

# 불안정판을 이용한 고령자를 위한 평형감각 훈련의 정량적 분석

박용균<sup>1</sup>, 유미<sup>1</sup>, 권대규<sup>2</sup>, 황지혜<sup>3</sup>, 김남균<sup>2</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 의용생체공학과

<sup>2</sup>전북대학교 생체정보공학부

<sup>3</sup>성균관대학교 의과대학 재활의학교실 및 임상의학연구소

(Received December 20, 2006. Accepted April 10, 2007)

## Quantitative Analysis of the Training of Equilibrium Sense for the Elderly Using an Unstable Platform

Yong-Jun Piao<sup>1</sup>, Mi Yu<sup>1</sup>, Tae-Kyu Kwon<sup>2</sup>, Ji-Hye Hwang<sup>3</sup>, Nam-Gyun Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Biomedical Engineering, Chonbuk National University

<sup>2</sup>Division of Bionics and Bioinformatics, Chonbuk National University

<sup>3</sup>Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Samsung Medical Center & Center for Clinical  
Medicine, Sungkyunkwan University School of Medicine

### Abstract

This paper presents quantitative analysis of a training system based on an unstable platform and a visual interactive system for improving sense of equilibrium. The training system consists of an unstable platform, a force plate, a safety harness, a monitoring device, and a personal-computer. To confirm the effects of the training system, fifteen young volunteers and five elderly volunteers went through a series of balance training using the system. During the training, we measured relevant parameters such as the time a subject maintain his or her center of pressure on a target, the time a subject moves his or her center of pressure to the target, and the mean absolute deviation of the trace before and after training with this system and training programs to evaluate the effects of the training. The results showed that the training system can successfully assess the gradual improvement of the postural control capability of the subject in the system and showed a possibility of improving balance of the subject. Moreover, the significant improvement in the postural capability of the elderly subject suggests that elderly subjects can benefit more from the training using the system for the improvement of sense of equilibrium.

Key words : equilibrium sense, unstable platform, training system, the elderly

### 1. 서 론

일상생활을 원활하게 수행하기 위해서는 무엇보다도 자세를 조절하여 균형을 유지하는 것이 매우 중요하다. 자세조절은 공간상에서 자세의 안정성과 정향(orientation)을 유지하기 위하여 신체의 위치를 제어하는 것을 말한다[1]. 이러한 자세의 안정성은 특정한 공간 영역 내에서 신체의 위치 특히, 신체의 무게중심(center of mass: COM)을 유지하는 능력을 말한다. 그리고 신체

의 자세 균형 유지에는 전정기관 및 소뇌의 평형 기능, 근·골격계의 지지 작용, 그리고 운동기능과 감각기능 등이 기여한다. 인간이 평형감각을 유지하는 능력을 갖추기 위해서는 시력, 체성감각 및 전정감각 기능 등 세 가지 중 적어도 두 가지 기능이 적용되어야 한다[2]. 이러한 자세균형 능력은 노화 현상으로 나이가 들에 따라 무리가 생기고, 교통사고로 인해 전정계 및 체성감각계의 기능 손상에 의한 자세균형 장애를 가지고 있는 환자들이 증가하고 있다 [3, 4]. 그 외에 근·골격계의 질환에 따른 자세 균형 제어 능력의 손실 역시 증가하고 있다. 이러한 여러 가지 질환에 의해서 자세균형 기능의 장애가 발생된 환자들이나 노인들에게는 자세균형 기능을 회복하기 위하여 다양한 재활 방법이 필요하다. 따라서 자세균형 제어에 관한 관심이 높아지고 있는 추세이다.

자세균형에 대한 연구로는 1982년 Hamrin[5] 등은 뇌졸중 환

본 연구는 2006년도 산업자원부지정 핵심연구개발사업 실버의료기기 핵심기술개발연구비에 의하여 연구되었음. (과제번호 : 10022722-2006-12)

Corresponding Author : 김남균

(561-756) 전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14, 전북대학교 공과대학 생체정보공학부

Tel : 063-270-4061 / Fax : 063-270-2247

E-mail : ngkim@chonbuk.ac.kr

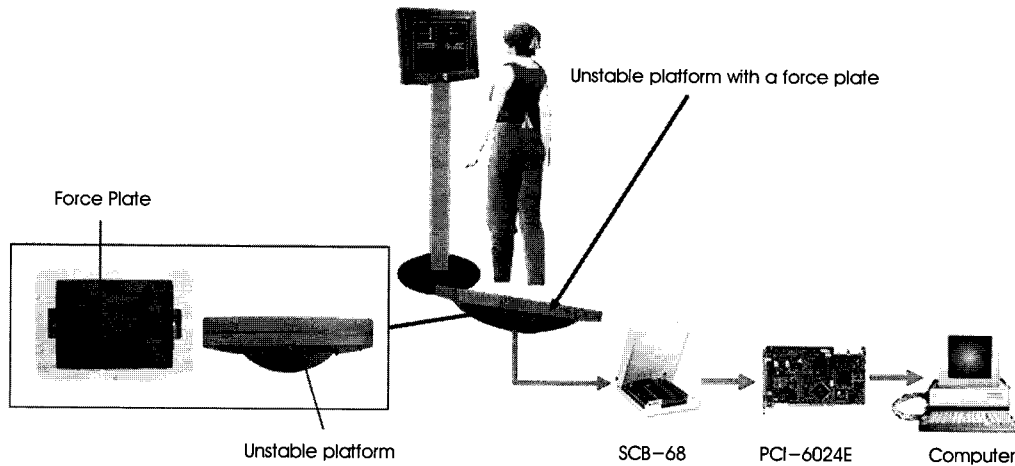


그림 1. 평형감각 훈련시스템  
 Fig. 1. Training system for improving the sense of equilibrium

