가상현실을 이용한 통합 평형감각 측정 및 진단 시스템의 개발

°김종윤*, 송철규**, 김남균**
* 전북대학교 대학원 의용생체공학과
** 전북대학교 공과대학 생체공학과

The Development Of Union Balance Sensory Measurement And Diagnosis System Using Virtual Reality

°Jong Yun Kim*, C. G. Song**, N. G. Kim**
* Dept. of Biomedical Eng., Graduate School, Chonbuk National University
** Dept. of Bionics, College of Eng., Chonbuk National University

Abstract

최근 각종 질병과 사고로 평형감각에 이상이 있는 환자가 증가하고 있다. 이들의 빠른 사회로의 환원을 위해서는 평형감각을 회복시킬 수 있는 효율적인 재활훈련이 필요하다. 하지만 기존 장비들은 근력을 길러주거나 특정감각기관만을 훈련시켜주는 정도의 재활만이 가능하다.

따라서 본 연구에서는 가상현실기술과 자전거를 이용하여 평형감각 실조환자의 진단 및 시각, 전정감각, 체성감각 등을 효율적으로 진단하고 자극, 훈련시킬 수 있는 bike simulator system을 개발하였다. 그리고 본 시스템이 재활훈련에 유용한지 실험, 검토하였다. 실험결과 본 시스템을 통한 반복실험결과 COP의 값을 통하여 평형감각의 정량적 측정, 분석이 가능하였고, 훈련시 COP를 실시간으로 visual feedback함으로서 평형감각의 조절과 balance의 유지기능이 향상함을 확인하였고 본 시스템이 통합평형감각 측정 및 훈련용 재활장비로 유용함을 알 수 있었다.

Keywords: virtual reality, balance, simulator, sensory

서 론

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.

이들의 빠른 사회로의 환원을 위해서는 평형감각을 회복시킬 수 있는 효율적인 재활훈련이 필요하다. 하지만 기존 장비들은 근력을

본 연구는 보건복지부 선도기술의료공학기술개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임. (HMP-98-G-1-005-A)

길러주거나 특정감각기관만을 훈련시켜주는 정도의 재활만이 가능하다. 평형감각실조 환자들에게는 단편적인 감각제시는 진단이나 치료에 별 효과가 없으며, 통합적인 자극의 제시를 할 수 있는 시스템을 이용한 통합적 진단 및 훈련기기가 필요하다[1-3].

따라서 본 연구에서는 가상현실기술과 자전거를 이용하여 평형감각 실조환자의 진단 및 시각, 전정감각, 체성감각 등을 효율적으로 진단하고 자극, 훈련시킬 수 있는 bike simulator system을 개발하였다. 또한 가상환경 주행시 함께 저장되는 거리, 핸들각, 속력, COP의 x와 y축값, 이탈도, 체중이동값, 주행시간, 충돌횟수, weight shift의 평균, 핸들평균움직임 각도, 핸들움직임 각도의 절대값의 총합, 평균이탈도, 이탈도절대값의 총합 등을 이용하여 평형상태 및 주행상태를 분석하도록 하였으며, 본 시스템이 평형감각 측정, 분석 및 재활훈련장치로서 유용한지 검토하였다.

본 론

1. 시스템 구성

통합 평형감각 제시 및 측정을 위한 시스템의 구성은 크게 계측장치들이 붙은 자전거 시스템과 자전거 시스템으로부터 들어오는 신호들을 처리하여 가상환경을 제시하고 주행을 분석을 할 수 있는 컴퓨터 시스템의 두 부분으로 구성되어진다. <그림 1>은 통합 시스템 개략적인 구성도이고, <그림 2>는 시스템의 운영을 나타내고 있다.

