자전거 시뮬레이터를 이용한 평형감각 증진의 정량적 분석

정성환*, 정우석(전북대 대학원 의용생체공학과), 김경석, 권대규,
홍철운, 김남균(전북대 생체정보공학부)

Quantitative Analysis on the Improvement of Equilibrium Sensory Using Bicycle Simulator

S. H. Jeong*, W. S. Chong(Dept., of Biomedical Engineering, CBNU)
K. S. Kim, T. K. Kwon, C. U. Hong, N. G. Kim(Division, of Bionics and Bioinformatics, CBNU)

ABSTRACT

This paper describes the quantitative analysis on the improvement of equilibrium sensory using virtual bicycle system. We have used a virtual bicycle system that combines virtual reality technology with a bicycle. In this experiment, 10 subjects were tested to investigate the influencing factors on equilibrium sensory. Straight road and curved road driving at several factors including cycling time, number of times of path deviation, and center of pressure(COP) were extracted and evaluated to quantify the extent of control. Also, To improve the effect of balance training, we investigated the usefulness of virtual feedback information by weight shift. The result showed that the system could be effective for equilibrium sensory rehabilitation training device. The analysis method might also have wider applicability to the rehabilitation field.

Key Words : Postural equilibrium(자세균형), Virtual reality(가상현실), Equilibrium sense(평형감각)

1. 서 론

최근 교통량의 증가로 인한 교통사고의 증가와 노령인구의 증가로 인한 뇌졸중 및 외상성 뇌손상 중추신경계의 손상과 근 골격계의 질환에 따른 평형감각 제어력의 손실이 환자의 재활치료에 많은 어려움을 초래하고 있다. 이들의 빠른 사회로의 환원을 위해서 평형감각을 회복시킬 수 있는 효율적인 재활훈련이 필요하다. 이와 같은 재활훈련 중, 자전거 시뮬레이터는 주행시, 가상현실 주행 시나리오 환경과 상호작용이 가능하므로 기존 방식에 비해 훈련의 단조로움을 피할 수 있고, 흥미를 유발시켜 자발적인 훈련이 가능하여 더 높은 재활효과를 기대할 수 있다. 기존 연구에서 개발되어진 자전거 시뮬레이터는 단순히 근력을 길러주는 레져, 오락용에 불과하였다.

본 연구에서는 자전거를 이용하여 평형감각 실조 환자의 시각, 전정감각, 체성 감각을 정량적으로 진단하고 자극, 훈련시킬 수 있는 자전거 시뮬레이터를 개발하였다. 이에, 시각적 피드백 정보를 분석함으로서, 적용한 시스템의 평형감각 측정, 분석 및 재활훈련 장치로서 유용한지를 검토하였다.

2. 시스템 구성

2.1 하드웨어

본 연구를 통해서 개발한 통합 평형감각 분석 및 훈련용 VR 자전거 시뮬레이터 시스템(bicycle simulator system)의 구성도를 Fig. 1에 나타내고 있다. 시스템은 크게 자전거와 계측 장치들로 구성된 자전거 하드웨어 시스템(bicycle hardware system)과 자전거 하드웨어로부터 들어오는 신호를 처리하여 가상환경에 제시하고 주행상태를 분석하는 소프트웨어 시스템(software system)으로 구성되어진다.

하드웨어 시스템은 자전거 본체에 평형감각분석을 위하여 사용되어지는 파라미터(parameter)들을 검출하기 위한 계측센서(sensor)와 회로들로 구성되어진다. 머리움직임 검출은 POLHEMUS사의 3SPACE Fastrak™을 사용하였다. Fastrak은 떨어진 물체의 위치와 각도를 비접촉방식으로 계측하여 주는데 크게

고정 트랜스미터(transmitter)와 이를 검출하는 리시버(receiver)의 두 부분으로 구성된다. 시뮬레이터의 핸들의 움직임을 검출하기 위한 각도센서로는 전위차계(potentiometer)을 사용하였다. 주행속력의 검출을 위해서는 자석과 홀 센서(hole sensor)가 사용되어 졌다. 자석을 자전거의 휠(wheel)에 홀센서를 휠과 인접한 시뮬레이터의 몸체에 달았다. 피험자가 페달을 구르면 휠이 회전하면서 자석이 홀센서를 스칠 때마다 신호를 발생시키도록 하였다. 시뮬레이터의 주행 소프트웨어 시스템에서 이 신호를 받아서 휠의 회전속력을 구하였고, 다시 이를 주행 시뮬레이터에서 주행속력으로 반영시켜 주도록 하였다.

