞출 수 있게 머리를 좌우로 회전시키도록 피험자에게 요청하였다.

직선도로와 곡선도로를 따라가면서 중앙선 이탈도, 이탈 속도, 주행속도, 주행시 머리의 좌우 움직임 측정하도록 하였다. 이탈도는 붉은점이 도로의 중앙선을 벗어난 정도를 나타내는데, 만일 거동이 불편하여 오랫동안 침대에 의존해 온 환자라면 균형감각을 잃어 버려 이탈도가 클 것이다. 이탈 속도는 이탈도를 시간으로 미분한 값으로 중앙선에서 똑같은 쪽으로 이탈하더라도 머리를 회전시키는 속도에 따라 중앙선 이탈을 빨리 하는지, 느리게 하는지를 판가름하게 하여, 피험자가 어느 정도로 안정감있게 주행하는지를 판단할 수 있는 근거가 될 수 있도록 하였다. 주행속도는 주행하는 데 걸리는 시간을 나타내는 지표로 왼발과 오른발이 평형판을 밟는 시간간격을 나타내준다. 또한 3 차원 위치측정기인 Fastrak 을 이용해 두부의 움직임(x,y,z 방향)을 측정하여 자세균형의 평가지표로 이용하였다.

실험 결과

실험 결과는 경사침대의 각도를 90°로 한 결과를 나타낸다.

그림 3은 직선도로와 곡선도로 각각의 도로를 주행하였을 때의 이탈도를 나타내고 있다. 직선도로의 경우 주행시 이탈은 거의 없음을 보여준다. 그러나 곡선도로에서는 이탈도가 큼을 볼 수 있다. 또한 곡선도로의 훈련전과 훈련후의 이탈도를 보면 주행시간이 단축됨에 따라 이탈의 폭이 커지는 데, 이는 곡선도로의 경우 직선도로보다 주행이 어렵고, 가상 도로의 빠른 변화를 따라가기 위해서는 머리의 좌우회전의 빠른 제어가 필요하기 때문이다. 그러나 훈련을 계속 반복하여 재빨을 계속 진행하면 비록 주행시간이 단축되어 속도는 증가할 지라도 이탈도의 폭은 줄어들 것으로 생각된다.

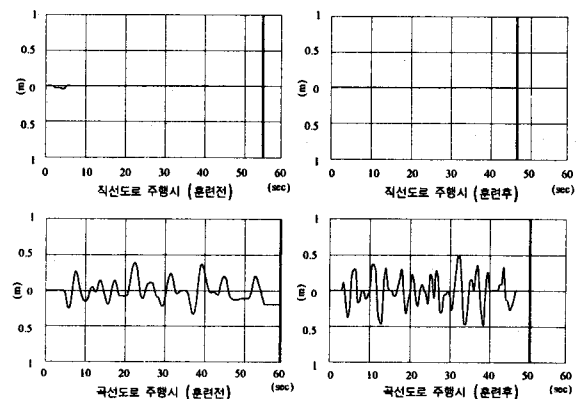


그림 3. 직선도로와 곡선도로 주행시 이탈도
Fig.3. Deviation while driving in the straight and curved road

그림 4는 직선도로와 곡선도로 각각의 도로를 주행하였을 때의 이탈속도를 나타낸다. 이탈 속도도 역시 이탈도와 같은 경향을 보여준다. 그러나 곡선도로 주행시 전정기관에 이상이 있는 환자라면 도로의 display에 따른 전정기관의 자극을 따라가기가 힘들어 급작스런 이탈속도의 변화를 나타낼 것이다.

