

불안정판을 이용한 평형감각 훈련시스템 개발

박용균*, 유미*, 권대규**, 홍철운**, 김남균#

Development of the Training System for Equilibrium Sense Using the Unstable Platform

Yong Jun Piao*, Mi Yu*, Tae Kyu Kwon**, Chul Un Hong** and Nam Gyun Kim#

ABSTRACT

In this paper, we propose a new training system for the improvement of equilibrium sense using unstable platform. The equilibrium sense, which provides orientation with respect to gravity, is important to integrate the vision, somatosensory and vestibular function to maintain the equilibrium sense of the human body. In order to improve the equilibrium sense, we developed the software program such as a block game, pingpong game using Visual C++. These training system for the equilibrium sense consists of unstable platform, computer interface and software program. The unstable platform was a simple structure of elliptical-type which included tilt sensor, wireless RF module and the device of power supply. To evaluate the effect of balance training, we measured and evaluated the parameters as the moving time to the target, duration to maintain cursor in the target of screen and the error between sine curve and acquired data. As a results, the moving time to the target and duration to maintain cursor in the target was improved through the repeating training of equilibrium sense. It was concluded that this system was reliable in the evaluation of equilibrium sense. This system might be applied to clinical use as an effective balance training system.

Key Words : biofeedback(바이오피드백), center of pressure(압력중심), unstable platform(불안정판)

1. 서론

자세균형은 공간상에 있어서 안정성(stability)과 정향성(orientation)을 유지하기 위하여 신체의 위치를 제어하는 것을 의미한다. 여기에서 자세의 안정성이란 특정한 공간 영역 내에 신체의 위치 제어 특히, 신체의 무게중심을 유지하는 능력이고, 자세의 정향성은 신체와 환경이 적절한 관계를 유지

하는 능력을 말한다.

이러한 자세균형은 최근에 평균수명의 연장에 따라 사회 노년층의 증가로 낙상사고의 빈도가 높아지고 있으며, 또한 교통사고 발생이 빈번함에 따라 전정계 이상 및 체성감각계의 기능 손상에 의한 자세균형 환자가 점점 증가하고 있는 추세이며 이러한 균형 제어력의 소실이 환자의 재활치료에 많은 어려움을 초래하고 있다¹⁻².

* 접수일: 2004년 10월 29일; 게재승인일: 2005년 6월 29일

* 전북대 대학원 생체정보공학부

교신저자: 전북대학교 생체정보공학부

E-mail ngkim@chonbuk.ac.kr Tel. (063) 270-2246

** 전북대학교 생체정보공학부

자세균형제어에 관한 연구는 주로 힘판을 이용하여 특정 감각시스템으로부터의 입력을 제한하거나 외력에 의해 평형 유지를 방해했을 때, 신체 전이(displacement), 압력중심의 움직임(center of pressure; COP), 자세 유지 시 작용하는 근육의 활동 전위 등을 측정하는 연구와 더불어 균형에 어려움을 느끼는 환자를 위한 바이오피드백(Biofeedback)을 적용한 연구가 보고되고 있다³⁻⁶. 그러나, 이러한 기존의 연구 및 재활훈련 장치는 주로 안정한 지지면 위에서 균형을 유지하는 면에 초점이 맞춰져 자세 균형 재활에 필요한 시각, 전정감각, 체성감각을 통합적으로 자극하지 못할 뿐만 아니라, 불안정판의 경우 전후좌우의 방향으로만 움직이거나 시각적 피드백이 없는 단순한 형태로 구성되어 있다^{3,4}. 또한, 바이오 피드백시스템은 화면의 지시에 따라 움직이거나 외부에서 힘판을 움직였을 때 균형을 유지하는 수동적인 형태로 지루하여 피험자가 장시간의 훈련을 하기 어렵다^{5,9}. 그러므로 안정판에서 균형유지가 가능한 환자에게 보형감각을 익히며 근력을 향상시킬 수 있는 중간단계의 재활훈련이 필요하며, 능동적이고 자세균형에 필요한 통합된 감각을 효과적으로 자극하면서 피훈련자가 단조로움을 느끼지 않는 새로운 형태의 훈련장치가 요구된다¹⁰.