<그림 2>에 보는 바와 같이 자전거의 방향을 결정하고 핸들의 움직임에 따라서 가상환경을 주행할 수 있도록 전위차계를 달았다. 그리고 자전거 뒤쪽 휠부분에는 자석과 홀센서를 달아 휠의 회전속도를 계산할 수 있도록 하였으며, COP와 weight shift를 구할 수 있도록 자전거 네 모서리에 로드셀을 달았고 각 로드셀에 증폭 및 필터회로를 덧붙였다. 전위차계, 홀센서, 로드셀로부터 나오는 신호는 ACL-711b라는 12 bit, 8 채널인 A/D converter를 통하여 컴퓨터에서 입력받고 이를 처리하여 가상환경 갱신에 사용하도록 하였다. 그리고 실제 자전거 타는 느낌을주기 위해서 고정시키지 않고 자전거 밑 네 부분에 스프링을 달아서 피험자의 움직임대로 자전거도 함께 능동적으로 움직일 수 있도록 하였다. 페달의 road는 오르막, 내리막 길에 따라서 컴퓨터에서 RS-232를 통해서 모터를 정역회전 제어할 수 있도록 구성된 원칩 마이크로 프로세서인 PIC16C84와 기타 회로들을 통해서 부하를 주도록 하였다. 또한 3차원 위치측정기인 Fastrak를 이용하여 피험자의 머리 움직임도 모니터링 할 수 있도록 하였다.

가상현실 및 시스템의 주행 및 분석 소프트웨어는 가상환경의 경우 3D Studio Max와 기타 graphic관련 툴을 이용하여 이미지 들을 제작하였고, SENSE8사의 WorldToolKit과 Visual C++ 6.0을 이용하여 종합적인 가상환경 제시와 주행 및 분석 소프트웨어를 제작하였다.

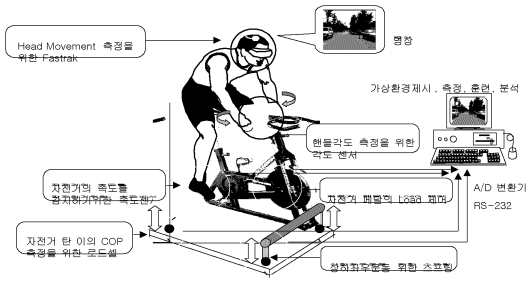


그림 1. 시스템 구성도

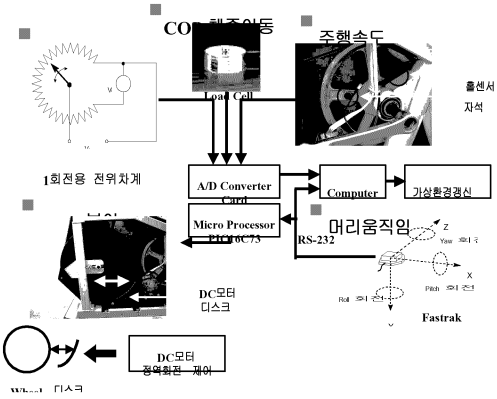


그림 2. 시스템 운영도

<그림 3>은 VR영상 프로그램의 전체적인 운영을 나타내고 있는 블록다이어그램이다. 구름, 길, 나무, 잔디, 꽃, 건물, 하늘 등의 3D Modeling을 하여 space partitioning 과정을 거친다. 이 과정이 끝나고 나면 주행과 함께 피험자의 행동에 따라 변화하는 자전거의 핸들각, 페달속도, 머리의 움직임, COP값 등을 읽어 가상환경에 반영하여 재구성하고, 특히 본 시스템이 평형감각에 이상이 있는 환자를 지낭한 것이므로 주행능력이 좋지 않아 길을 크게 이탈하는 것을 방지하기 위하여 도로 가에 보도블럭을 설치하였고, collision detection 과정을 거쳐서 도로를 벗어나는 것이 불가능하도록 하였다. 또한 가상환경주행시 오르막길, 내리막 길 구간에서는 그에 상응하는 토드를 줄 수 있도록 RS-232를 통하여 DC 모터의 정역회전을 제어하여 load를 부여하는 회로에 신호를 보내도록 하였다. 또한 디스플레이 장치에 따라서 2D 혹은 3D로 나타낼 수 있도록 하였다.

