

평형 감각 증진을 위한 새로운 훈련 장치의 개발

이정옥¹, 박용근¹, 노방환², 홍철운, 김남균

전북대학교 공과대학 생체정보공학부, ¹전북대학교 대학원 의용생체공학과, ²실버공학연구소
(2004년 2월 26일 접수, 2004년 12월 14일 채택)

Development of a New Training System for the Improvement of Equilibrium Sense

Jung Ok Lee¹, Young Gun Park¹, Pang Hwang No², Chul Un Hong,
Nam Gyun Kim

Division of Bionics and Bioinformatics, College of Eng., Chonbuk National University,

¹Dept. of Biomedical Engineering, Graduate school, Chonbuk National University,

²Research Center of Silver Engineering

(Received February 26, 2004. Accepted December 14, 2004)

요약 : 본 논문에서는 불안정판(unstable platform)을 이용한 새로운 인체 평형감각 증진용 훈련 시스템을 제안하였다. 본 시스템은 불안정판, 컴퓨터 인터페이스, 다양한 소프트웨어로 구성되어 있다. 불안정판은 기울기 센서와 무선 모듈을 내장한 타원형의 단순한 구조이다. 균형 훈련의 효과를 평가하기 위해 표적으로의 이동시간(moving time to the target)과 표적 내 유지시간(duration time in the target)과 같은 파라미터(parameter)를 측정하였다. 균형 훈련은 2주간 행해졌고, 훈련 프로그램에 따라 피험자를 두 그룹으로 나누었다. 그 결과, sine curve trace (SCT)와 block game의 훈련 프로그램을 이용한 반복적인 훈련을 통해 이동시간은 짧아졌고, 유지시간은 길어졌다. 특히, 피험자가 균형을 유지하기 어려웠던 방향에서의 개선이 두드러졌다. 이로써 본 시스템은 훈련 후 피험자의 평형감각을 향상시킬 수 있었고, 효과적인 평형감각 훈련시스템으로써 임상에의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

Abstract : We propose a new training system for the improvement of equilibrium sense using unstable platform. This system consists of unstable platform, computer interface and various softwares. The unstable platform was a simple structure of elliptical-type which included tilt sensor and wireless RF module. To evaluate the effect of balance training, we measured the parameters such as the moving time to the target and duration to maintain cursor in the target of screen. Balance training was carried out for two weeks and we classified the subjects into two groups by the training program. As a result, the moving time was reduced and duration time was lengthened through the repeating training of equilibrium sense using training program of sine curve trace(SCT) and Block game. Especially, there was remarkable improvement at direction which was too difficult for the subjects to balance their body. It was showed that this system had an effect on improving equilibrium sense and might be applied to clinical use as an effective balance training system.

Key words : Equilibrium sense, Unstable platform, Biofeedback, Training device

서론

최근 평균수명의 연장으로 인한 사회 노년층의 증가와 교통사고 발생이 빈번함에 따라 전정계 이상 및 체성 감각계의 기능 손상에 의한 자세 균형 환자가 점점 증가하고 있다. 특히 균형 감각은 특정 공간 영역 내에서 신체의 무게 중심을 유지하기 위하여 시각, 체성 감각 및 전정 기관 등의 세 가지 감각 시스템이 통합적으로 매우 중요한

작용을 하고 있기 때문에 고령자를 위한 효과적인 재활 훈련 방법 제시가 필수 불가결하다[1][2].

현재 신체 평형 제어 기능의 계측 및 훈련에 관한 연구는 지지 면의 안정성 변화를 이용한 장치 개발에서 최근에는 훈련 방법 및 훈련 환경의 개선에 대한 연구가 이루어지고 있다. 평형 능력 평가는 힘 판(force plate) 및 불안정 발판 위에서 고정된 자세를 유지하거나 외력에 의한 움직임에 주거나 수의적으로 움직일 때 또는 시각을 차단했을 때의 균형 수행 능력을 평가한다. 이를 위해 기저면에 대한 자세 동요도(postural sway)를 기록하고[3-6], 작업 수행에 걸리는 시간, 신체의 압력 중심(center of pressure, COP)을 연속적으로 계측하여 자세 안정도를 정량적으로 계산한다[7-8]. 이밖에도 바이오피드백을 통한 자세 균형 제어 능력 훈련으로 동적 균형 능력의 향상을 확인하였고

본 논문은 과학기술부 주관 특정연구 개발사업(M10427 020001-0412702-00110) 지원 연구비에 의하여 연구되었습니다.