본 연구에서는 다방면(multidirectional)으로 기울어질 수 있는 불안정판(unstable platform)을 이용한 평형감각 훈련 장치를 만들어 기존 재활 훈련 장치의 문제점을 보완할 수 있고 훈련을 통해 균형 제어력의 향상을 가져올 수 있는 새로운 형태의 훈련 장치를 제안하고자 한다. 또한, 불안정판을 이용한 훈련장치를 구현하고 정상 성인을 대상으로 균형 재활훈련의 효과를 측정하여 본 장치가 자세균형 재활과 평형감각 증진에 유용한 장치인가를 검토한다.

2. 하드웨어 설계

본 연구에서는 기존 훈련 장치의 문제점인 단조로운 훈련 환경을 탈피하고 통합된 감각을 자극하여 평형감각 및 자세균형 제어력을 증진시킬 수 있는 훈련기기를 제안하고자 한다. Fig. 1은 본 연구에서 제작한 훈련시스템이다. 본 시스템은 크게 불안정 발판장치와 훈련 모니터링 장치로 구성된다.

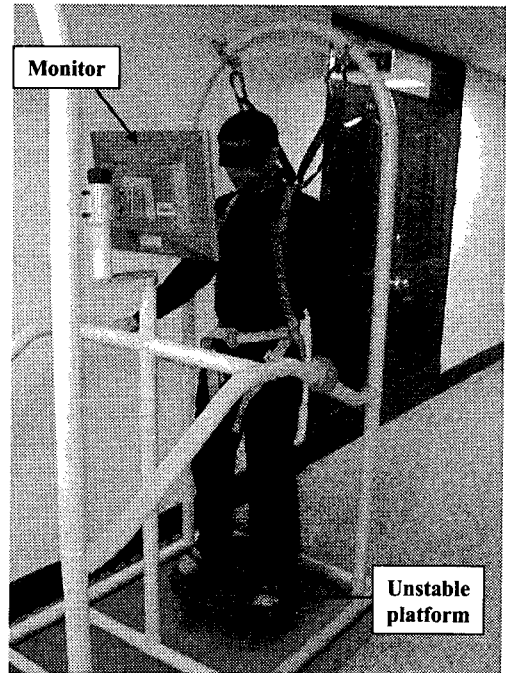


Fig. 1 Training system for improvement of equilibrium sense

불안정 발판은 자세 균형 제어에 필요한 감각들을 통합적으로 상호작용 할 수 있는 수단으로서 기울기 센서, 무선통신모듈과 전원공급장치 등을 내장한 형태로 제작하였다. 불안정 발판을 제작하기 위해서 평형판의 크기 및 형태와 측정원리를 결정해야 하는데, 본 연구에서는 자세균형에 관한 평형기관의 메커니즘과 기존의 각종 자극장치를 조사하여 이를 토대로 불안정판의 크기 및 형태를 결정하였다. 또한, 사용자의 움직임에 따른 발판의 기울기의 변화에 대응하는 신호를 출력할 수 있는 기울기 센서를 사용하였다.

Fig. 2은 제작된 불안정 발판장치의 외형과 내부 회로의 모습이다. 발판은 단단한 재질을 사용하였으며, 인간의 직립형태에 맞춰 윗면을 타원형태로 제작하였다. 불안정판의 구조로는 가로 520 mm, 세로 390.25 mm, 높이 108 mm이고, 윗면 하부의 곡률반경은 20 cm, 전후 최대 기울기는 28°, 좌우 최대 기울기는 18°이다. 또한, 발이 미끄러지지 않도록 하기 위해 점자블록에 사용되는 스테인레스 점자 타일을 부착하였다.