자에서 근력 및 자세균형의 제어능력 저하가 이들의 보행훈련 등의 재활치료에 장애가 된다고 보고하였으며, 1985년 Era 등[6]은 자세균형유지에 고령화, 빈약한 신체적 조건 및 환경요소가 영향을 준다고 하였다. 자세균형능력의 평가방법에 관한 연구로는 1984년 Ruskin 등[7-9]이 자세균형제어에 관한 임상적 평가방법으로 외이도에 온도자극을 가하여 안구운동을 육안적으로 관찰하는 냉온검사(caloric test)나 체위계(posturography), 누공시험(fistula test)을 제시한 이래 많은 평가방법이 제안되었는데, 이는 너무 단편적이고, 전정기능의 정량적인 평가가 불가능하다는 단점을 내포하고 있다. 최근에는 힘판(force platform)을 이용하여 피험자의 무게중심 변화를 측정함으로써 자세균형 제어력을 정량화하고 정적균형과 동적균형을 측정하게 되었으며, 이를 이용한 자세균형 제어력을 훈련하는 시스템이 개발되어 임상적 사용과 연구가 현실화되고 있는 실정이다[8, 10-13]. 그러나 기존에 실시하던 고전적인 평형감각 훈련 시스템은 평형감각 증진에 필요한 시각,

전정기관과 체성 감각 등을 통합적으로 적용되지 못할 뿐만 아니라, 피험자의 집중력을 유발하지 못하여 훈련효과의 효율성이 감소하는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해서 Lee [14] 등은 기울기 센서가 장착되어 발판의 기울어진 정도를 감지할 수 있도록 설계된 불안정판(unstable platform)을 이용한 인체 평형감각 증진용 훈련 시스템을 개발하여 정상인 남녀를 대상으로 상하훈련을 할 수 있는 벽돌 깨기 게임과 좌우 훈련을 할 수 있는 탁구게임을 실시한 후 정적 및 동적 균형을 평가하여 재활훈련 시스템 효과를 살펴 보았으나, 고령자를 대상으로 자세균형 재활훈련의 정량적 분석을 고려한 예는 미비한 실정이다.

이에 본 연구는 자세균형 훈련효과를 향상시킬 수 있는 힘판이 장착된 불안정판을 이용하여 고령자의 평형감각 훈련 시스템을 개발하였다. 이는 평형감각 저하나 손상 등으로 인하여 균형 장애가 있는 노인이나 환자들의 신체 평형감각 및 균형제어 회복을 촉진하기 위하여 다양한 훈련 프로그램을 통해서 환자에게 적극적이고

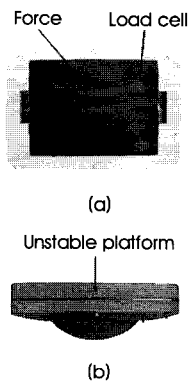


그림 2. 힘판을 부착한 불안정판: (a)정면 (b)옆면

Fig. 2. An unstable platform with force plate: (a) front view (b) side view

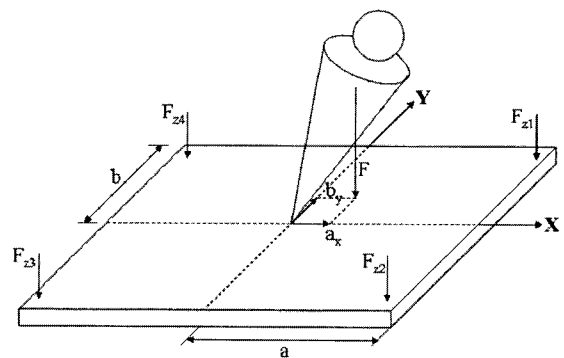


그림 3. 힘판의 측정원리

Fig. 3. The measurement principle of force platform

능동적인 훈련 참여를 유도하였고, 자세균형 훈련의 효과를 알아봄으로써 효과적인 재활훈련 장치로서의 가능성을 확인하고자 하였다.

## II. 평형감각 훈련시스템

### A. 시스템 구성

그림 1은 힘판이 장착된 불안정판, 데이터 통신부와 컴퓨터로 구성된 평형감각 훈련 시스템을 나타내고 있다. 그림 2는 힘판이 장착된 불안정판의 실물도이다. 불안정판 위에 힘판과 불안정판 안에 기울기 센서를 설치하였다. 불안정판에 내장된 무게중심 이동데이터, 기울기 센서로부터 압력중심(center of pressure, COP)과 기울기 각도를 측정된 데이터를 컴퓨터에 저장하여 분석 처리하였다.