통신저자 : 김남균, (561-756) 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14,

전북대학교 공과대학 의용생체공학과

Tel. 063-270-2246, Fax. 063-270-2247

E-mail. ngkim@moak.chonbuk.ac.kr

[9], 최근에 Kim et. al[10]은 가상현실과 자전거를 이용하여 가상현실 시뮬레이터 훈련 방법을 제안하였다.

그러나, 이러한 기존의 연구 및 재활 훈련 장치는 주로 안정한 지지면 위에서 균형을 유지하는 면에 초점이 맞춰져 있어 자세 균형 재확에 필요한 시각, 전정 감각, 체성 감각을 통합적으로 자극하지 못할 뿐만 아니라, 불안정판의 경우는 전후좌우의 방향으로만 움직이거나 시각적 피드백이 없는 단순한 형태였다. 또한, 바이오피드백 시스템은 의사 또는 화면의 지시에 따라 움직이거나 외부에서 힘 판을 움직였을 때 균형을 유지하는 수동적인 형태로 이루어져 있어 피험자가 장시간의 훈련을 하기 어려웠다. 그리고 지금까지의 평형감각 훈련 기술은 단순히 기능성만을 강조했다기 때문에 같은 동작을 되풀이되는 단조로움 때문에 계획적으로 장기간 훈련을 필요로 하는 사람에게는 효과적인 훈련 방법이라고 언급하기에는 약간의 부리가 있다고 할 수 있다. 이와 같은 훈련 환경은 사용자로 하여금 운동 효과를 저하시켜 장시간 동안 훈련을 할 수 없게 만들 수 있을 뿐만 아니라 훈련을 해야겠다는 의욕마저 저하 시킬 수 있다.

이와 같은 단점을 보완하고 훈련의 효과를 최대화하기 위하여 본 연구에서는 불안정판과 새로운 훈련 프로그램 및 게임으로 시청각, 그리고 평형감각을 동시에 자극하는 인체 평형감각 증진용 훈련 시스템을 개발하였다. 또한, 정상인 남녀를 대상으로 불안정판에서 균형 수행력과 시각을 이용한 균형 훈련의 효과를 평가하여 효과적인 재활 훈련 장치로서의 가능성을 확인하고자 하였다.

평형감각 훈련 시스템 구성

그림 1은 본 연구에서 제작한 평형감각 훈련 장치이다. 크게 훈련모니터링 장치와 불안정 발판 장치로 나눌 수 있다. 훈련모니터링 및 자극제시를 위한 모니터(monitor)와 실제 훈련을 위한 불안정 발판 장치, 데이터의 처리 및 저장장치를 위한 컴퓨터로 구성하였다. 또한, 장시간의 훈련에도 단조롭거나 피로하지 않도록 다양한 영상과 음원을 제공하고 사용자의 훈련 수준에 따라 난이도를 조절가능 하도록 소프트웨어를 구성하였다.