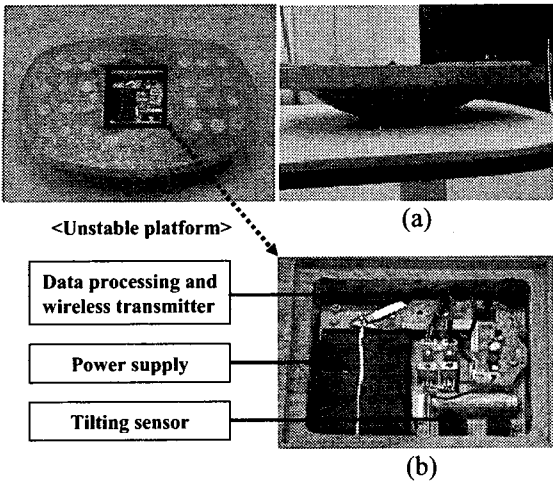


Fig. 2 Configuration of unstable platform: (a) side view (b) module for data detection and transmission

Fig. 3은 훈련 모니터링 장치와 발판 장치 상호 간 인터페이스 회로에 의한 블럭선도를 나타내고 있다. 인체 하중에 의한 불안정 발판의 움직임은 기울기 센서의 출력 전압 변화로 나타나고, A/D 변환 후 컴퓨터로 무선 전송되어 중앙제어 장치를 통해 데이터가 저장된다. 따라서, 사용자는 훈련 프로그램을 통하여 자신의 움직임을 실시간으로 관찰할 수 있어 시각적 바이오피드백(visual biofeedback) 훈련이 가능하다.

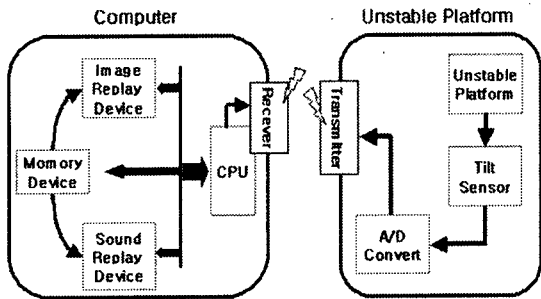


Fig. 3 Interface between the PC and unstable platform

3. 소프트웨어 설계

3.1 소프트웨어 구성

Fig. 4는 본 훈련 장치를 위한 소프트웨어의 구성을 표시하고 있다. 사용자의 균형감각을 평가할

수 있는 평가메뉴와 게임을 이용한 훈련 메뉴, DB를 이용하여 사용자의 데이터를 등록하여 사용자의 기본 정보 및 훈련 정보를 검색할 수 있도록 구성된 환자 관리, 마지막으로 분석 프로그램을 통해 측정된 데이터를 분석하여 평형감각의 평가와 훈련 효과를 확인할 수 있도록 하였다.

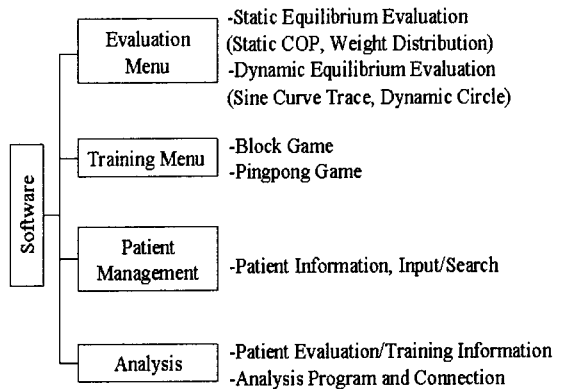


Fig. 4 Software configurations of training system for equilibrium sense

Table 1 Evaluation item on the postural equilibrium

Evaluation mode	Evaluation	Situation	
Static equilibrium evaluation	Static COP	Free standing	
	Weight distribution	Initial evaluation Adaptation	
Dynamic equilibrium evaluation	Sine curve trace	Sine curve COP	
	Dynamic evaluation	Anterior	Anterior-left Anterior-right Posterior-left Posterior-right
		Posterior	
		Left	
		Right	

Table 1은 평형감각 측정프로그램의 평가항목이다. 크게 정적균형평가와 동적균형평가로 나뉘어진다. 정적균형평가는 발판위에 서서 압력중심(center of pressure, COP)의 분포를 측정하는 Static COP와 Weight distribution 평가를 실시하였다. 그리고 측정 시 눈을 감거나 건장한 쪽의 발(건측발)로 서 있을 때의 기능저하나 병변이 있는 쪽의 발(환측발)로 서게 하는 등 다양한 상황에서 측정할 수 있도록 하였다.