<그림 4>는 주행 후의 분석화면을 나타내고 있다. 좌측의 분석화면은 각 데이터를 그래프화한 것이 특징이다. 중앙선 이탈도, COP X, Y값, 핸들각, 머리움직임, 스피드, 100m 구간별 주행시간 및 총주행시간 등을 각 그래프들을 비교하여 통합적으로 평가, 분석할 수 있도록 구성하였다. 우측의 분석화면은 총주행거리, 총주행시간, 평균속력, 최고속력, 충돌횟수, weight shift의 평균, total COP length, COP X, Y값의 평균, 총 머리움직임 값, 머리움직임 X, Y, Z의 평균값, 평균핸들각도, 핸들변화의 총합, 중앙선 이탈도, 이탈도의 절대치 총합을 수치적으로 보여주는 분석화면이다. 특히 이 분석화면은 전체구간에 대한 수치화와 직선구간, 오르막구간, 내리막구간, 좌회전구간, 우회전구간으로 나누어 평형 및 주행상태를 분석, 평가 할 수 있도록 하였다.

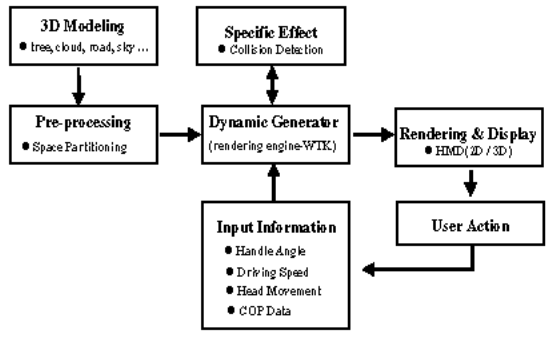


그림 3. VR영상 프로그램 구성도

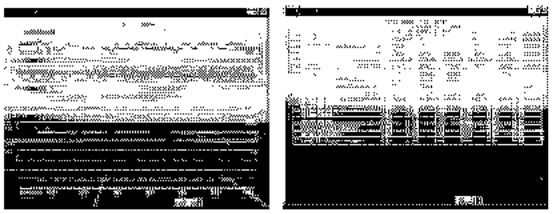


그림 4. 분석화면

2. 실험방법

실험은 <그림 5>에 보여지는 720 m의 가상도로를 주행하도록 하였다. 도로의 폭은 중앙선을 기준으로 좌우 3 m로서 총 6 m이다. 도로는 직선구간, 오르막구간, 내리막구간, 좌회전구간, 우회전구간 등의 다양한 형태의 순환로이다.

실험진행시 피험자에게 실험의 개요 및 시스템에 관한 전반적인 사항을 이야기하였으며, 한번의 720 m 주행을 연습한 후 본 실험에 들어가도록 하였다. 주행시 피험자에게 중앙선을 따라서 주행하도록 하였다.

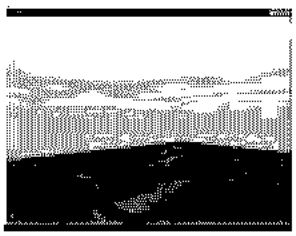
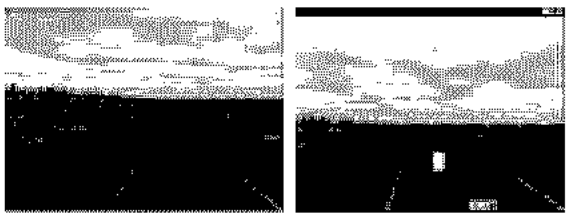


그림 5. 주행도로



(a) (b)

그림 6. (a) Visual feedback이 없는 경우
(b) Visual feedback이 있는 경우

특별히 구분되는 두가지 모드가 있는데 하나는 단지 중앙선에 맞춰서 주행하는 visual feedback이 없는 경우와 다른 하나는 실시간으로 weight shift가 나타나며 이때 중앙선에 맞춰서 주행하는 것과 함께 weight shift를 좌우 50:50 으로 맞추도록 피험자에 요구하는 visual feedback이 있는 경우이다. <그림 6>은 visual feedback이 없는 경우와 있는 경우의 주행화면을 나타내고 있다.