불안정판의 길이는 550mm, 넓이 390mm, 높이 130mm 및 곡률 반경은 200mm이다. 앞뒤 최대 기울기 각도는 28도이고 좌우최대 기울기 각도는 18도이다. 이를 이용해서 평형감각 훈련과 평가를 동시에 실시하고 신체의 무게중심 이동과 기울기 각도의 상관관계 및 자세균형에 미치는 영향을 분석하였다.

그림 3에서 보는 바와 피험자의 무게이동(weight shift)에 따른 COP의 변화를 측정하고 분석하기 위하여 네 개의 로드셀(load

cell)을 설치한 힘판을 이용하였다. 로드셀에서 입력된 신호를 증폭과 필터링을 거친후 시리얼 포트(serial port)를 통해서 출력한다. 그림 3과 식 (1), 식 (2)과 식 (3)은 네 개의 로드셀을 이용하여 COP와 무게이동을 구하는 원리를 나타내고 있다.

$$F = F_{z1} + F_{z2} + F_{z3} + F_{z4} \tag{1}$$

$$a_x = a \left( \frac{F_{z1} + F_{z2} - F_{z3} - F_{z4}}{F} \right) \tag{2}$$

$$b_x = b \left( \frac{F_{z1} - F_{z2} - F_{z3} + F_{z4}}{F} \right) \tag{3}$$

### B. 훈련과 평가프로그램

평형감각 증진 훈련을 분석하기 위해서 훈련 프로그램, 평가 프로그램 및 데이터 분석 프로그램으로 구성된 소프트웨어를 개발하였다. 그림 4는 실제 개발된 수평방향 훈련, 수직방향 훈련, +45° 방향 추적, -45°방향 추적, 원 추적, 삼각형 추적, 사각형 추적을 수행하는 훈련 프로그램이다.

그림 5는 실제 개발된 데이터 분석 프로그램이다. 이를 이용해서 COP 이동시간, COP 유지 시간, 이탈 시간 등 훈련 효과 평가하는 파라미터를 검출하고 평형감각 훈련 효과를 평가하는데 적용한다. 그림 6은 자세균형 훈련평가 프로그램이다. 모든 소프트웨어는 National Instruments사의 LabVIEW 6.1로 개발하였다.

## III. 실험 방법

### A. 실험대상

청년층과 노년층의 평형감각 및 자세균형 능력의 정량적인 차이 및 훈련효과를 고찰하기 위해서 평형감각 훈련 시스템을 이용해서 20대 성인 15명과 70대 노인 5명 대상으로 두 그룹으로 나누고 평

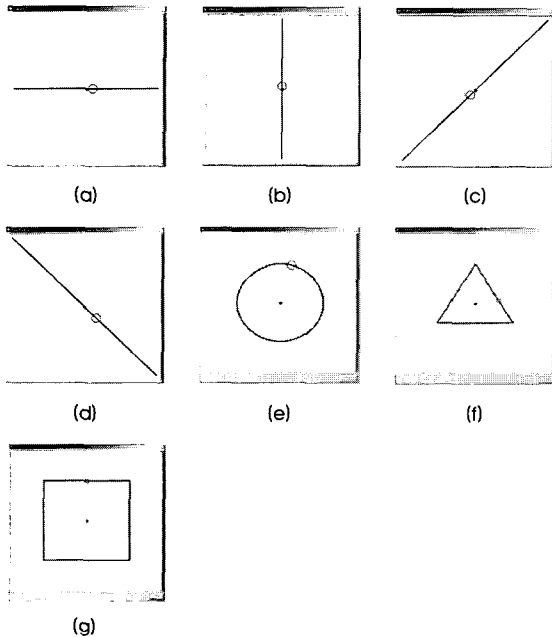


그림 4. 평형감각 훈련 프로그램: (a) 수평방향 추적 (b) 수직방향 추적 (c) +45도방향 추적, (d) -45도방향 추적, (e) 원 추적 (f) 삼각형 추적 (g) 사각형 추적

Fig. 4. Training programs for the sense of equilibrium : (a) Movement training in left-right direction (b) Movement training in anterior-posterior direction (c) Movement training in +45o direction (d) Movement training in -45o direction (e) Circle trace (f) Triangle trace (g) Quadrangle trace

