

가상현실기술을 이용한 자세균형재활훈련에 관한 연구

이정수*·정진석*·김동욱*·박광석***·伊福部 達****·김남균**

= Abstract =

Postural Balance Rehabilitation using Virtual Reality Technology

J. S. Lee*, J. S. Jeong*, D. W. Kim*, K. S. Park***, T. Ifukube****, N. G. Kim**

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.

Key words : Postural balance rehabilitation, Virtual hiking system, Virtual reality

서 론

최근 우리나라는 급격한 교통량의 증가로 인한 교통사고의 증가와 인구고령화로 인한 뇌손상과 중추신경계의 기능에 손상을 초래하는 각종 질환에 의하여 인지능력, 운동감각 등에 어려움을 겪는 환자가 증가하고 있다(1-4). 따라서 이들을 사회복귀시키기 위해서 재활훈련의 필요성은 날로 증가하고 있다. 기존의 자세균형재활을 위한 장치로는 힘판을 이용한 바이오 피드백(Biofeedback) 재활훈련 시스템과 같은 장치가 있었다. 그러나 이들은 자세균형재활에 필요한 시각, 전정기관, 체성감각등을 통합적으로 자극하지 못하고 있어 효과적인 재활훈련이 이루어지지 못하였다. 또한 기존의 재활훈련 시스템은 컴퓨터 화면에 시선이 고정되어야만 하는 단조로움을 피할 수 없었다. 따라서 효과적인 재활훈련을 위해서는 자세균형에

필요한 통합된 감각들을 효과적으로 자극해 줄 수 있을뿐만 아니라 현실감 있는 모의환경을 제공함으로써 피훈련자가 단조로움을 느끼지 않고 훈련할 수 있는 새로운 재활훈련장치가 필요하다.

현실감 있는 모의 환경을 제공하기 위해 가상현실기술이 효과적이다. 가상현실기술은 인간의 오감에 신호를 전달하여 실제로는 존재하지 않는 가상환경을 만들어 인간이 그 가상환경과 상호작용을 하게 함으로써 인간의 통합된 감각기관을 자극하는데 효과적인 방법이라 생각된다(7). 즉, 가상환경속에 있는 피험자로 하여금 실제환경에 들어와 있는 듯한 느낌을 갖게 함으로써 가상공간에 몰두하게 하여 가상공간의 화면에 따라 감각기관이 작용하여 실제 환경에서 일어날 수 있는 반응을 일어나게 하는 것이다.

이에 본 연구에서는 가상현실감 기술과 자전거를 이용한 가상 하이킹 시스템(Virtual Hiking System)을 만들

* 전북대학교 대학원 의용생체공학과

Dept. of Biomedical Engineering, Graduate School, Chonbuk National University

** 전북대학교 의과대학 의공학교실

Dept. of Biomedical Engineering, Medical School, Chonbuk National University

*** 서울대학교 의과대학 의공학교실

Dept. of Biomedical Engineering, Medical School, Seoul National University

**** 日本 北海道大學 電子科學研究所 感覺情報工學研究分野

Dept. of Sensory Information Engineering, Research Institute of Electronic Science, Hokkaido University, Japan

본 연구는 1995년도 과학기술처 국제공동연구개발사업에 의해 지원되었음 (과제명 : I-1-078)

통신저자 : 김남균, (561-180) 전북 전주시 덕진구 금암동 산2-20, 전북대학교 의과대학 의공학교실, Tel.(0652)70-2246,

Fax.(0652)70-2247

어 감각의 통합자극을 수행하고 피훈련자의 단조로움을 피할 수 있도록 하였다.

자전거 주행을 위해서는 우선 시각이 필요하고, 또한 신체의 균형을 잡아주기 위해 전정기관, 체성감각, 그리고 근력이 필요하다. 따라서 자전거는 감각의 통합적 상호작용의 면에서 효과적이라 할 것이다. 또한, 가상현실감 기술을 이용한 가상 하이킹 시스템을 만들어 주행하게 함으로써 자세균형재활훈련시 단조로움을 피할 수 있고 피훈련자가 흥미를 가지고 훈련에 임할 수 있게함에 따라 보다 더 높은 재활효과를 기대할 수 있는 재활훈련시스템이라 할 수 있다.