또한 실험은 학습효과를 없애고 주행횟수가 지남에 따라 나타나는 결과를 보기위하여 visual feedback이 없는 경우과 있는 경우를 반복적으로 3번 실시하였다. <그림 7>은 실험 진행과정을 나타내고 있는 블록다이어그램이다.

결과 및 고찰

<그림 7>은 visual feedback이 없는 경우와 있는 경우에서의 3번 실험한 주행시간의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 보면 visual feedback이 없는 경우 3번째 주행하는 동안 1회때보다 3회때가 10초 시간을 단축시켰음을 알 수 있다. 그러나 visual feedback 상태에서

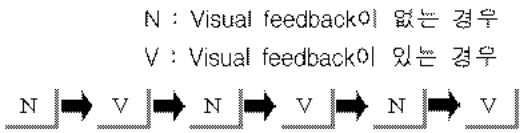


그림 7. 실험순서

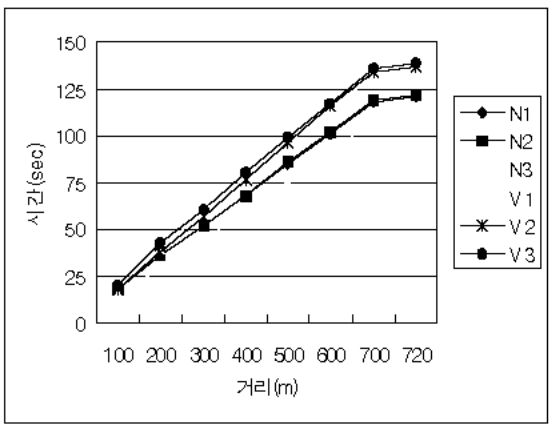


그림 8. 주행시간 변화

는 시간의 차이가 3초 정도로 visual feedback이 없는 경우와 있는 경우가 차이가 남을 알 수 있었다. visual feedback 상태에서는 weight shift의 평형유지에 신경을 써 주행시간이 visual feedback이 없는 경우의 10초에 비하여 주행속도를 현저히 줄이지 못함을 알 수 있었다. <표 1>은 주행 상태를 나타내는 데이터 표이다. 표를 보면 visual feedback이 없는 경우의 주행시간의 평균이 visual feedback이 있는 경우보다 19.33초나 빠름을 알 수 있다.

<그림 9>는 visual feedback이 없는 경우에서와 있는 상태에서의 이탈도를 나타내고 있다. 두 상태 모두 이탈도가 감소함을 알 수 있다. visual feedback이 없는 경우에서의 3번째 주행시 이탈도가 1번째 주행시보다 낮아진 것은 사실이지만 2번째보단 조금 많다. 이는 3번째 주행에서 1, 2번째보다 10초이상 단축시킨 주행속력과 연관이 있음을 알 수 있다. 속도가 빨라진 만큼 이탈도에는 신경을 쓰지 못했음을 알 수 있다. 따라서 속도와 이탈도가 연관이 있음을 알 수 있다.

평균속력과 최고속력을 보면 visual feedback.이 없는 경우가 있는 경우보다 3.25 m/sec와 2.50 m/sec로 높음을 볼 수 있다. 또한 visual feedback이 없는 경우의 최고속력을 보면, 1회때보다 10초나 빠른 주행시간을 기록했던, 3회가 26.82 m/sec로 이 또한 1회의 24.28 m/sec에 비하여 2.54 m/sec 높음을 볼 수 있다.