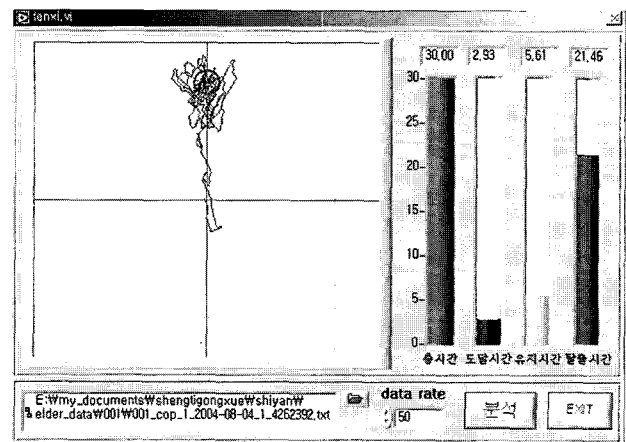


그림 5. 데이터 분석 프로그램  
Fig. 5. Data analyzing program

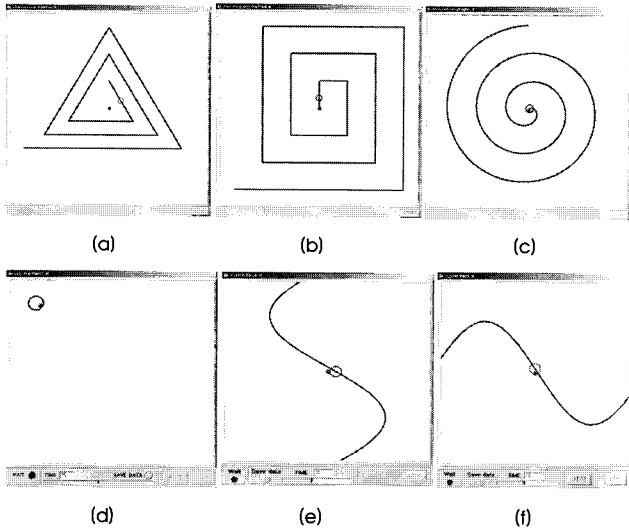


그림 6. 평형감각 평가 프로그램: (a) 변화 삼각형 추적 평가 (b) 변화 사각형 추적 평가 (c) 나선 추적 평가 (d) 동적 원 평가 (e) 수평 사인 추적 평가 (f) 수직 사인 추적 평가

Fig. 6. Evaluation programs for the sense of equilibrium : (a) Changeable triangle trace (b) Changeable quadrangle trace (c) Spiral trace (d) Dynamic circle (e) Sine curve trace (Left-right direction) (f) Sine curve trace (Anterior-posterior direction)

형감각 및 자세균형 제어 능력 훈련 및 평가를 수행하였다. 그림 7은 고령자의 실제 훈련 모습을 보여주고 있다.

**B. 실험방법**

실험의 전체적인 진행은 Fig. 8과 같다. 평형감각 훈련을 실시하기 전에 훈련 전의 첫 번째 평가를 실시하였다. 훈련 전 평가를 한 후에 두 주 동안 원형 추적, 삼각형 추적, 사각형 추적 및 사인 곡선 추적 등 매일 30분정도 훈련 프로그램을 이용하여 평형감각 훈련

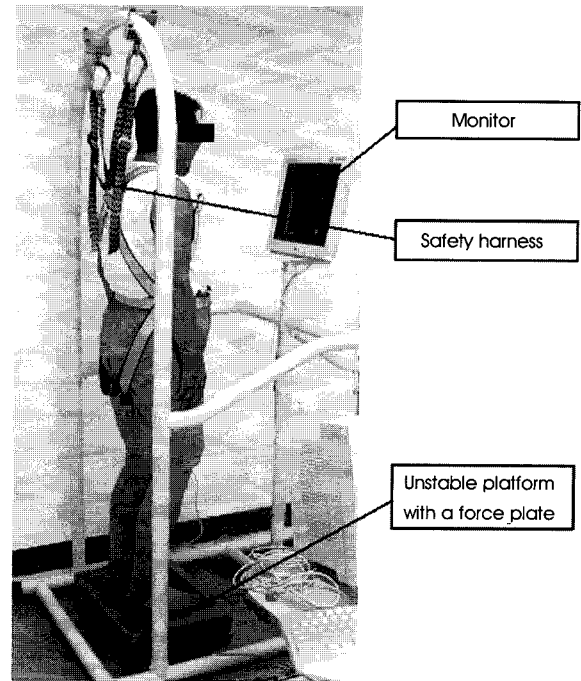


그림 7. 평형감각 증진을 위한 훈련 사진  
Fig. 7. Training photo for improving the sense of equilibrium

을 실시하였다. 훈련이 시작한지 12일 후 두 번째 평가를 실시하였다. 훈련 전·후 평가결과를 비교하는 것으로 자세균형 훈련효과를 분석하였다.

**IV. 결과 및 고찰**

힘판이 장착된 불안정판을 이용해서 20대 성인 10명과 70대 성인 5명을 대상으로 평형감각 훈련 및 평가를 실시하여 다음과 같은 실험결과를 얻었다.

**A. COP 이동 시간**

COP 이동시간은 COP가 중심부에서 표적까지 도달할 때 소요되는 시간으로 인체 중심 이동 능력을 평가하는데 아주 중요한 파라미터이다. COP 이동 시간은 짧게 얻어 질수록 인체의 중심 이동 시간과 훈련에 따른 COP에 반응하는 자세 균형 능력이 좋다고 할 수 있다. 본 실험에서 20대와 70대의 앞, 뒤, 좌, 우, 앞-좌, 앞-우, 뒤-좌, 뒤-우 여덟 개 방향의 COP 이동 시간을 측정하였다.