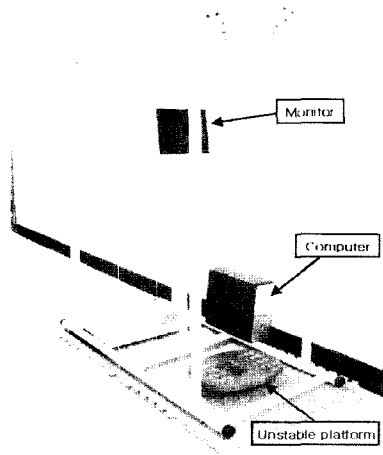


그림 1. 평형감각 훈련 시스템
Fig. 1. Training system for improvement of equilibrium sense

1. 하드웨어

그림 2는 제작된 불안정 발판 장치이다. 본 시스템의 불안정 발판은 자세 균형 제어에 필요한 감각들을 통합적으로 자극할 수 있는 수단으로서, 기울기 센서(Tilt sensor)와 무선 송신부, 전원 공급 장치 등을 내장한 형태로 제작하였다. 기울기센서는 발판의 기울어진 정도를 감지하는데 사용하였고, 습득한 데이터는 무선 모듈을 통해 중앙 제어 장치에 전송하도록 구성하였다. 발판은 최대로 전후 28°, 좌우 18°의 기울임이 가능하고, 발판의 움직임에 대응한 커서의 움직임을 실시간으로 모니터에서 확인할 수 있었다. 또한, 발이 미끄러지지 않도록 하기 위해 점자블록에 사용되는 스테인레스 점자 타일을 부착하였다.

신체 평형감의 측정모듈은 2개의 1축 기울기 센서를 이용하여 사용자의 움직임에 따른 발판의 X, Y축의 각도변화를 검출하고, RF 모듈을 통해 컴퓨터에 전송하여 저장 및 모니터에 디스플레이 하도록 구성하였다.

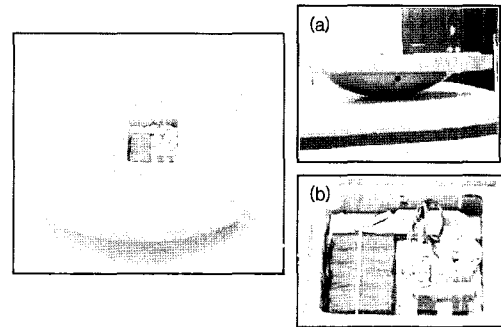


그림 2. 불안정 발판장치 (a) 옆면 (b) 데이터 검출 및 송신 모듈
Fig. 2. Unstable platform
(a) side view (b) module for data detection and transmission

기울기 센서는 각도 변화에 따라 출력 전압 값이 기준 전압(0°일 때의 전압)을 중심으로 변화하는데, 본 연구에 사용된 기울기 센서(Das technology Co. SA1, Measuring range ±60°, Sensitivity 30mV/°)의 경우, 기준전압이 2.5V 이므로, 좌측으로 30도 기울이면 -2.4V, 오른쪽으로 30도 기울이면 2.6V를 출력한다.

그림 3은 컴퓨터와 발판장치간의 인터페이스를 나타낸 것으로, 인체 하중에 의한 불안정 발판의 움직임을 기울기 센서가 감지하면 A/D 변환을 거쳐 무선 송신된다. 이를 중앙 제어 장치에서 기억장치에 데이터를 저장하고 동시에 모니터에 움직임 정도를 디스플레이 하도록 하였다. 따라서, 사용자는 자신의 움직임을 실시간으로 관찰할 수 있어 시각적 바이오피드백(visual biofeedback) 훈련이 가능하였다.

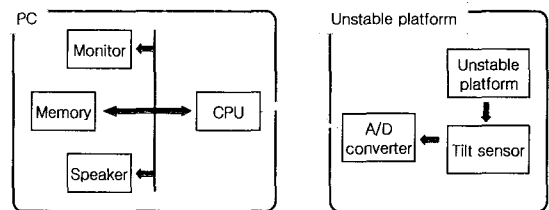


그림 3. PC와 발판 장치간의 인터페이스
Fig. 3. Interface between the PC and Unstable Platform

2. 소프트웨어

본 훈련 장치의 소프트웨어는 Microsoft사의 Visual C++과 National Instrument사의 LabVIEW 6.1 툴로 개발하였다. 그림 4는 전체적인 구성을 나타낸 것으로 데이터베이스(database, DB)를 이용하여 사용자의 데이터를 등록하여 사용자의 기본 정보 및 훈련 정보를 검색할 수 있도록 한 환자 관리, 사용자의 균형감각을 평가할 수 있는 평가메뉴와 게임을 이용한 훈련 메뉴, 마지막으로 분석 프로그램을 통해 측정된 데이터를 분석하여 평형감각의 평가와 훈련 효과를 확인할 수 있도록 하였다.