본 연구에서는 가상현실기술과 자전거를 이용한 가상 하이킹 시스템을 개발하고 이것이 재활훈련에 유용한 장치인가를 검토하고자 한다.

시스템구성 및 실험방법

1. 시스템 구성

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 Display속도와 각도를 제어해 줄 자전거, 감지부로부터 입력된 측정값을 컴퓨터에 입력시켜주는 A/D 컨버터, 그리고 머리의 움직임을 측정해 줄 3차원 위치 측정기인 Polhemus™로 구성된다. 리얼리티엔진(Reality Engine)부는 모의환경을 제공하는 가상현실프로그램과 이 프로그램을 구동시킬 수 있는 컴퓨터시스템으로 구성된다. 가상현실 프로그램은 C++ 언어를 주로 사용하였으며 Display속도를 향상시키기 위해 화면 출력 루틴(Routine)을 어셈블리(Assembly)언어로 구성하여 자전거로 하이킹을 하는 가상공간을 구성하였다. 가상공간의 구성은 시야의 중앙부에 직선도로, 곡선도로 각각 약 540m의 도로가 있고 그 주위에는 풀밭의 이미지가 있다. 그리고 도로와 풀밭과의 경계를 따라 가로등이 있으며 배경이미지는 지평선부근에 원근효과를 증가시키기 위해 산과 구름이 떠있는 파란하늘의 이미지로 구성되어 있다. 피험자는 이러한 공간속에서 가상의 하이킹을 하게된다.

그림 1의 시스템의 구성도에서 핸들각도감지부는 1회 전용 전위차계 변환기를 이용하여 양단에 5V를 걸어주어 가변단자에서 핸들각도에 따른 전압이 출력될 수 있도록 하였다. 이에 따라 어떤 고정 전압을 설정해 놓고, 그 값을 기준으로 그 보다 작은 값은 왼쪽방향을 그 보다 큰 값은 오른쪽방향을 나타내도록 되어 있다. 이런 원리 아

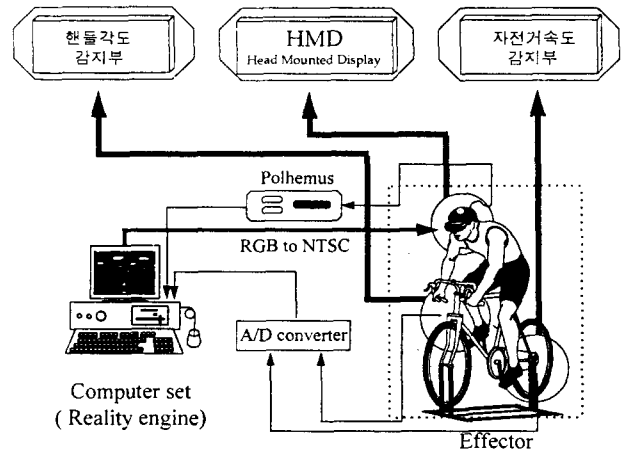


그림 1. 시스템의 구성도
Fig. 1. System configuration

래 센서를 자전거의 핸들에 연결하여 자전거의 핸들각을 감지하고, 그 값을 A/D 컨버터(Converter)를 거쳐 컴퓨터에 입력시켜 HMD에 나타나는 이미지를 변화시키도록 하였다. HMD는 Virtual I/O사의 I-glasses를 이용하였다. 이 I-glasses™는 최고 640 × 480의 해상도를 나타내며, 가볍고 쓰기 편하다는 장점을 가지고 있다. 이 HMD는 두 개의 LCD와 렌즈 등으로 구성되며, 컴퓨터로부터 이미지 입력을 받게 된다. 이미지 입력은 RGB 신호를 NTSC신호로 바꾸어 주는 컨버터를 거치게 된다. 또한, 머리의 중앙에 부착되는 Polhemus™는 3차원의 위치 좌표를 측정하는 장치이다.

속도감지부는 자전거의 바퀴에 헤드라이트에 이용되는 발전기를 이용하였다. 발전기에서 나오는 전압이 교류이기 때문에 이를 A/D 컨버터에 이용하기 위해 이를 정류시켜 주었다. 자전거 바퀴의 회전율에 따라 발전되는 양이 비례하여 나타나기 때문에 자전거 바퀴의 회전 속도에 따른 화면의 Display속도를 비례적으로 나타낼 수 있었다.