체중이동과 COP의 검출을 위해서는 네 개의 로드 셀(load cell)이 사용되어졌다. 전위차계, 홀센서, 로드 셀로부터 나오는 신호는 증폭 및 필터회로를 통과한 후 12bit, 8채널의 A/D 컨버터(A/D convert)를 통하여 컴퓨터로 전송된다. 이 전송된 데이터를 피험자에게 자신의 체중이동 상태를 실시간으로 Feedback시켜 자세제어 훈련에 사용하도록 하였다. 또한 가상환경 주행 시 주행거리, 주행속력, COP, 도로 중앙선 이탈도, 체중이동, 주행시간, 도로를 벗어나는 횟수 등을 이용하여 자세균형 상태를 모니터링 하였다.

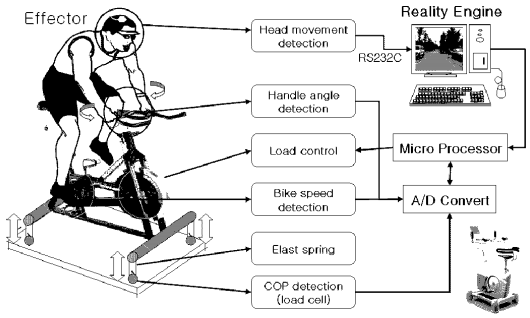

Fig. 1 Overall system configuration

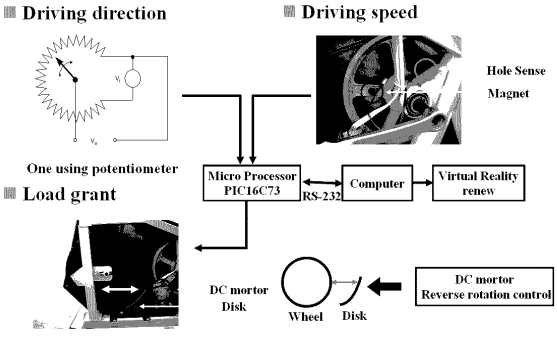

Fig. 2 Bicycle simulator hardware system

가상도로의 주행 시 오르막, 내리막길에서 로드(load)를 부여할 수 있도록 하였다. 이를 위해서 컴퓨터로 표준 RS232 시리얼 포트(serial port)를 이용하여 신호를 받아, 원칩 마이크로프로세서(onchip microprocessor)인 PIC16C73을 이용하여 DC 모터의 정역회전 제어를 하였다. DC모터가 로드부여 디스크장치와 자전거 휠과의 거리를 조절함으로서 로드를 부여할 수 있도록 하였다. 또한 자전거 하단의 네 모퉁이엔 스프링(spring)을 달았다. 이것은 피험자의 바이크 시뮬레이터 위에서의 체중이동에 따라서 자전거도 함께 움직여 실제 자전거를 타는 듯한 느낌을 줄 수 있도록 하였다.

2.2 소프트웨어

자전거 시뮬레이터 소프트웨어 시스템(bicycle simulator software system)은 크게 두 부분으로 나뉜다. 주행과 관련된 가상환경을 제시하고 하드웨어 시스템과 연계되어 작동하는 주행 소프트웨어부와 주행 후 훈련효과를 분석하는 분석 소프트웨어부로 구분된다. 가상환경과 3차원 그래픽 모델들은 그래픽 전문 프로그램인 3D Studio MAX와 SENSE8사 WorldUp- -Toolkit(WTK)을 이용하였다. 또한 본 소프트웨어 시스템은 3차원 가상환경제작 그래픽 라이브러리인 WTK Release 9와 Visual C++ 6.0을 이용하여 제작하였으며, Windows NT, Windows 2000, Me를 운영체제로 사용하는 컴퓨터에서 작동한다.