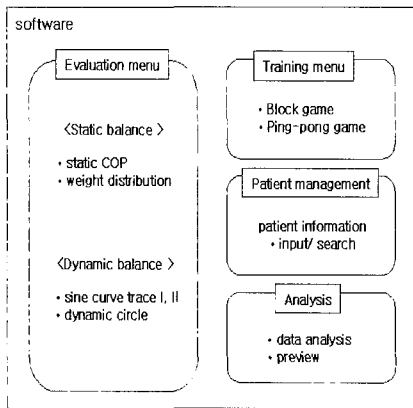


그림 4. 평형감각 훈련 시스템의 소프트웨어 구성
Fig. 4. Software configuration of training system for equilibrium sense

그림 5는 실제 피험자가 불안정판 위에 서서 균형 능력의 평가를 위한 데이터를 수집하는데 사용되는 평가메뉴이다. 그림 5(a)는 정적 균형을 평가할 수 있는 정적 COP, 그림 5(b)와 (c)는 동적 균형 평가를 위한 sine curve trace(SCT)와 dynamic circle(DC) 평가를 나타낸다. SCT I은 Y축을 따라 정현파 곡선이 이동하고 피험자는 X축 상에서 좌우로 몸을 움직여 COP를 이동시키는 방식의 평가 프로그램이다. DC 평가는 피험자가 COP를 모니터상에 표시된 원을 향하여 이동하고 실험이 끝날 때까지 유지하는 것으로, 원은 정면, 후면, 좌측, 우측, 정면좌측, 정면우측, 후면좌측, 후면우측의 8방향에서 제시된다. 그림 6은 훈련 메뉴로서, 좌우(Left-Right) 방향으로의 훈련을 위한 벽돌깨기 게임과 전후방향(Anterior-Posterior)의 훈련을 위한 탁구게임을 개발하였다[11].

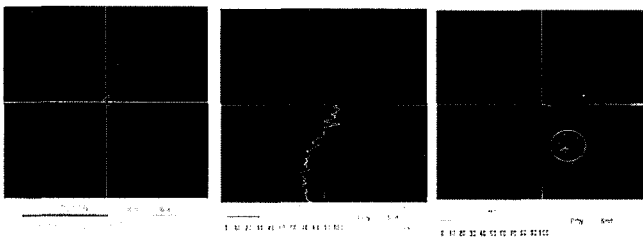


그림 5. 평가메뉴 (a) 정적균형평가 (b),(c) 동적균형평가
Fig. 5. Evaluation menu (a) Static balance evaluation (b), (c) Dynamic balance evaluation

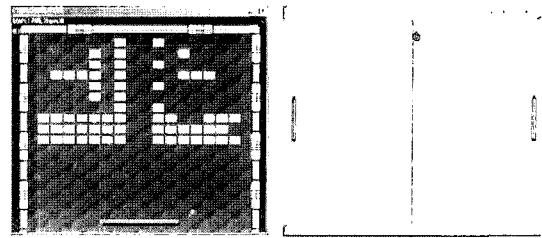


그림 6. 훈련메뉴 (좌) 벽돌깨기 게임 (우) 탁구게임
Fig. 6. Training menu (L) Block game (R) Ping-pong game

그림 7에 나타낸 분석 프로그램은 LabVIEW를 이용하여 훈련 직후 습득한 데이터와 화면에 제시된 시표를 비교/분석할 수 있도록 하였다. 동적 균형 평가 후 분석은 피험자가 평가 프로그램을 수행할 때 측정되고 저장되는 x와 y값을 토대로 sine curve에서 벗어난 오차를 계산할 수 있고, DC에서 머문 시간, 이동 시간 등을 분석할 수 있도록 하였다. 이동시간(movement time)은 COP가 중심부에서 목표물까지 도달하는 데 소요되는 시간(sec)이고, 원에 머문 시간은 측정이 끝날 때까지 COP가 원 안에 위치했던 총 시간을 의미한다.