그림 9에서 훈련 전·후 각 방향 COP 이동 시간을 보여준다. 20대의 경우, 전체적인 훈련 후 COP 이동 시간은 약 0.94초 단축하였고 70대는 약 0.88초 단축되었다. 또는 전체적으로 후면, 좌측과 후면좌측에서 자세균형 제어에 어려움을 느껴 COP 이동시간이 길었고, 전체적으로 훈련을 통해 COP 이동시간이 단축되어 자세균형 훈련의 신뢰성을 얻었다. 또한 후면, 좌측과 후면좌측에서 자세균형제어에 있어 COP 이동시간이 길었고, 훈련을 통해 이러한

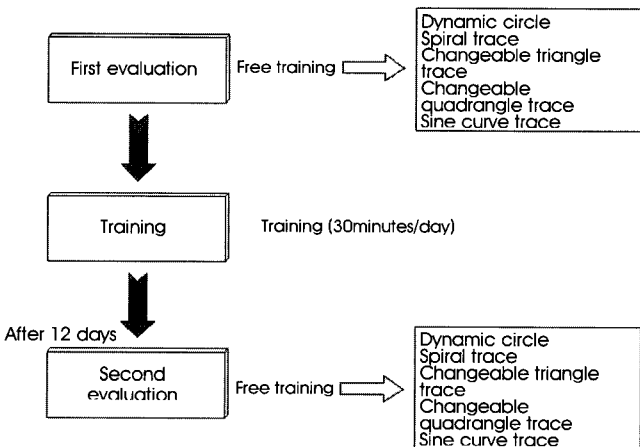
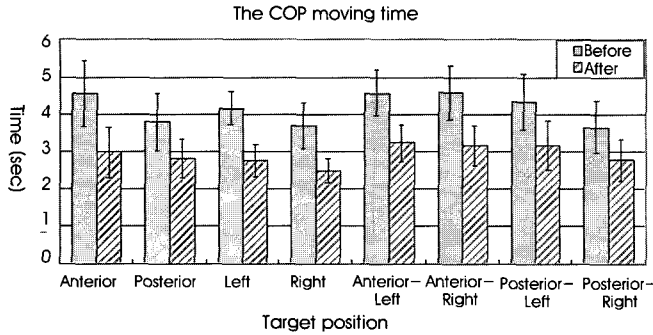
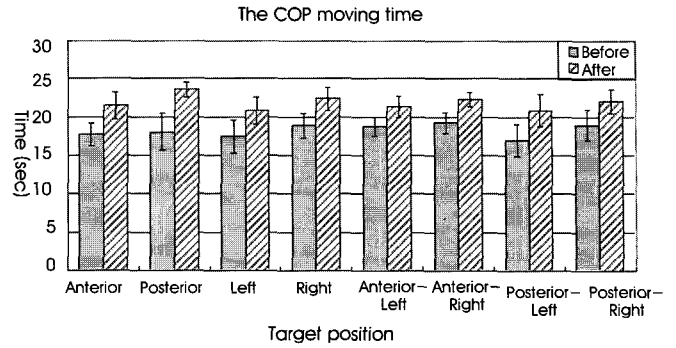


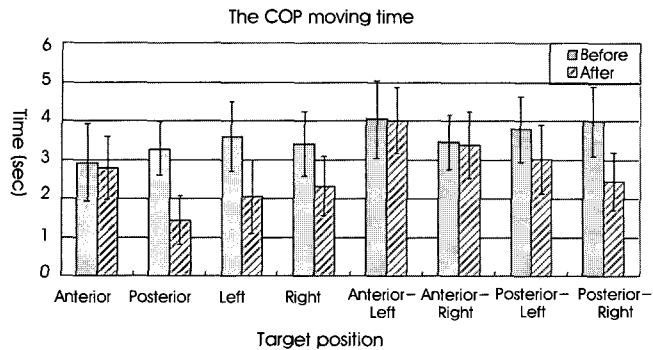
그림 8. 실험 절차  
Fig. 8. Experimental procedure



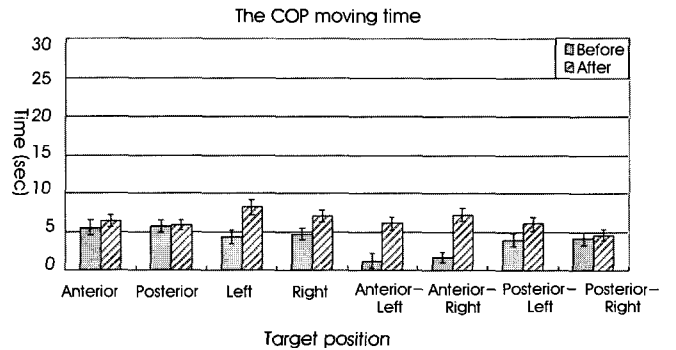
(a)



(a)



(b)



(b)

그림 9. COP 이동 시간: (a) 20대 (b) 70대  
Fig. 9. COP moving time: (a) Twenties (b) Seventies

그림 10. COP 유지 시간: (a) 20대 (b) 70대  
Fig. 10. COP maintaining time: (a) Twenties (b) Seventies

방향에서의 COP 이동시간이 단축되어 자세균형 훈련의 신뢰성을 얻을 수 있었다.

**B. COP 유지 시간**

COP 유지 시간은 COP가 목표점 원안에 머무르는 시간으로 시간은 신체 평형 유지능력을 평가하는데 아주 중요한 파라미터이다. COP 유지 시간이 길수록 평형능력과 자세균형능력은 더욱 향상됨을 알 수 있었다.