그림 2는 VR 시스템의 흐름도로 우선 지도가 불러지고 속도감지부인 발전기에 의해 나오는 전압값을 A/D 컨버터를 통해 자전거의 속도값으로 입력받는다. 그리고 핸들각도감지부인 1회전용 전위차계 변환기를 통해서 자전거의 핸들각을 입력받고 머리의 움직임을 측정하기 위해 Polhemus™ 위치를 입력받는다. 앞에서 입력된 값들에 의해 도로의 이미지가 출력되고 지도가 끝났는지 확인한 후 끝났으면 프로그램이 종료되고 끝나지 않았으면 자전거의 속도값입력, 자전거 핸들각 입력등의 순서를 반복한다.

2. 실험방법

본 실험은 그림 1의 시스템 구성도에서 보는 바와 같

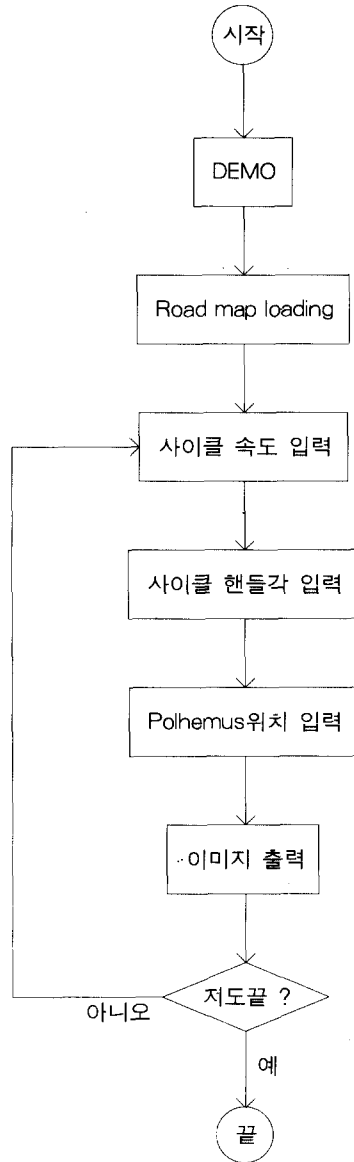


그림 2. Virtual Reality 시스템의 Flow chart
Fig. 2. The flow chart of virtual reality system

이 피험자가 HMD를 착용하고 머리의 중앙에 3차원 위치 측정기인 Polhemus™를 설치한후 직접 자전거를 타고 가상현실공간상의 주행도로인 직선도로와 곡선도로를 주행하게 하였다.

피험자는 20세 이상의 건강한 성인 남녀 40명을 대상으로 하였으며 주행횟수는 직선도로와 곡선도로를 각각 4번씩 반복주행하도록 하였다. 가상공간의 주행도로에의 적응과 설명을 위해 실험전에 2회~3회 주행하도록 하였다.

각각의 도로에는 중앙선을 표시하였고, 가능한 한 가상

공간에서 자전거의 위치를 나타내는 화면의 붉은 점을 그 중앙선에 맞추어 자전거 핸들을 제어하도록 피험자에게 요청하였다.

직선도로와 곡선도로를 따라가면서 중앙선 이탈도, 이탈 속도, 주행속도, 주행시 머리의 좌우 움직임을 측정하도록 하였다. 이탈도는 자전거가 도로의 중앙선을 벗어난 정도를 나타낸다.

만일 자세균형제어에 문제가 있는 피험자라면 이탈도가 클것이다. 이탈 속도는 이탈도를 시간으로 미분한 값으로 중앙선에서 똑같은 쪽으로 이탈하더라도 핸들이 꺾이는 속도에 따라 중앙선 이탈을 빨리 하는지, 느리게 하는지를 판가름하게 하여, 피험자가 어느 정도로 안정감있게 주행하는 지를 판단할 수 있는 근거가 될 수 있도록 하였다. 마찬가지로 자세균형제어에 문제가 있는 피험자의 경우 핸들각의 변화가 급격할 것이라고 생각된다. 주행속도는 자세제어훈련을 평가하는 데 있어 하나의 지표로 사용되고 있다. 이들 지표는 반복되는 훈련에 의해 향상될 수 있을 것이다.