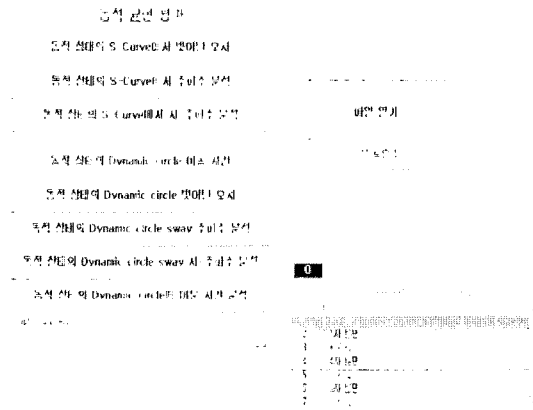


그림 7. 동적 균형 평가를 위한 분석 프로그램
Fig. 7. Analysis program for dynamic balance evaluation

실험 방법

불안정판을 이용한 훈련 효과를 평가하기 위하여 20대의 건강한 남녀 6명(평균연령 25세, 남 5명, 여 1명)을 대상으로 주 5회씩 2주간 동적 균형 훈련을 실시하였다. 훈련의 종류에 따라 피험자를 표 1과 같이 나누었다.

표 1. 훈련 프로그램에 따른 피험자 분류

Table 1. Division of the subjects by the training program

	Training direction	Training program
Group 1	Left-Right	SCT, block game
Group 2	Left-Right	block game

그림 8은 본 훈련 장치를 이용하여 피험자가 실제 훈련을 하고 있는 모습이다. 실험 진행 전 피험자에게 실험의 개요 및 시스템에 관한 전반적인 사항을 설명하였으며, 불안정판에 익숙해지도록 5분간 연습 후 본 실험에 들어가도록 하였다. 평가는 훈련 효과를 확인하고 학습의 영향을 배제하기 위해 초기평가, 중간평가, 최종평가로 3차례에 걸쳐 1주일 간격으로 실시하였으며 자세균형 훈련은 주 5회, 2주간 매일 20분 이상 훈련하도록 하였다. 하나의 평가가 끝나면 3분간의 휴식이 주어지고, 그 외에도 피험자가 원하면 곧바로 실험을 중지하고 휴식을 취하게 하였다.

훈련 프로그램으로는 특정 방향에 대한 훈련의 영향을 보기 위해 좌우 움직임만으로 이루어진 SCT와 벽돌 깨기 게임을 선정하였다. 훈련에 대한 평가는 평가 프로그램에 대한 학습효과를 배제하고, 각 방향에 대한 훈련 효과를 보기 위해 SCT가 아닌 DC평가를 실시하였다. 동적 자세균형 평가를 위해 평가 파라미터(parameter)인 COP 이동시간(moving time)과 COP 유지시간(duration time)을 측정하였다. sampling rate은 50Hz로, 초당 수집된 데이터의 개수를 의미하고, 실험시간이 30초이므로 총 데이터는 1500개이다. 측정시간과 sampling rate이 일정하므로, COP 이동시간이 짧고 COP 유지시간은 길다는 것은 피험자가 COP를 빠르게 최단거리로 원 안으로 이동시켜 큰 동요 없이 오랫동안 평형을 유지하였다고 볼 수 있다. 따라서 COP 이동시간은 짧을수록, COP 유지시간은 길수록 자세균형 제어력이 우수함을 의미한다.



그림 8. 동적 균형 훈련하는 모습
Fig. 8. Training figure of dynamic balance

결과 및 고찰

그림 9는 그룹 1 피험자(A1)의 훈련 전, 후의 COP 이동시간을 나타낸 그래프이며 각 개인 한사람의 결과를 나타내고 있고 A1이 의미하는 것은 각 개인 피험자를 구분하기 위한 피험자 코드 번호이다. 이 실험에 참가한 피험자는 대부분 1년 동안 신체적인 질병 기록이 없는 20대 학