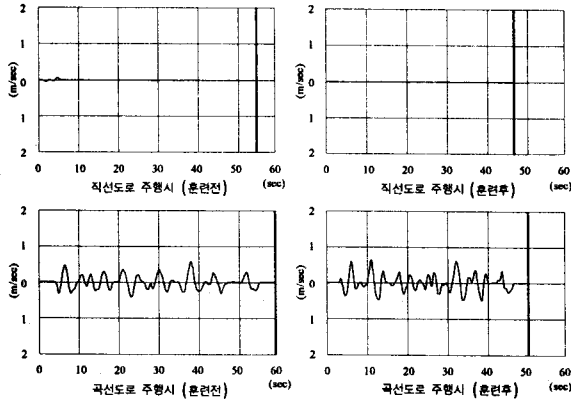


그림 4. 직선도로와 곡선도로 주행시 이탈 속도
Fig. 4. Deviation velocity while driving in the straight and curved road

그림 5에서는 가상현실공간상의 직선도로와 곡선도로를 주행할때 3차원 위치측정기인 Fastrak™을 이용하여 머리의 좌우 방향의 움직임 폭을 측정 한 결과를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 직선도로의 경우보다 곡선도로의 경우 많은 움직임을 가짐을 볼 수 있다. 이는 곡선도로의 경우 길에 따라 올바르게 주행하기 위해서는 직선도로보다 움직임이 커야한다는 것을 시사한다. 따라서 가상환경의 이미지 변화에 따른 전정기관의 자극은 곡선도로의 경우가 효과적이라 할 수 있다. 그러나 직선도로의 경우보다 곡선도로의 경우가 Sway 폭만 클 뿐 훈련을 반복함에 따른 Sway 폭의 차이는 별로 큰 차이가 없었다. 이는 훈련에 따른 향상도를 평가하기는 어렵다고 할 수 있다. 이것은 머리를 경사침대에 대고 실험을 하도록 했기 때문에 생긴 결과라고도 할 수 있다.

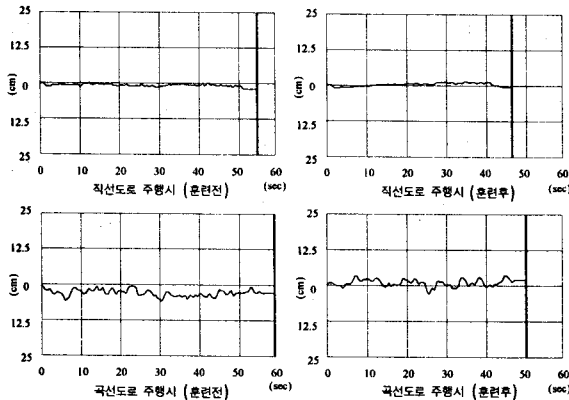


그림 5. 직선도로와 곡선도로 주행시 머리의 움직임
Fig. 5. Head movement while driving in the straight and curved road

그림 6은 직선도로와 곡선도로 각각의 훈련전과 훈련후의 주행속도를 나타내고 있다. 곡선도로의 경우가 직선도로의 경우보다 주행시간이 더 걸리고 있으며, 주행속도에 있어서는 훈련전 보다 훈련후가 빠름을 알 수 있었다. 왼발과 오른발이 평형판을 밟는 시간간격을 나타내 주는 속도는 훈련을 반복함에 따라 향상된 결과를 나타내어 실제 임상에서의 재활 효과를 기대할 수 있을 것이다.

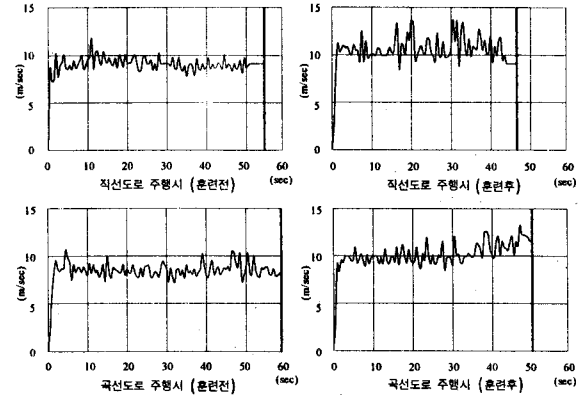


그림 6. 직선도로와 곡선도로 주행시 주행속도
Fig. 6. Driving velocity while driving in the straight and curved road