머리의 움직임은 3차원 위치측정기에 의해 두부의 움직임(x,y,z방향)을 측정하여 자세균형의 평가지표로 이용하였다.

실험 결과

그림 3은 직선도로와 곡선도로 각각의 도로를 주행하였을 때의 이탈도를 나타내고 있다. 가상공간상에 만들어진 주행환경에 처음 들어간 사람의 경우 이탈도가 어느 정도 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 그러나 훈련을 여러번 반복한 사람의 경우 이탈도가 줄어들고 있어 반복훈련에 의하여 이탈도가 감소함을 알 수 있다. 더구나 주행시간

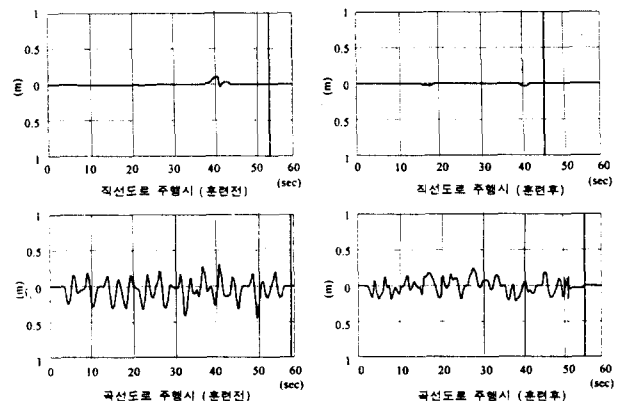


그림 3. 직선도로와 곡선도로 주행시 이탈도
Fig. 3. Deviation while driving in the straight and curved road

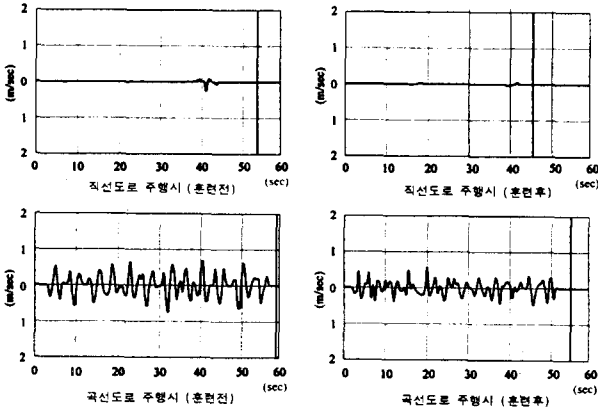


그림 4. 직선도로와 곡선도로 주행시 이탈속도
Fig. 4. Deviation velocity while driving in the straight and curved road

에 있어서도 훈련전보다 훈련후의 결과가 훨씬 나아짐을 볼 수 있다.

또한 직선도로에서 보다는 곡선도로에서 이탈도가 큼을 볼 수 있다. 이는 직선도로인 경우 도로가 일정하게 Display되는 반면, 곡선도로의 경우는 도로가 불규칙적으로 굽어져 Display되기 때문에 핸들을 계속해서 제어해야 함에 따라 핸들의 이탈도도 커지게 됨을 알 수 있게 한다.

이 결과로부터 처음 재활훈련을 받는 재활환자의 경우는 직선도로로 훈련하도록 하고 재활훈련을 진행함에 따라 곡선도로를 이용하여 재활훈련을 하는 것이 타당하리라고 생각된다.

그림4은 직선도로와 곡선도로 각각의 도로를 주행하였을 때의 이탈속도를 나타낸다. 이탈도와 마찬가지로 주행 환경에 처음 들어간 사람의 경우에 큰 값의 이탈 속도를 가짐을 볼 수 있고, 훈련을 반복함으로써 이탈 속도가 감소하는 것을 알 수 있다.

또한, 곡선도로 주행시 직선도로 주행시보다 큰 이탈 속도를 가짐을 알 수 있어 역시 자세균형재활성적의 평가 기준으로 삼을 수 있는 파라미터(Parameter)라 할 것이다. 특히, 그림 3와 4에서 곡선도로 주행의 경우 자전거가 커브(Curve)를 주행할 때는 이탈도와 이탈 속도에 있어 큰 폭의 변화를 가짐을 알 수 있다.