생 6명이다. 여기서 Before는 훈련 전을 After는 훈련 후를 의미한다. 정면, 후면, 정면우측, 후면좌측 방향에서 훈련 전과 비교해 2초 이상 단축되었다. 그림 10은 그룹 2 피험자(B1)의 COP 이동시간을 나타낸 그래프로써, 그룹 2는 벽돌 깨기 게임으로만 훈련하였다. B1은 피험자를 구분하기 위한 피험자 코드 번호를 의미한다. 이것은 훈련 전 피험자의 COP 이동시간이 낮았던 방향에 대해서 큰 효과를 보인 것으로 SCT와 block game을 이용한 훈련을 통해 평형감각이 향상될 수 있음을 알 수 있었다. 자세균형제어가 어려운 방향에 대해 반복적인 훈련을 하게하면, COP를 빠르고 정확하게 이동시켜 COP 이동시간이 단축됨을 알 수 있었다. 그리고 SCT와 벽돌 깨기 게임을 함께 사용하여 훈련한 그룹과 벽돌 깨기 게임으로만 훈련한 그룹에서 모두 COP 이동시간이 단축되었으므로 SCT와 벽돌 깨기 게임이 평형감각 훈련 프로그램으로서의 효과를 입증한 것이라 할 수 있다. 그림 11은 A1의 훈련 전과 후의 COP 유지시간을 나타낸 그래프이다. 전체적으로 모든 방향에 대해 COP 유지시간이 길어진 것을 볼 수 있다. 전체 30초의 측정 시간 중 전 방향에서의 COP 유지시간이 약 26초까지 향상되었고, 자세균형제어가 어려워 COP 유지시간이 짧았던 정면우측방향에서 큰 차이를 보였다. 반면, 그림 12에 나타낸 B1의 COP 유지시간 그래프를 보면 훈련 전과 큰 차이는 보이지 않았지만, 유지시간이 길어지는 경향은 확인할 수 있었다. 이를 통해 SCT와 벽돌 깨기 게임이 훈련 프로그램으로서 효과적임을 입증하였고, 두 가지 훈련 프로그램을 병행한 경우가 COP 유지시간 향상에 더 효과적임을 알 수 있었다.

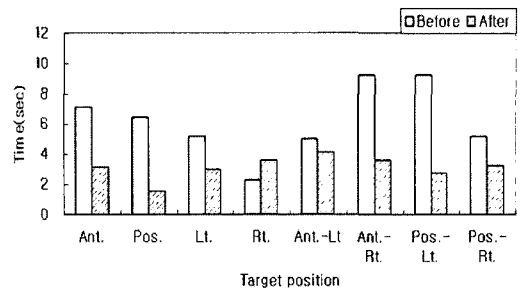


그림 9. Dynamic circle 평가에서 표적 내 COP 이동시간의 변화 (그룹 1_피험자 A1)
Fig. 9. Variation of COP moving time to the target for the dynamic circle evaluation (group1_subject A1)

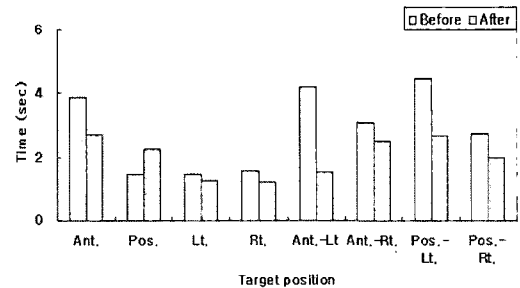


그림 10. Dynamic circle 평가에서 표적 내 COP 이동시간의 변화 (그룹 2_피험자 B1)
Fig. 10. Variation of COP moving time to the target for the dynamic circle evaluation (group 2_subject B1)

참 고 문 헌

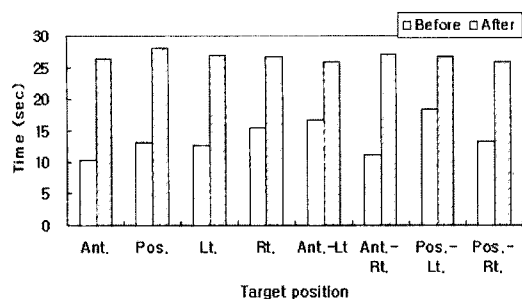


그림 11. Dynamic circle 평가에서 표적 내 COP 유지시간의 변화 (그룹 1_피험자 A1)

Fig. 11. Variation of COP duration time in the target for the dynamic circle evaluation (group 1_subject A1)

