가상 자전거 시스템을 이용한 고령자의 평형감각 증진에 관한 연구

Study on the Improvement of Equilibrium Sense of the Elderly Using Virtual Bicycle System

정성환, 박용군,이상민*, 권대규*, 홍철운*, 김남균*
S. H. Jeong, Y. J. Piao, S. M. Lee*, T. K. Kwon*, C. U. Hong*, and N. G. Kim*

Abstract - In this paper, a new rehabilitation training system was developed to improve equilibrium sense by combining virtual reality technology with a fixed exercise bicycle. The subjects consisted of two groups. A group of young people, was compared against a group of elderly. We measured three different running modes of virtual bicycle system with two successive sets. The parameters measured were running time, velocity, the weight movement, the degree of the deviation from the road, and the variables about the center of pressure. The repeated training, our results showed that the running capability of the elderly improve compared. In addition, it was found out that the ability of postural control and the equilibrium sense was improved with the presentation of the visual feedback information of the distribution of weight. From the results of this experiment, we showed that our newly developed system might be useful in the diagnosis of equilibrium sense or in the improvement of the sense of sight and, somatic, and vestibular sense of the elderly in the field of rehabilitation training.

Key Words : 평형감각(Equilibrium sense), 가상자전거(Vritual bicycle), 가상현실(Virtual reality)

1. 서론

균형(balance)은 지지면 위에서 신체의 중심을 유지하는 능력을 말하며, 신체의 자세균형(postural balance) 유지에는 전정기관 및 소뇌의 평형기능, 근골격계의 지지작용, 그리고 운동기능과 감각기능 등이 기여한다. 최근 교통량의 증가로 인한 교통사고의 증가와 노령인구의 증가로 인한 뇌졸중 및 외상성 뇌손상 등의 중추신경계의 손상과 근골격계의 질환에 따른 자세균형 제어력의 손실이 환자의 재활치료에 많은 어려움을 초래함에 따라 자세균형 재활에 관한 관심이 높아지고 있다. 그러나, 기존의 측정장치는 자세균형 재활에 필요한 시각, 전정기관, 그리고 체성감각 등을 통합적으로 자극하지 못할 뿐 아니라 피훈련자가 단조로움을 느끼게 되는 단점이 있다. 또한, 단순하게 의자에 앉았다 일어났다 하거나 제자리 걷기를 하는 정도였으며, 이러한 경우 치료사의 주관적인 관찰에 의해 평형감각 능력이 평가 되었으며, 이로 인해 정량적인 데이터를 얻을 수 없었다. 조금 더 진보한 방법은 힘판에서 압력중심(Center Of Pressure;COP)의 움직임을 통한 재활훈련이 전부였다. 힘판을 이용한 재활 훈련은 자세의 안정과 보행능력 향상에는 효과가 있음이 입증되었지만 자세 균형에 필요한 시각이나 체성 감각 등을 효과적으로 자극하지 못하며, 피험자는 단조롭게 느낄 수 있다는 단점이 있다. Song과 Kim[1] 등은 가상현실기술과 자전거를 이용하여 평형감각 실조환자의 시각, 전정감각, 체성 감각을 정량적으로 진단하고 자극, 훈련시킬 수 있는 자전거 시뮬레이터를 개발하여 단조롭거나, 지루하지 않으며, 자세 제어에 대한 정량적인 분석이 가능한 시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 가상현실과 자전거를 이용하여 20대와 70대 노인을 대상으로 평형감각 훈련을 실시하여 노인의 자세균형 제어력의 평가와 재활 훈련의 효과를 정량적으로 평가하고자 하였다. 이에 통합 평형감각의 자극과 분석시스템을 이용하여 가상 자전거 훈련이 평형감각에 미치는 영향을 분석하고 재활훈련 장치로써 유용성을 검토하였다.

2. 시스템구성

2.1 하드웨어구성

Fig. 1은 자세 제어 훈련 재활을 위한 훈련시스템을 나타내고 있다. 훈련용 가상 자전거 시뮬레이터는 자전거와 계측장치로 구성된 하드웨어 시스템(hardware system)과 센서로부터 들어온 입력신호를 처리하고 가상환경을 제시하고 주행을 분석하는 소프트웨어 시스템(software system)으로 구성되어 있다.