그림 5에서는 가상현실공간상의 직선도로와 곡선도로를 주행할때 3차원 위치추정기인 Fastrak™을 이용하여 머리의 좌우 방향의 움직임 폭을 측정한 결과를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 훈련을 반복함에 따라 그 크기는 작지만 머리의 움직임의 폭이 감소함을 볼 수 있다. 그러나 이는 자전거가 커브(Curve)를 돌때나 흔들릴 때 자전거가 기울어질 수 있도록 되어 있지 않아서 발생한 결과라고 생각된다. 원심력에 따른 자전거의 기울임을

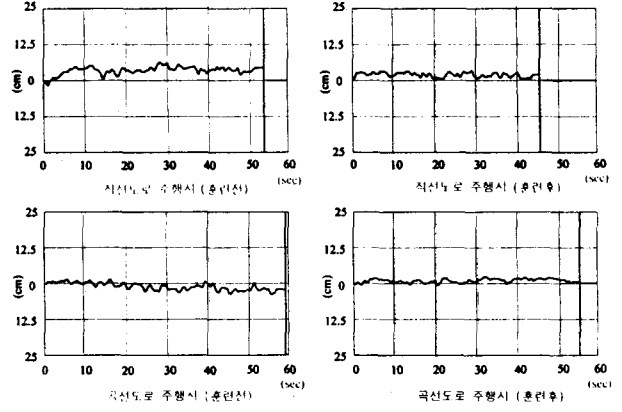


그림 5. 직선도로와 곡선도로 주행시 머리의 움직임
Fig. 5. Head movement while driving in the straight and curved road

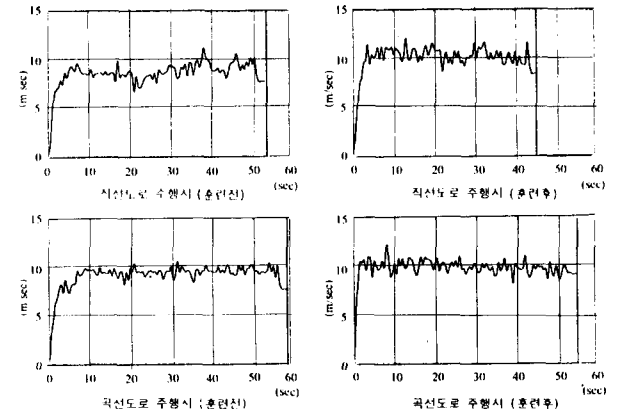


그림 6. 직선도로와 곡선도로 주행시 주행속도
Fig. 6. Driving velocity while driving in the straight and curved road

이용할 수 있도록 자전거를 고정시키지 않고 좌우 기울임을 줄 수 있도록 한다면 훈련반복시 머리의 움직임 폭은 큰 폭의 변화를 일으킬 수도 있으리라 생각된다.

그림 6은 직선도로와 곡선도로 각각의 훈련전과 훈련 후의 주행속도를 나타내고 있다. 주행속도의 변화에 있어서 훈련 전보다 훈련 후가 최고 속도에 도달하는 시간이 짧아지고 있음을 볼 수 있다. 이는 훈련을 반복함에 따라 양호한 자세제어로 인해 핸들을 쉽게 제어할 수 있게 되어 정상적인 주행속도와 최고 속도를 내는 데 시간이 앞당겨져 빠른 주행결과를 낳았음을 알 수 있게 해 준다. 결과적으로 최고 속도에 이르는 시간이 앞 당겨지게 되어 주행시간이 짧아졌음을 알 수 있었다.

그림 7에서는 20대 10명, 30대 10명, 40대 10명의 각

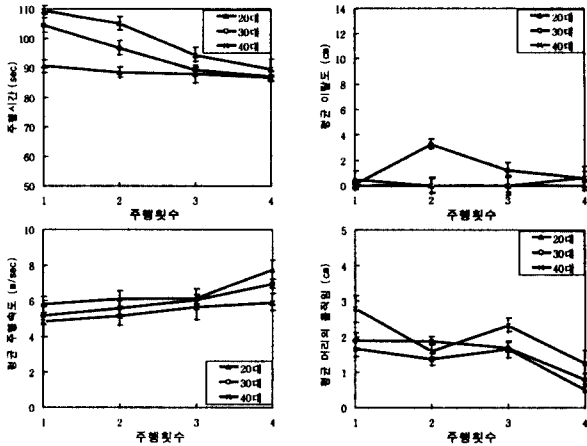


그림 7. 직선도로를 반복주행하였을 때 각 연령별 주행시간, 평균, 이탈도, 평균주행속도, 평균 머리의 움직임
Fig. 7. Driving time, average deviation, average driving velocity, and average head movement at eachage while driving in the straight road repeatedly