동적균형평가는 모니터 상에 제시되는 사인파 곡선(sine curve)를 따라가는 Sine Curve Trace(SCT) 평가와 원(circle)으로 몸을 기울여 COP를 이동시킬 때 기록하는 Dynamic circle(DC)평가를 실시하였다.

4. 실험방법

4.1 실험대상

실험대상으로써는 20대 성인 남녀 9명(평균연령 25세, 남 6명, 여 3명)이 참여하였고, 훈련의 종류에 따라 세 그룹으로 나누었다. Table 2에서처럼 그룹 1은 좌우 움직임으로만 구성된 벽돌깨기 게임과 SCT를 함께 사용하여 훈련하게 하였고, 그룹 2는 전후 방향으로만 움직이게 되는 탁구게임으로 훈련하였다. 그룹 3은 벽돌깨기 게임만으로 훈련하게 하였다.

Table 2 Subject group

	Training direction	Training program
Group 1	Left-Right	SCT, Block game
Group 2	Anterior-Posterior	Pingpong game
Group 3	Left-Right	Block game

4.2 동적 평형감각 훈련

Fig. 5은 실험의 전체적인 진행을 표시하고 있다. 평가는 훈련 효과를 확인하고 학습의 영향을 배제하기 위해 초기평가, 중간평가, 최종평가로 3차

회에 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.

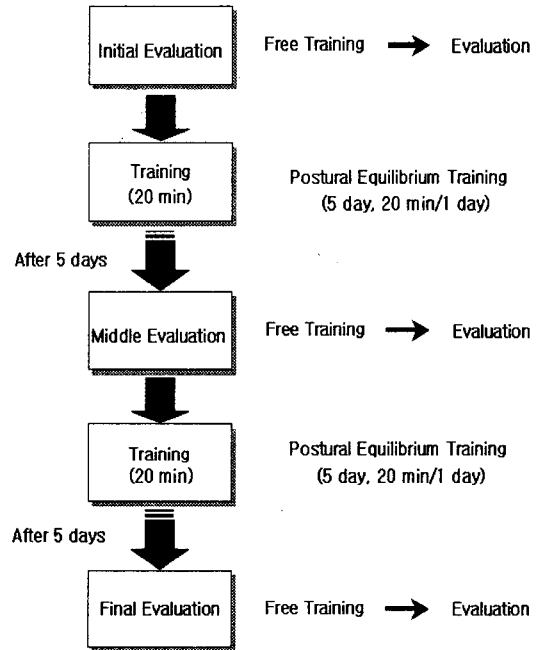


Fig. 5 Flowchart of experiment procedure

훈련은 Table 2에서 언급한 그룹별 훈련내용으로 매일 20분이상 지속하게 하였으며, 훈련 효과에 대한 평가는 그룹 1이 SCT 평가 프로그램을 훈련에 이용함으로써 학습효과로 인한 적절한 평가가 이루어지기 어렵기 때문에 DC 평가를 이용하여 각 방향에서 30초씩 반복측정 하였다. 동적 평형감각 측정 프로그램에서 동적 자세균형 평가를 위해 COP 이동시간과 COP 유지시간과 같은 평가 파라미터를 측정하였다.

DC 평가는 각 방향으로 제시되는 원 안으로 커서를 빠르게 이동시켜 오랫동안 유지하도록 하였다. 여기서, 타겟 크기, 타겟 위치, 커서의 x, y 좌표 열의 데이터가 수집된다. 타겟 크기는 제시된 원의 반지름이고, 타겟 위치는 원의 중심 좌표를 의미한다.