계측센서부에서 자전거 시뮬레이터 핸들의 움직임을 검출하기 위해 1회전용 전위차계 변환기(potentiometric resistive transducers)를 이용하여 핸들 각을 측정하였다. 주행속도는 자전거의 페달의 회전운동을 통해 결정된다. 이를 위해 자석과 홀센서(hole sensor)를 사용하였다. 페달을 굴러 바퀴가 한 바퀴 회전 시 바퀴에 부착된 자석이 홀센서와 교차되면 센서에서는 5V가 발생하여 바퀴가 한 바퀴 회전했다는 것을 A/D 변환기를 통해서 컴퓨터로 입력되어진다.

저자 소개
전북대학교 대학원 의용생체공학과
*전북대학교 생체정보공학부

$$v = \frac{1}{t} \times k \qquad (1)$$

식 1은 속도를 산출하는 식이다. v는 주행속도, t는 홀센서로부터 들어오는 한 바퀴 회전 시 입력되는 두 신호간의 입력 간격 시간, k는 속도상수를 나타낸다. 여기서 검출되어지는 속도는 실시간으로 가상환경에서 주행속도에 반영된다.

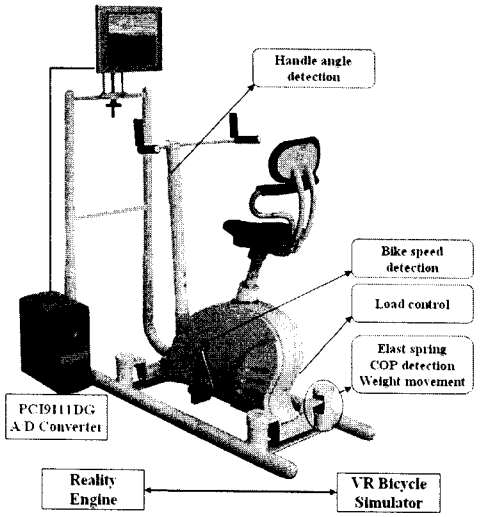

Fig. 1 A training system for postural control rehabilitation

Fig. 2는 가상 자전거를 주행 할 때에 피험자의 무게이동(Weight shift) 변화와 무게중심의 변화를 측정하고 분석하기 위하여 각각의 스프링 밑에 네 개의 로드셀을 장착한 것을 그림으로 나타낸 것이다.

무게와 무게중심의 방향을 측정할 수 있는 시스템을 가상 자전거 시스템에 이용하기 위하여 CAS사의 로드셀 MNT-100L과 LCT Series 모델을 이용하였다. 시뮬레이터의 앞뒤 혹은 좌우의 힘을 가해졌을 때 로드셀로부터의 신호를 증폭과 필터링을 거쳐 PCI9111DG 카드로 보내져 처리된다. 로드셀에서 출력되는 전압은 수 mV의 미세한 전압이 나오므로, 증폭회로를 구성하여 출력 전압레벨을 V단위로 올려주고, 저역 필터를 통과시켜 고주파 성분이 제거된 최종 출력 신호를 얻었다.

2.2 소프트웨어 구성

통합 평형감각 기능의 평가를 위해 가상 주행환경의 배경 이미지 생성을 포함하여 가상 주행환경을 개발하였다. 사용된 3차원 모델링 제작툴은 World-UP™ (SENSE8사), 3D Studio Max™이고, 프로그래밍은 가상환경 제작 그래픽 라이브러리인 SENSE8사의 WorldToolKit™ Release 9.0과 Microsoft Visual Studio C++ 6.0을 사용하였다.

Fig. 3는 도로 전체를 한눈에 볼 수 있도록 위에서 밑으로 내려다본 그림이다. 도로의 좌, 우 양옆에는 인도를 설치하였으며 인도 옆 잔디밭에는 나무, 숲, 장미 밭, 카페 등을 배치하였고, 구름은 애니메이션 기법을 적용하여 스스로 움직이도록 하였다. 환경 모델의 경우 20개 이상의 텍스쳐(texture) 이미지를 사용하였다. 도로 중앙에는 중앙선을 표시하여 피검자가 주행 시 참고하여 주행할 수 있도록 하였다. 또한, 이를 이용하면, 중앙선 이탈도 값을 산출하여 피험자의 주행 시 평형유지 평가 파라미터에도 이용 할 수 있다.