연령층이 곡선도로를 달릴 때의 시행횟수를 늘려줌에 따른 주행시간, 평균이탈도, 평균 주행속도, 평균 머리의 움직임을 각각 '평균하여 도표로 나타낸 것이다. 그림 7에서 알 수 있듯이 반복횟수를 늘려줌에 따라 각각의 주행시간, 평균 이탈도, 평균 주행속도, 평균머리의 움직임이 개선되는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 각 연령층별로도 같은 경향을 보임을 알 수 있다.

그러나 그림 7에서도 알 수 있는 바와 같이 연령이 높아질수록 주행시간이 증가하고, 평균 이탈도, 평균 머리의 움직임이 증가하는 경향이 있음을 알 수 있는데, 이는 나이가 들어감에 따라 근력의 힘이나 몸의 평형감각이 감소하여 자전거가 페달을 구르는데 있어서와 몸의 균형을 잡는 데 있어 젊은 사람에 비해 어려움을 느낀다는 것을 알 수 있게 하여 준다.

마찬가지로 그림 8에서는 20대 10명, 30대 10명, 40대 10명의 각 연령층이 곡선도로를 달릴 때의 시행횟수를 늘려줌에 따른 주행시간, 평균이탈도, 평균 주행속도, 평균 머리의 움직임을 평균하여 도표로 나타낸 것이다.

그림 7에서와 마찬가지로의 비슷한 경향을 볼 수 있는데 반복횟수를 늘려줌에 따라 각각의 주행시간이 짧아지고, 평균 이탈도가 감소하며, 평균 주행속도는 상승하고, 평균머리의 움직임이 감소하는 개선된 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 각 연령층 별로도 같은 경향을 보임을 알 수 있다.

또한 그림 7의 직선도로 주행시에 비해 그림 8의 곡선도로 주행시는 주행시간이 증가하고, 평균 이탈도와 머리의 움직임이 증가하고 있음을 알 수 있으며, 이는 직선도로 주행이 곡선도로 주행이 더 난이도가 있고 몸의 균형

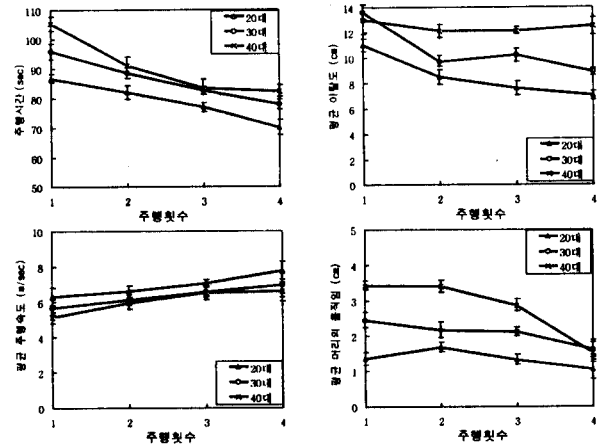


그림 8. 곡선도로를 반복주행하였을 때 각 연령별 주행시간, 평균 이탈도, 평균주행속도, 평균 머리의 움직임
Fig. 8. Driving time, average deviation, average driving velocity, and average head movement at eachage while driving in the curved road repeatedly

을 잡는 데 더많은 영향을 끼침을 알 수 있다.

고찰

이상에서 가상현실기술을 이용한 가상 하이킹 시스템의 반복훈련으로 자세제어에 있어서 개선된 모습을 볼 수 있었다. 이를 통해 본 논문에서는 가상현실기술을 이용한 가상 하이킹 시스템이 자세제어재활훈련에 있어 효과적임을 알 수 있었다.