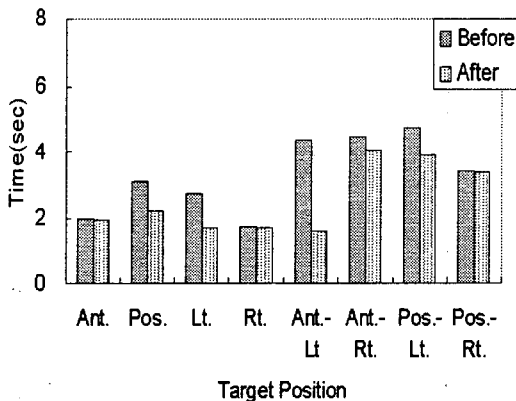
5. 결과 및 고찰

5.1 COP 이동시간

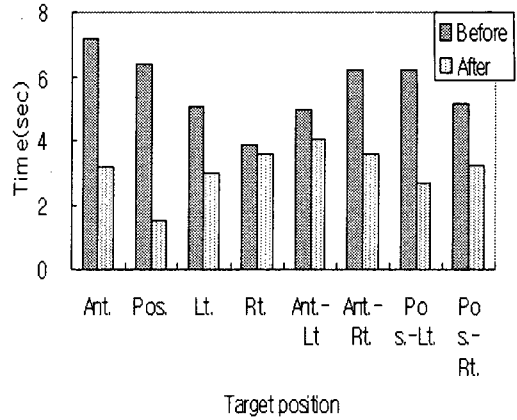
수집된 데이터를 이용하여 평가 파라미터로서 COP 이동시간과 COP 유지시간을 구하였다. COP 이동시간은 COP가 중심부에서 원까지 도달하는데 소요되는 시간을, COP 유지시간은 평가시간 중 COP가 원 안에 위치한 총 시간을 의미한다.

Fig. 6은 실험에 참여한 실험자들을 대상으로 DC 평가를 실시한 후 COP 이동시간을 측정하였다. 각 열(column)은 원이 제시된 방향이고, 각 행(row)은 피험자를 나타낸다. COP의 이동시간이 Group 1의 경우 정면 우측과 후면 좌측에서, Group 3은 정면좌측과 후면좌측에서 가장 길었고, Group 2는 우측에서 가장 짧았고 다른 방향에서는 고른 분포를 나타냈다.

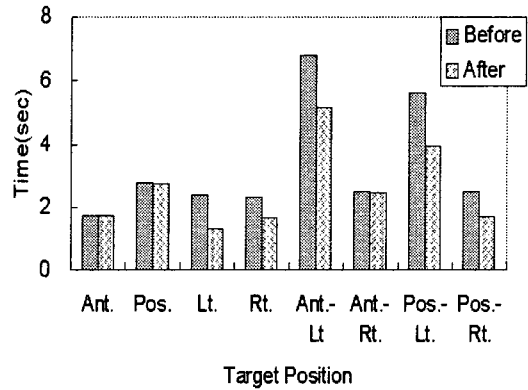
전체적으로 후면과 좌측, 후면좌측에서 자세균형제어에 어려움을 느껴 COP 이동시간이 길었고, 훈련을 통해 이러한 방향에서의 COP 이동시간이 단축되었다. 따라서, 자세균형제어가 어려운 방향에 대해 반복적인 훈련을 하게 하면, COP를 빠르고 정확하게 이동시켜 COP 이동시간이 단축됨을 알 수 있었다. 그리고, SCT와 벽돌깨기 게임을 함께 사용하여 훈련한 그룹과 벽돌깨기 게임으로만 훈련한 그룹에서 모두 COP 이동시간이 단축되었고, 특히 SCT와 벽돌깨기 게임을 동시에 적용한 평형감각 훈련 프로그램으로서의 효과를 입증할 수 있다.