그림 10은 훈련 전·후 피험자의 전체 평균 COP 유지 시간을 나타내는 결과이다. 본 실험에서 모두 여덟 개 방향에 훈련 전·후 COP 유지 시간을 측정하고 훈련 효과를 평가하였다. 20대의 경우는 COP 유지시간은 불안정판의 원형 평가에서 훈련 후 뒷면 방향에서 약 5.58초, 뒤-좌 방향에서 약 2.46초 늘어나서 자세 균형을 훈련 효과가 향상되었고, 훈련 후 전체적인 COP 유지 시간이 3.14초 늘어났다. 70대의 경우는 훈련 후 앞-좌 방향이 4.81초, 앞-우 방향이 5.5초로 향상되어 훈련 전·후 전체적인 COP 유지 시간이 2.4초 늘어났다.

20대는 상대적으로 70대와 비교해서 자세균형 능력 및 근력 활성화에 따라서 훈련 전 COP 유지 시간이 노인의 평균 COP 유지 시간보다 약 14.5초 더 크게 나타났다. 또한, 전체적인 20대의

COP 유지 시간은 훈련 전을 기준으로 17% 증가했고, 70대의 COP 유지 시간은 30% 증가하였다. 70대의 경우 유지시간의 증가량이 20대에 비해 2배 정도 높아졌고, 특히 왼쪽(Left)과 오른쪽(Right) 방향에서 급격히 증가하는 경향을 보였다. 20대는 자세균형을 유지하는데 장애가 없어 훈련 한 뒤라도 그 유지시간이 70대에 비해 변화하지 않았다. 그러나 70대는 시각계, 근골격계, 체성 감각계 모두 20대에 비해 그 기능이 감퇴되어 훈련 전·후의 유지 시간이 크게 증가하는 경향을 보였다. 70대의 유지시간 중 왼쪽과 오른쪽 방향에서 급격히 증가한 값을 보이는 것은 고령자 낙상과 왼쪽-오른쪽 방향으로 자세균형 유지의 관련성 연구결과[15]로 볼 때, 고령자의 왼쪽-오른쪽 방향으로의 자세균형 훈련 효과가 높았고 COP 유지 훈련으로 고령자에게 빈번하게 발생하는 낙상 등의 사고를 방지할 수 있음을 보여준다.

**C. 경로 평균 절대 편차**

경로 절대 편차는 COP가 지정된 경로를 따라서 이동할 때 COP와 지정된 위치의 거리 편차이다. 경로 평균 절대 편차는 신체 중심 이동 능력과 평형 유지능력을 통합적으로 평가하는데 아주 중요한 파라미터이다. 변화하는 삼각형 추적, 사각형 추적, 원 추적 및 사인곡선 추적 평가 프로그램을 이용해서 훈련 전·후 각각 경로 평

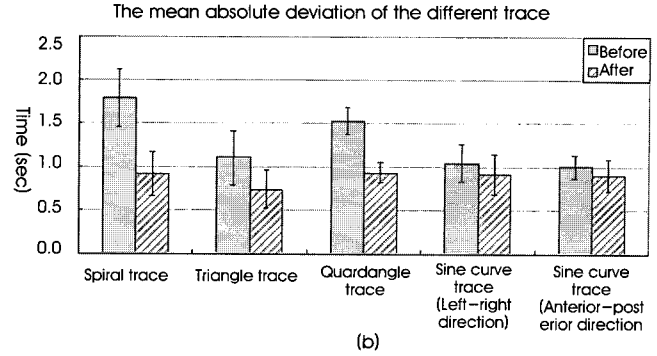
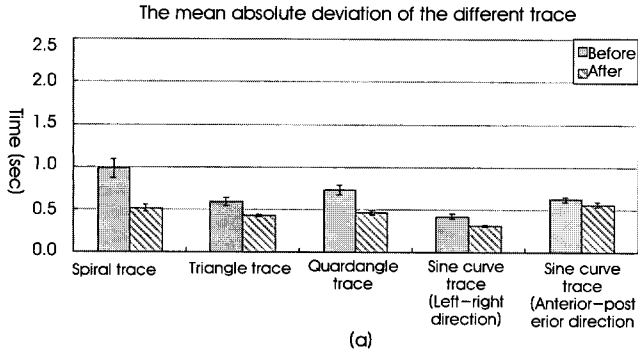


그림 11. 경로 평균 절대 편차 : (a) 20대 (b) 70대  
**Fig. 11.** Mean absolute deviation of the different trace: (a) Twenties (b) Seventies

군 절대 편차를 측정하였다. 경로 평균 절대 편차 계산하는 방법은 아래 식 (4)와 같다.

$$\text{Mean absolute deviation} = \frac{\sum |X - \bar{X}|}{n} \quad (4)$$

여기서,  $X$ 는 COP 이동 위치이고,  $\bar{X}$ 는 지정된 경로 위치이다,  $n$ 은 데이터 개수이다.

본 실험에서 20대와 70대의 훈련 전후 나선 추적, 삼각형 추적, 사각형 추적, 사인곡선 추적 등 경로 평균 절대 편차를 분석하였다. 그림 11은 평형감각 평가 프로그램의 각각의 모드에 따른 경로 표

준 절대 편차를 나타내고 있다. 전체적인 20대의 경로 평균 절대 편차는 훈련 전을 기준으로 24.1% 저감되었고, 70대의 경로 평균 절대 편차는 32.5% 저감되었다. 20대는 자세균형을 유지하는데 장애가 없어 훈련 한 뒤라도 그 유지시간이 크게 달라지지 않을 것이다. 그러나 70대는 시각계, 근골격계, 체성감각계 모두 20대이 비해 그 기능이 감퇴되어 훈련 전과 후의 유지시간이 크게 증가할 수 있는 것이다. 이는 훈련 후 경로 평균 절대 편차가 적어짐으로써 개발된 훈련장치의 효율성을 알 수 있었다.