Fig. 3은 VR 바이크 시뮬레이터 소프트웨어 시스템의 구성 및 운영을 나타내고 있는 블록다이어그램이다. 구름, 길, 나무, 잔디, 꽃, 건물, 하늘 등의 3D 모델링(modeling)을 하여 공간분할(space division) 등의 전처리(pre-processing) 과정을 거친 후, 가상환경을 로딩(loading)하였다. 이 과정이 끝나고 나면 주행과 함께 피험자의 행동에 따라 변화하는 자전거의 핸들각, 페달속력, 머리의 움직임, 체중이동, COP 등을 읽어 가상환경에 반영하여 상호작용하는 재구성 과정을 거친다.

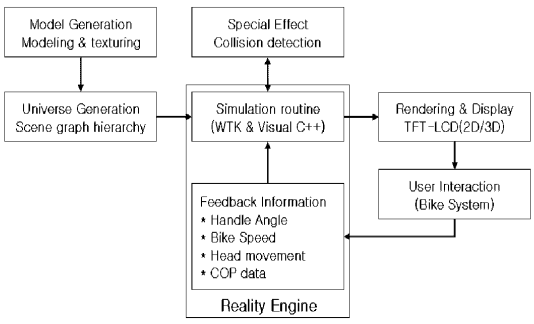

Fig. 3 Functional flow chart of VR bicycle simulator

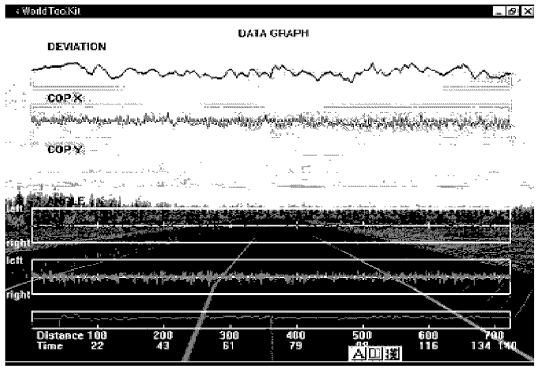

Fig. 4 Graph analysis screen

특히, 본 시스템이 평형감각에 이상이 있는 환자를 겨냥한 것이므로 주행능력이 좋지 않아 길을 크게 이탈하는 것을 방지하기 위하여 도로 양옆에 보도블럭을 설치하였고, 충돌검출(collision detection) 과정을 거쳐서 도로를 벗어나는 것이 불가능 하도록 하였다.

주행 후의 분석화면은 Fig. 4에서 보듯 데이터를 그래프화 하였다. 그래프화한 데이터 분석화면은 중앙선 이탈도, COP X, Y값, 핸들각, 머리움직임, 주행속력, 100m 구간별 주행시간 및 총 주행시간 등을 나타내고 있으며, 각 그래프들을 시간축을 기준으로 비교하여 통합적으로 평가, 분석할 수 있도록 구성하였다.

3. 실험방법

실험에 참가한 피험자들은 20대의 정상성인 남성 10명으로 이루어졌다. 주행도로는 폭이 중앙선을 기준으로 좌우 3 m로써 총 6 m이며, 총 주행거리는 720 m이다. 도로는 직선구간, 오르막구간, 내리막구간, 좌회전구간, 우회전구간 및 이들의 다양한 조합으로 이루어진 순환도로이다. 실험진행시 사전에 피험자에게 실험의 개요, 시스템의 특성 및 조작법 그리고 주의사항 등을 언급하였다. 실험은 자신의 체중이동 상태가 주행화면에 실시간으로 visual feedback 주행모드로서 피험자의 현재 상태를 실시간으로 제시하면서 이 정보를 이용하여 피험자에게 균형을 유지하도록 지시하였다. 또한 실험은 학습효과를 없애고 주행횟수가 지남에 따라 나타나는 결과를 보기 위하여 visual feedback 주행모드를 3번 반복적으로 실시하였다.