하지만 이러한 자세재활훈련에 있어서 평가는 여러 파라미터를 근거로 판단해야만 할 것이다. 즉, 주행속도만을 판단의 근거로 사용하였을 때는 주행속도 그 자체가 증가하였다고 해서 재활훈련효과가 상승하였다고 할 수는 없다. 왜냐하면 주행속도는 증가했으나 이탈도가 크게 증가한다면 이는 자세제어에 있어 문제가 있다고도 판단될 수 있기 때문이다. 따라서 주행속도, 이탈도, 머리의 움직임 등을 종합적인 판단의 근거로 사용하여야 될 것이다.

또한 실험 결과를 평가하는데 있어 상기한 파라미터 이외에도 여러 영향조건을 고려해야 할것이다. 예를 들어 주행시 몸통의 움직임에 의한 이탈도, 머리의 움직임에의 영향이라든지, 가상 공간에서의 자신의 위치를 인지할 수 있는 공간 인지 능력을 평가할 수 있도록 해야 할 것이다.

평균 머리의 움직임의 경우는 처음 예상했던 것과는 달리 반복훈련 전후에 있어서 머리의 움직임이 크게 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 재활효과를 판단하는 지표로는 비중이 떨어진다고 할 수 있다. 하지만 앞의 실험 결과에서도 언급했듯이 자전거가 커브 길을 회전할 때의 원심력을 이용할 수 있도록 자전거의 기울임을 줄 수 있도록

록 한다면 유용한 파라미터로 작용할 수도 있는 여지가 있다고 할 수 있다.

그리고 가상현실공간에 청각적인 데이터 즉, 직접 자전거를 타고 하이킹을 할때 들릴 수 있는 주변 공간으로부터의 소리 등을 넣어주고, 곡선도로 주행시 자전거의 동요를 주고, 또한 자전거 주행시 피부감각을 자극하기 위한 시스템을 부가한다면 더욱 더 현실감을 증가시킬 수 있어 보다 효과적인 재활장비로서의 역할을 담당할 수 있을 것이다.

앞으로 HMD에 있어서 LCD의 해상도 문제와 장시간 착용시 눈의 피로, 소프트웨어상의 현실감등이 개선되어야 할 것이다. 또한 HMD의 중량문제, 상기한 임상감 있는 현실감 문제를 개선하여 보다 더 효과적인 자세균형재활훈련 시스템으로 발전시켜 나가고자 한다.

결 론

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

1. 가상현실기술을 이용한 가상 하이킹 시스템은 자세 균형에 큰 영향을 끼치는 시각, 전정기관, 체성감각의 통합된 감각을 자극하고 있어, 장애자 및 노약자의 자세균형 재활 훈련기기로서 효과적임을 알 수 있었고, 가상현실기술이 재활분야에서 유용함이 확인되었다.
2. 실험 결과 반복되는 훈련에 의해서 주행 속도와 이

탈도가 개선되고 있음을 알 수 있었고, 자세균형훈련평가시 이들 파라미터로 판단함으로써 재활효과를 정량적으로 분석할 수 있어 실제 임상적인 사용의 가능성을 제시하였다.

참 고 문 헌

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. 서중환, 가상현실의 세계, 영진출판사, 1992.

=국문초록=

본 연구에서 우리는 자세균형재활훈련을 위한 새로운 시스템을 제안하고자 한다. 이 시스템은 가상현실기술을 이용한 가상 하이킹 시스템(Virtual Hiking System)으로써, 자전거를 타기 위해서는 신체 자세 균형 유지에 필요한 시각, 전정기관, 체성감각을 모두 이용하기 때문에 자전거는 감각의 통합적 상호작용의 면에서 효과적이라 할 것이다. 또한 가상현실기술을 이용하여 가상 하이킹 시스템을 주행하게 함으로써 훈련시의 단조로움을 피할 수 있고 자전거를 고정시킴으로써 실내에서 보다 안정감있는 주행을 통해 재활훈련의 효과를 높일 수 있으리라 생각된다.

측정 파라미터로는 피험자가 가상의 도로를 주행할때의 이탈도, 이탈속도, 주행시간, 머리의 움직임 측정하여 재활훈련효과를 판단할 수 있도록 하였다. 정상인을 대상으로 한 결과로부터 훈련효과가 있는 것을 확인할 수 있었으며, 이로부터 이 시스템이 임상적으로 유효한 것을 시사하였다.