그림 12는 70대 노인의 평형감각과 자세균형 능력 훈련 정도를 분석하기 위해서 훈련 횟수 따른 경로 평균 절대 편차를 나타낸 결

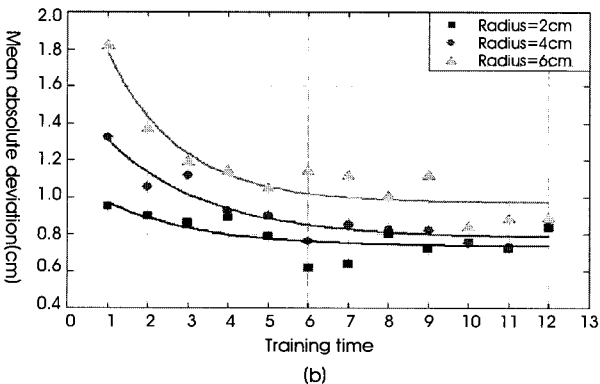
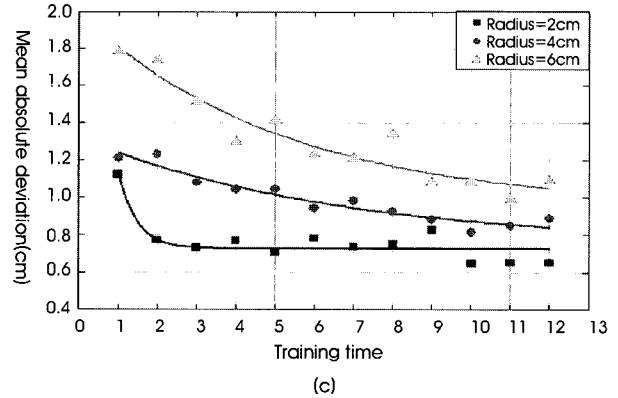
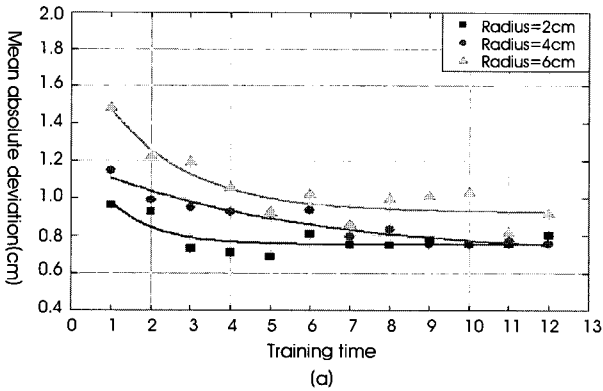


그림 12. 추적훈련에 따른 평균 절대 경로 오차와 훈련 회수의 상관관계 :  
 (a) 원형 추적훈련의 평균 절대 경로 오차와 훈련 회수의 상관관계  
 (b) 삼각형 추적 훈련의 평균 절대 경로 오차와 훈련 회수의 상관관계  
 (c) 사각형 추적훈련의 평균 절대 경로 오차와 훈련 회수의 상관관계

**Fig. 12.** Relationship of the mean absolute deviation and the training time according to trace training :  
 (a) Relationship of the mean absolute deviation of circle trace and the training time  
 (b) Relationship of the mean absolute deviation of triangle trace and the training time  
 (c) Relationship of the mean absolute deviation of rectangle trace and the training time

과이다. 그림 12의 (a)는 그림 4와 같이 원의 반경이 2cm, 4cm, 6cm일 경우의 원형 추적훈련의 평균 절대 경로 오차와 훈련 횟수에 따른 효과를 표시하고 있다. 전체적으로 경로 평균 절대 편차는 훈련 횟수 따라서 상대적으로 적어지는 결과를 얻었고, 원의 반경이 클수록 더 큰 편차를 나타내고 있다. 이는 훈련의 효과에 따라 평형감각 및 자세 균형 능력이 향상되고 있음을 알 수 있었다.

그림 12의 (b)는 삼각형 추적 훈련의 평균 절대 경로 오차와 훈련 회수의 상관관계를 표시하고 있다. 삼각형 추적 훈련의 경우도 삼각형의 한 면이 2.8cm, 5.7cm, 8.5cm로 커질수록 경로 오차의 편차가 크게 나타남을 알 수 있었다. 그림 14는 사각형 추적훈련의 평균 절대 경로 오차를 표시하고 있다.

실제 사각형 추적훈련에서는 전체 경로가 사각형의 모서리부분에서 추적 훈련을 하는데 고령자가 훈련하기에 매우 어려움을 있어, 실제적인 원 추적훈련과 삼각형 추적훈련에 비해서 경로 편차가 크게 발생되었다. 그러나 사각형 추적훈련에서도 훈련 횟수가 진행됨에 따라 경로편차가 줄어들음을 알 수 있었다.