본 실험에서는 직선도로 구간과 곡선도로 구간에서의 중앙선 이탈도, 머리움직임, COP의 파라미터를 이용하여 환자들의 평형감각 상태를 알아보고자 하였다.

4. 결과 및 고찰

시스템의 유용성과 훈련의 효과를 설명하기 위하여 평형감각과 관련된 주행요소를 분석하였다. 직선도로와 곡선도로의 중앙선 이탈도, 머리움직임, COP 등과 관련된 시각 피드백 정보가 유용한지를 정량적으로 평가하였다.

4.1 피험자의 중앙선 이탈도

Fig. 5는 직선도로와 곡선도로에서 훈련 전과 후를 비교한 그래프이다. 그래프에서 보는 바와 같이 훈련 전과 후를 비교하였을 때 훈련 전보다 중앙선 이탈도의 오차가 줄어들었고 주행 훈련 시간도 단축되었음을 확인할 수 있었다. 이는 이탈도가 클수록 훈련시간도 길어지므로 이탈도와 훈련시간이 연관이 있음을 알 수 있다. 또한, 피험자의 평형능력조절을 실시간으로 확인함으로써 시각 피드백 정보의 유용성, 이를 활용한 체중이동의 제어능력 개선 및 훈련의 효과가 있음을 확인하였다.

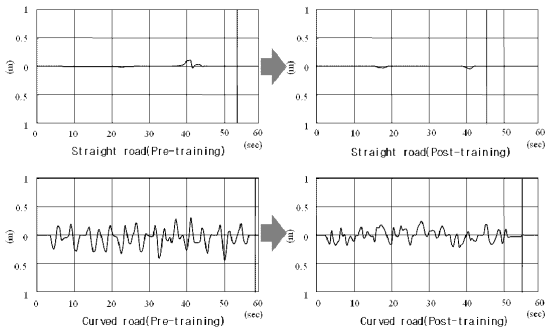

Fig. 5 Deviation from the center line

4.2 피험자의 머리움직임

Fig. 6은 직선과 곡선도로에서의 머리의 움직임을 확인함으로써 주행시에 환자의 안정상태를 확인할 수 있었다. 중앙선 이탈도에서와 같이 머리움직임이 많을수록 훈련시간이 길었고 훈련 후에는 머리움직임이 자연스럽고 훈련시간도 단축되었다.