(a) Group 1



(b) Group 2

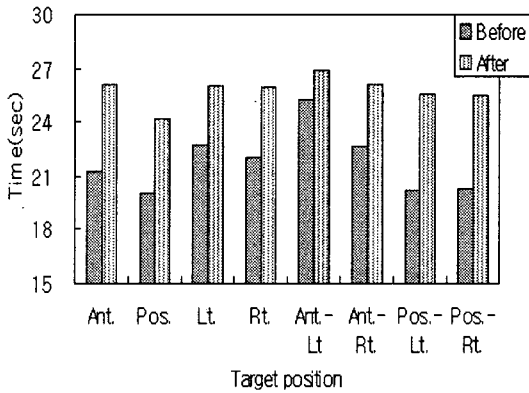


(c) Group 3

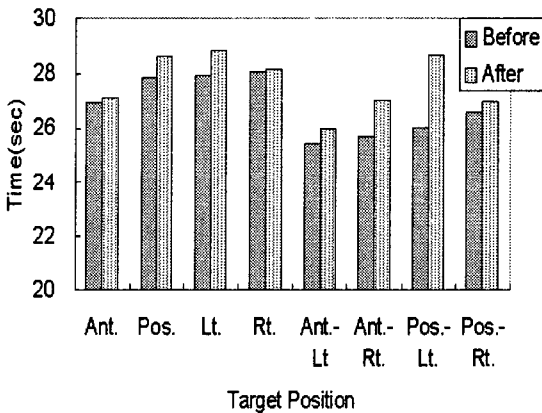
Fig. 6 Variation of COP moving time to the target for the dynamic circle evaluation

5.2 COP 유지시간

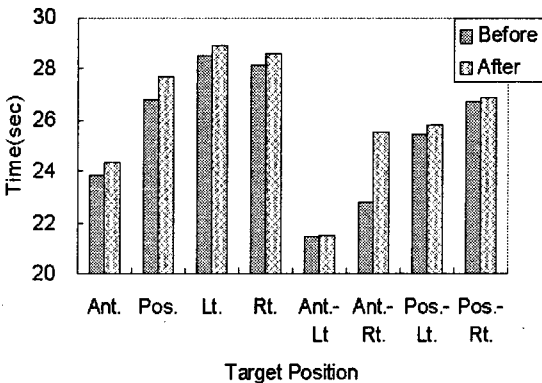
Fig. 7은 실험에 참여한 실험자들을 대상으로 DC 평가를 실시한 후 COP 유지시간을 측정한 것이다. 각 열(column)은 원이 제시된 방향이고, 각 행(row)은 피험자를 나타낸다. 표에서 알 수 있듯이 COP의 유지시간이 전체적으로 좌우방향이 전후방향보다 길었다. Group 2는 우측이, Group 3은 후면과 좌측이 우세하였고, Group 1은 정면과 정면우측, Group 2는 정면우측, Group 3은 정면좌측에서 COP 유지시간이 짧았다.



(a) Group 1



(b) Group 2



(c) Group 3

Fig. 7 Variation of duration to maintain in the target for the dynamic circle evaluation

훈련 전과 훈련 후의 COP 유지시간을 비교한 결과, 반복적인 훈련으로 좌측, 후면좌측에서 COP 유지시간이 길어짐을 확인하였다. 그리고 SCT와 벽돌깨기 게임을 이용하여 훈련 한 결과, 전방향에 대해 COP 유지시간이 길어졌으며, 벽돌깨기 게임으로 훈련한 경우에도 훈련 전 COP 유지가 힘들었던 방향에서 향상을 보였다. 이를 통해 SCT와 벽돌깨기 게임이 훈련 프로그램으로서 효과적임을 입증하였고, 두 가지 훈련 프로그램을 병행한 경우가 COP 유지시간 향상에 더 효과적임을 알 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 불안정판을 이용한 평형감각 훈련 시스템을 구현하였고, 이를 이용하여 2주간의 자세균형훈련을 실시하여 훈련 전과 훈련 후의 결과분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. SCT와 벽돌깨기 게임을 이용하여 반복적인 훈련을 실시한 결과, COP 이동시간과 유지시간이 개선됨을 확인하였다. 특히, 피험자가 자세균형 제어를 하기 어려워했던 방향에서의 향상이 두드러졌다. 따라서, SCT와 벽돌깨기 게임이 평형감각 증진을 위한 훈련 프로그램으로써 효과적임을 알 수 있었다.
2. SCT와 벽돌깨기 게임의 두 가지 훈련 프로그램을 함께 사용하여 반복적인 훈련을 실시한 결과, 여러 방향에서 COP 이동시간이 단축되었고, COP 유지시간은 증가하였다. 따라서, 두 가지 이상의 훈련 프로그램을 병행하는 것이 전반적인 평형감각 증진에 효과적임을 알 수 있었다.
3. 불안정판을 전후 또는 좌우로 기울일 때는 전경골근, 비복근, 대퇴직근이 서로 동시 또는 차례로 사용됨을 EMG신호 계측을 통해 확인하였다.