그림 7은 직선도로를 주행하는 데 있어 훈련반복횟수를 늘려줌에 따른 주행시간, 평균이탈도, 평균 머리의 움직임을 나타낸 것이다. 평균 이탈도의 경우는 머리를 경사침대에 대고 있고, 특히 실험 대상이 건강한 성인이기 때문에 별 변화가 없었다. 그러나 주행시간의 경우 시행횟수를 증가시키기에 따라 현저한 주행시간의 개선효과를 가져와 재활훈련 효과 평가시 중요한 지표로 사용될 수 있다고 생각된다.

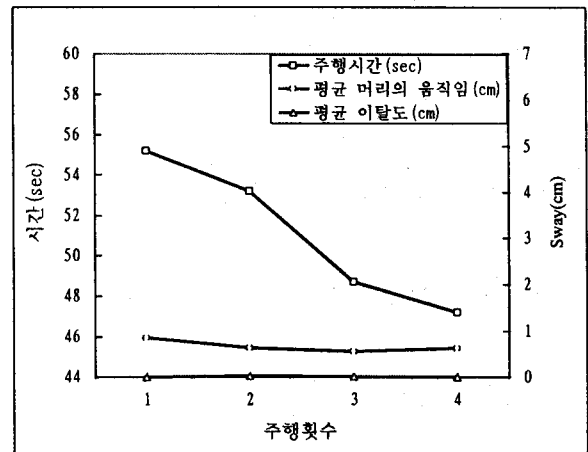


그림 7. 직선도로 주행시 반복주행시켰을 때의 주행시간, 평균이탈도, 머리의 움직임
Fig. 7. Driving time, average deviation, and average head movement while driving in the straight road repeatedly

그림 8은 곡선도로를 주행하는 데 있어 훈련반복횟수를 늘려줌에 따른 주행시간, 평균이탈도, 평균머리의 움직임은 도표로 나타내었다. 곡선도로의 경우 직선도로보다 주행시간이 많이 걸리고 평균머리의 움직임과 이탈도가 큼을 알 수 있다. 이는 단조롭게 직선도로가 전개되는 것과는 달리 도로가 불규칙하게 구부러져 전개되기 때문에 직선도로보다 주행하기가 어렵다는 것을 알 수 있다. 따라서 자세균형재활을 하는 데 있어 환자를 초기의 환자와 재활치료가 어느정도 진행된 환자로 구분하여 초기 환자의 경우는 직선도로로 재활치료를 진행하고, 재활치료가 어느 정도 진행된 환자의 경우는 곡선도로를 주행하도록 하여 보다 더 효율적인 재활치료가 이루어져야 할 것이다.

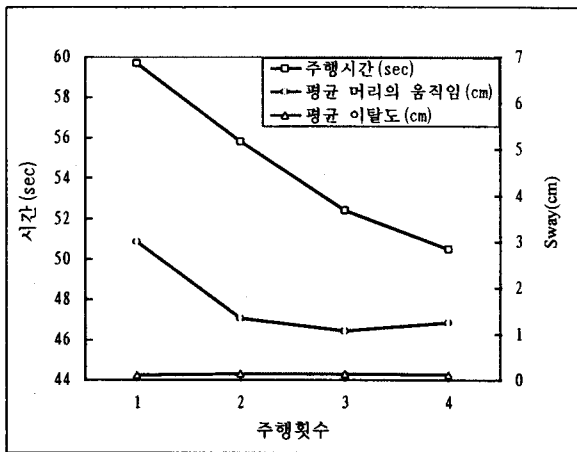


그림 8. 곡선도로 주행시 반복주행시켰을 때의 주행시간, 평균이탈도, 머리의 움직임
 Fig. 8. Driving time, average deviation, and average head movement while driving in the curved road repeatedly

고찰

이상에서 평형판과 경사침대를 이용한 가상 하이킹 시스템의 반복된 훈련으로 여러 파라미터에서 개선된 모습을 볼 수 있었다.