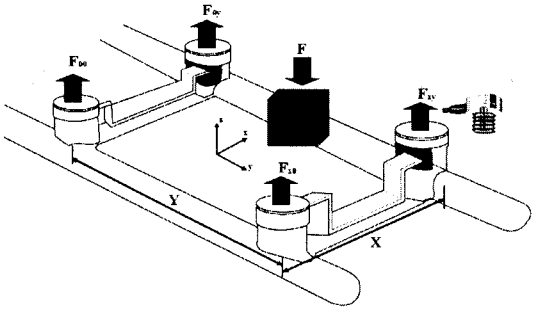

Fig. 2 Measuring COP and Weight Shift

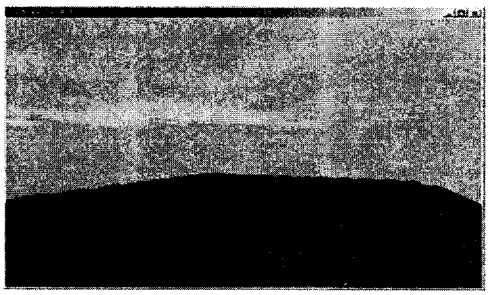

Fig. 3 Map of total map

3. 실험

개발된 가상 자전거 시뮬레이터가 평형감각 증진 훈련의 유용성을 알아보기 위하여 20대의 성인(age. 22~25)과 70대의 노인(age. 71)을 대상으로 시각적 피드백 제시에 따른 평형감각의 증진 여부를 분석 비교하였다.

Fig. 4는 가상 자전거 시뮬레이터를 이용한 3가지 주행 모드를 나타내고 있다. 첫 번째는 단지 중앙선에 맞추어 주행하는 시각적 피드백이 없는 경우 Non-Visual Feedback(NVF) 주행 모드 이고, 두 번째는 실시간으로 피험자의 좌우 무게중심의 이동이 나타나며 이때 도로의 중앙선에 맞춰서 주행하는 것과 함께 좌우 무게중심을 좌우 50 : 50 비율로 맞추도록 피험자에게 요구하는 Visual Feedback Weight Shift(VFW) 주행 모드, 세 번째로 실시간으로 무게의 중심을 제시하면서 주행하는 Visual Feedback Center of Pressure(VFC)모드가 있는 경우이다.

NVF모드, VFC모드, VFW모드에 따른 주행속도, 주행시간, 중앙선이탈도, 좌우 무게이동(Weight Shift), 무게중심(COP)의 이동면적을 비교 분석하였다. 실험에서 학습효과를 없애고 주행횟수가 지남에 따라 나타나는 결과를 보기 위하여 시각적 피드백이 있는 경우와 없는 경우를 반복적으로 주행 하였다. 각 주행 모드에 대한 훈련 효과를 높이기 위해 각 주행모드를 2번 반복 실험하였다. 각 주행모드를 2회씩 주행하며 같은 모드의 휴식 시간은 3분이며 다른 주행 모드

와는 5분으로 분리하여 1회 주행 실험 시 소요되는 시간은 약 45~60분으로 실험은 1~2일 간격으로 총 10회를 실시하였다.

(a) (b) (c)

Fig. 4 Three training modes using virtual cycling simulator: (a) Non-visual feedback (b) Visual feedback of the weight shift (c) Visual feedback of the center of pressure

4. 결과 및 고찰

4.1 주행 시간

Fig. 5는 주행 시 20대와 70대의 각 주행 횟수별 주행 시간을 나타낸 것이다. 20대와 70대 모두 NVF 모드에서 주행시간이 가장 짧았고 VFW 모드에서는 가장 주행시간이 가장 길었다. 이는 자전거 주행 시 NVF 모드는 주행 정보가 단순히 주행 속도만을 제시하기 때문에 주행의 어려움 없이 주행을 하여 주행시간이 가장 짧게 나타났으며 VFW 모드에서는 주행 정보와 주행 시에 피험자의 무게이동의 정보가 주행정보와 동시에 피드백되기 때문에 VFW 모드에서는 주행시간이 가장 길게 나타나는 경향을 보였다.