본 논문에서는 게임을 이용한 시각적 바이오 피드백 훈련을 통해 정상인에게 시각적 피드백이 동적 균형 훈련에 효과가 있었고, SCT와 벽돌깨기 게임이 자세균형훈련에 효과가 있음을 입증하였다.

후기

본 연구는 산업자원부 주관 실버의료기기 핵심 기술개발사업 지원 연구비에 의해서 연구되었습다.

참고문헌

1. Jeong, D. H. and Kwon, H. C., "A comparison of the limits of stability associated with aging," J. of Korean Society of Physical Therapy, Vol. 11, No. 2, pp. 139-147, 1999.
2. Kwon, O. Y. and Choi, H. S., "Evaluation of the balance ability for 20 to 29 years old on the unstable platform," KAUTPY Vol. 3, No. 3, pp 1-11, 1996.
3. Laughton, C. A., Slavin, M., Katdare, K., Nolan, L., Bean, J.F., Kerrigan, D.C., Philips, E., Lipsite, L.A. and Collins, J.J., "Aging, muscle activity and balance control : physiologic changes associated with balance impairment," Gait and Posture 18, pp. 101-108, 2003.
4. Hamman, R. G., Mekjavic, I., Mallinson, A. I. and Longride, N. S., "Training effects during repeated therapy sessions of blance training using visual feedback," Arch. Phys. Med. Rehabil. Vol. 73, pp. 738-744, 1992.
5. Herman, S. J., "Assessment and treatment of balance disorders in the vestibular-deficient patient," Proceedings of APTA Forum, Nashville, Tennessee, June 13-15, pp. 87-94, 1989.
6. Commissaris, D.A.C.M., Nieuwenhuijzen, P.H.J.A., Overeem, S., Vos, A. de, Duysens, J.E.J. and Bloem, B.R., "Dynamic posturography using a new movable multidirectional platform driven by gravity," J. Neuroscience Methods, Vol. 113, pp. 73-84, 2003.
7. Han, C. C., Kubo, M. Matsusaka, N., Ishimatsu, T., "Application of 3-D scanner to analysis of functional instability of the ankle," ICCAS2003, pp. 1071-1975, 2003.
8. Chow, D. H., Cheng, A. C., Holmes, A. D., Evans, J. H., "The effects of release height on center of pressure and trunk muscle response following sudden release of stoop lifting tasks," Applied Ergonomics, Vol. 34, pp. 611-619, 2003.
9. Peerrin, P., Schneider, D., Deviterne, D., Perrot, C. and Constantinescu, L., "Training improves the adaptation to changing visula conditions in maintaining human posture control in a test of sinusoidal oscillation of the support," Neuroscience Letter, Vol. 245, pp. 155-158, 1998.
10. Kim, J. Y., Song, C. G. and Kim N. G., "Performance evaluation and development of virtual reality bike simulator," Trans. KIEE, Vol. 51D, No. 3, pp.112-121, 2002.
11. Kim, J. Y., Song, C. G., Hong, C. U. and Kim, N. G., "Quantitative analysis of postural balance training using virtual bicycle system," J. Biomed. Eng. Res., Vol. 23, No. 3, pp. 207-216, 2003.