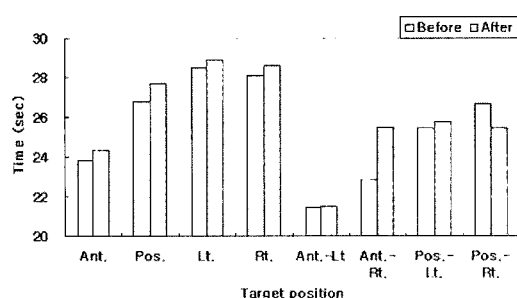


그림 12. Dynamic circle 평가에서 표적 내 COP 유지 시간의 변화 (그룹 2_피험자 B1)

Fig. 12. Variation of COP duration time in the target for the dynamic circle evaluation (group2_subject B1)

결 론

본 연구에서는 불안정판과 게임을 이용한 평형감각 훈련 장치를 제작하여 기존 재활 훈련 장치의 문제점을 보완하고 훈련을 통해 균형 제어력을 향상시킬 수 있는 새로운 형태의 훈련 장치를 제안하였다. 그리고 이를 이용하여 정상성인을 대상으로 동적 균형 훈련의 효과를 측정하여, 시각적 피드백을 이용한 훈련을 통해 표적 안에 머문 시간과 표적으로의 이동시간이 크게 향상되었다. 또한, 두 가지 이상의 훈련 프로그램을 사용하는 것이 효과적임을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안한 평형감각 훈련 장치는 반복 훈련을 통해 피험자의 자세균형 능력을 향상시킬 수 있고, 게임을 통한 흥미유발과 능동적인 훈련 형태로 평형감각 훈련의 효율성을 높일 수 있으리라 기대된다.

1. Woollacott M. H., Shumway-cook A. and Nashner L. M., "Postural responses and aging: Changes in the contributions of somatosensory, visual and vestibular inputs to balance control", Behavioural Brain Research, Vol. 8, No. 2, pp. 286-287, 1983
2. Carrie A. Laughton, Mary Slavin, Kunal Katdare, Lee Nolan, Johathan F. Bean, D. Casey Kerrigan, Edward Phillips, Lewis A. Lipsitz and James J. Collins, "Aging, muscle activity and balance control : physiologic changes associated with balance impairment", Gait and Posture, Vol. 18, pp. 101-108, 2003
3. Era P. and Heikkien E, "Postural sway during standing and unexpected disturbance of balance in random amplex of men of different ages", J. Gerontol, Vol. 40, pp. 287-295, 1985
4. Nashner L. M., Black F. O., Wall C., "Adaptation to altered support and visual conditions during stance: patients with vestibular deficits", J. Neuroscience, Vol. 2, pp. 546-544, 1982
5. Nashner L. M., "Analysis of movement control in man using the movable platform", Motor control mechani in health and disease. New York: Raven Press, pp. 607-619, 1983
6. D.A.C.M. Commissaris, P.H.J.A. Nieuwenhuihzen, S. Overeem, A. de Vos J.E.J. Duysens and B.R. Bleom, "Dynamic posturography using a new movable multidirectional platform driven by gravity", J. Neuroscience Methods, Vol. 113, pp. 73-84, 2003
7. 정병용, 박경수, "힘판을 이용한 중심동요의 자동측정에 관한 연구", 한국인간공학회지, Vol. 7, No. 1, pp. 45 ~ 52, 1988
8. 김연희, 김남균, 차은중, 김형일, 신용일, 이경무, "힘판을 이용한 자세균형제어력의 정량적 평가와 임상균형지수와의 비교연구", 대한재활의학회지, 제19권, 제4호, pp.782 ~ 792, 1995
9. Hamman R.G., Mekjavic I, Mallinson AI, Longride NS, "Training effects during repeated therapy sessions of blance training using visual feedback", Arch. Phys. Med. Rehabil., Vol. 73, pp. 738-744, 1992
10. 김종운, 송철규, 김남균, "가상현실 마이크 시뮬레이터의 개발과 성능평가", Trans. KIEE, Vol. 51. No 3. pp. 112 ~ 121, 2002
11. 이석준, 홍철운, 김남균, "평형감각증진을 위한 재활훈련시스템 개발", 제28회 대한 의용생체공학회학술대회, 연세대학교, 714-716, 2003