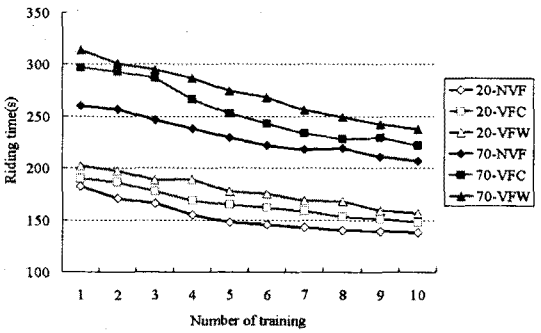

Fig. 5 The variation of riding time

4.2 Weight shift

Fig. 6은 20대, Fig. 7은 70대의 주행 모드별 훈련 전후의 무게이동을 나타낸 것이다. 20대는 NVF모드에서 초기 훈련 전 기준으로 2.59%, VFC모드에서는 2.27%, VFW모드에서는 3.24% 감소하는 경향을 얻었다. 70대는 NVF모드에서 훈련전을 기준으로 2.5%, VFC모드에서는 2.72%, VFW모드에서는 2.95% 무게 이동이 감소하여 평형상태인 50%에 가까워짐을 알 수 있다. 이는 좌우의 무게이동을 제시하는 VFW모드에서 가장 많은 무게 감소율을 보였다. 그 이유는 주행 시 모니터에 피드백 되는 무게이동 정보에 신경을 써서 주행하였다는 것으로 볼 수 있다.

5. 결론

본 연구는 가상현실 기술을 이용한 PC기반의 가상 자전거 시스템을 개발하여 평형감각 증진 훈련용 장치로서 유용성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 가상 자전거 주행 시 visual feedback이 없는 NVF, 주행 모드에서는 주행시간이 단축되어 가상 자전거 주행상태를 향상시킴을 알 수 있었다.
2. 좌우 무게이동과 무게중심의 visual feedback이 있는 VFC 모드와 VFW모드에서 훈련 후 좌우 무게이동과 COP 면적이 감소하여 가상 자전거 주행 시 안정감 있는 주행을 하였으며 평형감각을 조절, 훈련시킴을 알 수 있었다.

따라서 본 시스템은 평형감각의 장애가 있는 자세균형 이상 환자에서 평형상태를 정량적으로 측정, 분석을 가능하게 하고, 반복 훈련으로 평형감각의 조절과 그 기능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 결론적으로, 본 시스템은 통합평형감각 분석 및 훈련용 재활장치로 유용함을 알 수 있었다.

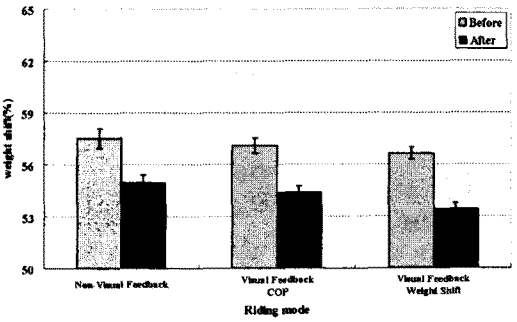

Fig. 6 The variation of weight shift of twenties

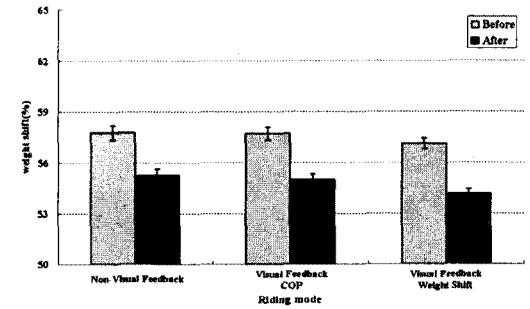

Fig. 7 The variation of weight shift of seventies

후기

이 논문은 2005년도 교육인적자원부 지방연구중심대학육성사업 헬스케어기술개발사업단의 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

[1] C. G. Song, J. Y. Kim and N. G. Kim, "A New Postural Balance Control System for Rehabilitation Training Based on Virtual Cycling", IEEE, Vol. 8, No. 2, pp. 200-207, 2004.

[2] P. H. Timo, H. Meeli, and A. Heikki, "Postural control measured by visual feedback posturography," ORL, Vol. 64, pp. 186-190, 2002.