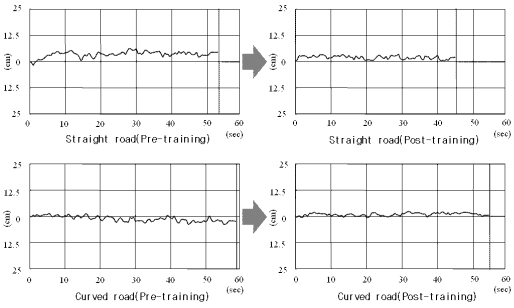

Fig. 6 Head movement

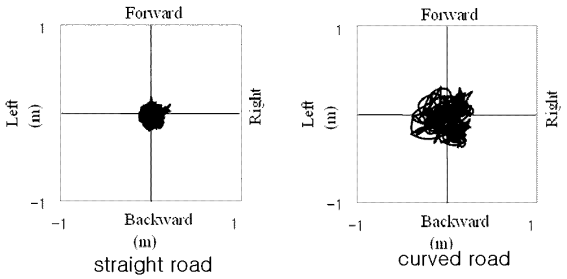

Fig. 7 COP at straight and curved road

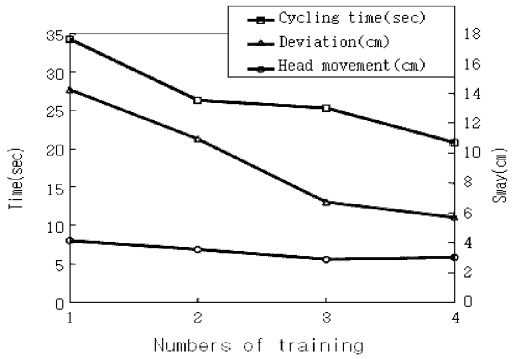

Fig. 8 Average of cycling time with training effect on the curved road

4.3 직선, 곡선 도로에서의 COP

Fig. 7은 직선과 곡선도로에서의 COP(center of pressure)를 확인하는 그래프이다. 직선도로보다 곡선도로에서 도로의 굴곡에 맞추기 위하여 곡선도로에서 평형능력을 조절하기 위해 잦은 COP의 이동이 있었다. 이는 COP의 이동은 평형감각능력 향상이라는 결과를 가져오게 되었다. 시각 피드백 주행모드의 반복훈련결과 체중이동이 50%에 가깝게 낮아져 피험자의 평형상태가 개선되어 졌으며, 주행능력 또한 개선되어 이탈도도 적었다.

Fig. 8은 곡선도로에서의 훈련반복에 따른 주행시간을 표시하고 있다. 곡선도로는 지속적인 핸들조작을 요구하기 때문에 직선도로보다 이탈도가 커짐을 알 수 있다. 이 결과는 처음부터 곡선도로에서 시작하는 것보다 직선도로에서 시작하여 충분히 훈련한 후, 곡선 도로형태의 훈련으로 진행하는 것이 바람직함을 알 수 있었다.

본 시스템은 평형감각의 장애가 있는 자세균형 이상 환자에서 평형상태의 정량적 측정, 분석을 가능하게 하고, 반복 훈련으로 평형감각의 조절과 그 기능을 향상시킬 수 있을 것으로 사료되어 진다.

5. 결 론

본 연구는 가상현실기술을 이용한 PC기반의 가상자전거 주행 시스템을 구현하여 장애자 훈련장치를 개발하여 재활치료에 사용하기 위한 유용성을 검토하였으며 이에 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 시각 피드백 제공시에 직선과 곡선도로 주행시 체중이동 값과 COP 누적값이 개선되었고, 평형감각을 조절, 훈련시킴으로서 재활훈련이 가능하고 효과가 있음을 알 수 있었다.

2. 본 시스템을 이용하여 직선도로와 곡선도로에서의 훈련의 유용성을 알 수 있었다.

결론적으로, 본 시스템은 통합평형감각 분석 및 훈련용 재활장비로 유용함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 과학기술부 주관 특정연구개발사업 지원으로 이루어진 것임.

참고문헌

1. Cavell, G. E. and Van, Swearringer, J. M., "Neuromuscular analysis." Physical Teraphy 1st ed., J. Lippincott comp., philadelphia, pp. 489, 1986.
2. Duncan, P. W., Studenski, S., Chandler J.Bloomfeld R. and LaPoint, L. K., "Electromyographic analysis of postural adjustments in two methods of balance testi- ng," Physical Theraphy, Vol. 70, pp. 88-96, 1990.
3. Dettmann, M. A., Linder, M. T., and Sepic, S. B., "Relationships among walking performance, postural stability, and functional seesssments of hemiplegic patient," Am. J. Phys, Med., Vol. 66, pp. 77-90, 1987.
4. Lehmann, J. F., Boswell, S., Price, R. Burleigh A., deLateur B. J., Jaffe, K. M. and Hertling D., " Quantita- tive evaluation of sway as an indicator of functional balance in post traumatic brain injury," Arch. Phys. Med.Rehabil., Vol. 70, pp. 955-96, 1990.
5. N.G. Kim, C.K. You and J.J. Im, "A New Rehabilitation Training System for Postural Balance Control Using Virtual Reality Technology," IEEE Transaction on rahabilitation engineering, Vol. 7, No. 4, December 1999, pp. 482-485.