전체적으로 COP 유지시간, 경로 평균 절대 편차 등의 매개변수를 통해서 노년층과 청년층의 평형감각 및 자세 균형 제어 능력이 큰 차이를 가지고 있다. 이는 노인들이 낙상 사고를 방지하고 균형 제어 기능 회복을 위해서 다양한 훈련 프로그램 통해서 적극적으로 능동적인 훈련 참여를 유도하고 평형감각 및 자세균형 제어 능력 증진훈련을 하는데 본 연구에서 개발한 시스템이 효율적으로 적용되고 있음을 알 수 있었다.

## V. 결 론

본 연구는 신체 평형감각 및 균형제어 기능의 회복을 목적으로 다양한 훈련 프로그램을 통해 피험자의 적극적이고 능동적인 참여를 유도할 수 있는 평형감각 훈련 시스템을 이용하여 20대와 70대 성인 대상으로 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 평형감각 훈련 시스템을 이용하여 훈련 후 20대의 COP 유지 시간은 17% 증가됐고, 70대의 COP 유지 시간은 30% 증가하였다. 훈련 전후 COP 유지 시간 비교를 통해 훈련에 대한 효과를 알 수 있었다.

(2) 훈련 후 전체적인 20대의 경로 평균 절대 편차는 24.1% 70대의 경로 평균 절대 편차는 32.5% 줄어 들었고, 훈련 후 경로 평균 절대 편차를 줄임으로써 개발된 평형감각 훈련 장치의 효율성을 얻을 수 있었다.

(3) 20대와 70대의 비교 분석 결과, 노년층과 청년층 평형감각 및 자세균형 제어 능력이 큰 차이를 알 수 있었고, 고령자의 반복 훈련으로 자세균형의 조절과 그 기능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

본 시스템은 평형감각의 장애가 있는 자세균형 이상 환자의 평형 및 자세균형 상태를 정량적으로 측정 가능하고, 통합 평형감각 분석 및 훈련용 재활장치로 유용함을 알 수 있었다.

## REFERENCES

- [1] S. J. Kim, "Motor Learning and Control", Daehanmedia, pp. 161-174, 2000
- [2] P. W. Duncan, S. Studenski, J. Chandler R. Bloomfeld and L. K. LaPoint, "Electromyographic analysis of postural adjustments in two methods of balance testing," *Physical Therapy*, vol. 70, pp. 88~96, 1990.
- [3] P. Anderson, *Rehabilitation of Patient with Complete Stroke*, Krusen's handbook of physical medicine and rehabilitation, 4th ed., WB Saunders, Philadelphia, 1990, pp. 656-678.
- [4] J. Y. Kim, C. G. Song, and N. G. Kim, "Performance evaluation and development of virtual reality bike simulator," *Trans. KIEE*, vol. 51D, no. 3, pp. 112-121, 2002.
- [5] E. Hamrin, G. Eklund, A. K. Hillgren, O. Borges, J. Hall, and O. Hellstrom, "Muscle strength and balance in post-stroke patients," *Ups. J. Med. Sci.*, vol. 87, pp. 11-26, 1982.
- [6] P. Era, and E. Heikkinen, "Postural sway during standing and unexpected disturbance of balance in random samples of men of different ages," *J. Gerontol.*, vol. 40, pp. 287-295, 1985.
- [7] A. P. Ruskin, *Current Therapy in Physiatry*, WB Saunders, Philadelphia, 1984, pp. 26-27.
- [8] R. G. Hamman, I. Mekjavic, A. I. Mallinson, and N.S. Longride, "Training effects during repeated therapy sessions of balance training using visual feedback," *Arch. Phys. Rehabil.*, vol. 73, pp. 738-744, 1992.
- [9] B. Horak, "Clinical measurement of postural control in adults," *Physical Therapy*, vol. 67, pp. 1881-1885, 1987.
- [10] P. A. Goldie, T.M. Bach, and O. M. Evans, "Force platform measures for evaluating postural control: reliability and validity," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 70, pp. 510-517, 1989.
- [11] M. A. Hamid, G. B. Hughes, and S. E. Kinney, "Specificity and sensitivity of dynamic posturography," *Acta Otolaryngol (Stockh)*, vol. 481, pp. 596-600, 1991.
- [12] S. Hocherman, R. Dickstein, and T. Pillar, "Platform training and postural stability in hemiplegia," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 65, pp. 588-592, 1984.
- [13] R. T. Jackson, C. M. Epstein, and J. E. Boyette, "Enhancement of posturography testing with head tilt and energy measurements," *Am. J. Otolaryngol*, vol. 12, pp. 420-425, 1991.
- [14] J. O. Lee, Y. G. Park, P. H. No, C. U. Hong, and N. G. Kim, "Development of a new training system for the improvement of equilibrium sense," *J. Biomed. Eng. Res.*, vol. 25, no. 6, pp. 465-469, 2004.
- [15] V. S. Stel, J. H. Smit, S. M.F. Pluijm, and P. Lips, "Balance and mobility performance as treatable risk factors for recurrent falling in older persons," *Journal of Clinical Epidemiology*, vol. 56, pp. 659-668, 2003.