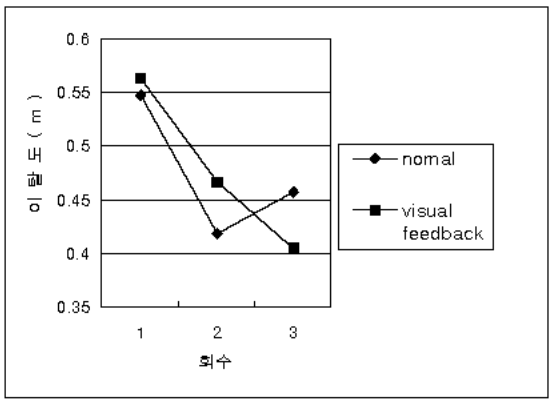


그림 9. 이탈도 변화

표 1. 주행데이터

	상태	1회	2회	3회	평균
주행시간	N	121	122	111	118.00
	V	136	137	139	137.33
평균속력	N	21.31	21.33	23.30	21.98
	V	18.99	18.64	18.58	18.73
최고속력	N	24.26	24.46	26.82	25.18
	V	21.12	24.46	22.48	22.68
평균체중 이동	N	56.63	54.40	54.73	55.25
	V	51.91	52.41	51.80	52.04
COP 누적평균	N	28.53	27.90	31.93	29.45
	V	18.31	18.02	15.43	17.25
각변화 평균	N	0.99	0.91	1.04	0.98
	V	0.75	0.80	0.78	0.77

N : Visual feedback이 없는 경우
V : Visual feedback이 있는 경우

평균체중이동과 COP 누적평균을 보면 weight shift의 평형을 유지하도록 요구했던 visual feedback상태가 있는 경우가 없는경우에 비해서 COP 누적값은 12.20, 평균체중이동값은 3.21이 적음을 알 수 있다. 특히 visual feedback이 없는 경우의 3번째 주행시의 COP 누적평균을 보면 31.93으로 다른 값들에 비해서 큼을 알 수 있다. 이는 시간을 단축되었고, 시간을 단축하기 위해서는 그만큼 체중이동을 좌우로 많이 이동시키며 자전거 페달을 밟았음을 의미한다.

<표 1>을 보면 visual feedback 상태가 평균체중이동값이 52.04로 visual feedback이 없는 경우의 55.25에 비하여 3.21적고 평형상태인 50에 2.04 차이로 가까움을 알 수 있다. 따라서 이 결과들로 visual feedback이 있는 경우가 평형감각을 소실하고 훈련할 수 있다는 결과를 얻을 수 있다. 그리고 visual feedback이 없는 경우 주로 주행시간, 이탈도 등이 주행상태가 거듭될수록 좋아졌다. 대조적으로 visual feedback이 있는 경우 주행시간 등의 주행상태는 그리 크게 좋아지지 않았지만 평형과 관련된 COP 누적거리, weight shift상태가 좋아졌고 평형감각 및 상태를 훈련 조절할 수 있음을 알 수 있다.

따라서 재활초기엔 visual feedback이 있는 보드로 평형감각을 중심적으로 훈련한 후 평형감각이 많이 좋아지면 visual feedback이 없는 경우로 전환하는 것도 좋은 훈련방법이 될 것으로 사료된다.

결 론

본 연구는 가상현실기술과 자전거를 이용한 평형감각측정 및 훈련용 bike simulator system을 개발하여 재활용으로서 그 유용성을 검토하였다. 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. visual feedback이 있는 경우에는 평균체중이동값과 COP 누적평균값이 <표 1>에 나타난 것처럼 크게 개선되었고 평형감각을 소실, 훈련시킴을 알 수 있었다.

2. visual feedback이 없는 경우에는 주행시간, 이탈도를 <표1>에 나타나는 것처럼 크게 개선시켜 주행상태를 향상시킴을 알 수 있었다.

3. visual feedback이 있는 경우, 없는 경우 모두 훈련을 거듭함에 따라 각각 주행능력과 평형감각 소실능력을 향상시킴을 알 수 있었고 훈련의 효과가 있음을 알 수 있었다.

따라서, 위의 결론을 종합해본 결과 본 시스템이 주행상태의 향상뿐 아니라 평형감각의 정량적 측정, 분석 및 평형감각의 소실과 기능의 향상이 있음을 확인하였고, 동합평형감각 측정 및 훈련용 재활장비로 유용함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Di.Fabio RP, Badke MB, Relationship of sensory organization to balance function in patients with hemiplegia, Physical Therapy, 1990
2. 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
3. J. P. Kelly, The Sense of Balance, Principles of Neuroscience(3rd Edition), Appleton & Lange, 1991