하지만 본 연구에서 살펴본 경사침대에서의 평형감각의 유지라는 면에서 검토해 볼 때 평형감각의 자극은 줄 수 있었지만 자극효과를 평가할 수 있는 파라미터는 구하지 못하였다. 따라서 자극효과를 평가하기 위한 생체신호를 측정할 필요성이 있으리라 생각된다.

또한 더 큰 평형감각의 자극을 위해 곡선도로 회전시 경사침대의 좌우 기울임을 주어 재활 효과의 증대를 꾀할 수 있을 것이다.

본 실험은 경사침대에 HMD를 쓰고 누워 실험을 하였고, 이로 인해 HMD의 착용에 있어 문제를 초래하였다. 착용에 불편함이 없도록 하기 위해 액정모니터를 침대의 윗쪽에 부착하도록 한다든지, 또는 간편히 착용할 수 있는 HMD의 개발이 시급하다고 생각된다. 또한, HMD의 해상도, 현실감 문제를 개선하여 보다 더 효과적인 자세균형재활훈련 시스템으로 발전시켜 나가고자 한다.

결론

본 연구는 가상현실기술을 이용해 가상 하이킹 시스템을 구현하여 장애자 훈련장치로서의 유용성을 검토하였다. 그 결과로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 평형판과 가상현실기술을 이용한 가상 하이킹 시스템은 시각, 전정기관, 체성감각을 통합적으로 자극함으로써 평형, 균형감각의 유지에 효과적임을 시사하였다.
2. 경사침대에서 누운 상태로 재활훈련이 가능하게 되었다. 따라서 기립 또는 보행이 어려웠던 환자에게도 적용범위를 넓혀 평형감각의 유지를 위한 재활이 가능하였다.
3. 재활치료의 진행도에 따른 주행도로의 난이도를 여러 단계로 하여 적용하면 보다 나은 재활 효과가 있음을 시사하였다.

참고 문헌

1. Di.Fabio RP, Badke MB, "Relationship of sensory organization to balance function in patients with hemiplegia", Physical Therapy, vol. 70, pp.542-548, 1990.
2. Goldie PA, Matyas TA, Spencer KI, McGinley RB, "Postural control in standing following stroke : Test-retest reliability of some quantitative clinical tests", Physical Therapy, vol. 70, pp.234-243, 1990.
3. Hamrin E, Eklund G, Hillgren A-K, Borges O, Hall J, Hellstrom O, "Muscle strength and balance in post-stroke patients", Ups J Med sci, vol. 87, pp.11-26, 1982.
4. Susan J Herman, PhD, PT, "Assessment and Treatment of Balance Disorders in the Vestibular-Deficient patient", Proceedings of APTA Forum, Nashville, Tennessee, June 13-15, 1989.
5. Myron W. Krueger, Artificial Reality II, Addison-Wesley Publishing Co., 1991.
6. Roy S. Kalawsky, The Science of Virtual Reality and Virtual Environments, Addison-Wesley Publishing Co., 1993.
7. 이정수, 정진석, 김동욱, 박광석, 伊福部達, 김남균: "가상현실기술을 이용한 자세균형재활훈련에 관한 연구", 의공학회지, vol.17, No.3, 1996.(in press).
8. 李政洙, 鄭鎮錫, 金東郁, 朴光錫, 金南均, 伊福部達 : "人工現實感技術を利用した姿勢制御訓練システムに関する研究", 日本バーチャルリアリティ學會第1回大會講演會, 東京, 10. 8-9, 1996.
9. 서종한, 가상현실의 세계, 영진출판사, 1992.