

외발서기 시 시각정보 차단에 따른 인체 균형 특성 변화 분석

Changes in Balance Characteristics Affected by the Visual Information during Single Leg Stance

박정홍¹, 김광훈², 엄창홍³, 손권^{1,✉}

Jung Hong Park¹, Gwang Hoon Kim², Chang Hong Youm³ and Kwon Son^{1,✉}

¹ 부산대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Pusan National Univ.)

² 부산대학교 기계기술연구원 (RIMT, Pusan National Univ.)

³ 동아대학교 경인지도학과 (Department of Coaching Guidance, Donga Univ.)

✉ Corresponding author: kson@pusan.ac.kr, Tel: 051-510-2308

Manuscript received: 2011.1.18 / Revised: 2011.7.21 / Accepted: 2011.8.8

The purpose of study was to analyze how the visual information affects balance control of individuals during single leg stance. A total of 27 young normal people (20 males and 7 females, age: 13.7±2.6, height: 162.3±13.2 cm, weight: 53.9±13.9 kg) was voluntarily involved in the experiment. The subjects were requested to maintain balance for 20 seconds with eyes both open and closed on a force plate and then foot ground reaction data were collected for that duration. Results showed that mean velocity of COP in closed eyes condition was larger 1.84 times than that of the open-eyes condition and range of vertical angle was increased approximately one degree in the closed eyes condition. To accomplish a balance, the frequency power in mediolateral and anteroposterior components of the foot-ground reaction force was increased by 1.3~1.4 times. Consequently, visual absence during single leg stance can result in critical loss of balance and lead to instability of body control.

Key Words: Single Leg Stance (외발서기), Loss of Balance (균형 상실), Center of Pressure (압력 중심), Visual Compensation (시각 보상), Balance Control Ability (균형 제어 능력)

1. 서론

균형 제어 능력은 일상생활을 영위하기 위한 기본적인 능력이며 동시에 가장 중요한 기능 가운데 하나이다. 균형감 혹은 평형감각을 잃게 되면 일상생활의 불편함뿐 아니라 사회활동을 하는데 있어 매우 많은 제약이 따르기 때문에 이를 유발하는 질병이나 외상에 의한 기능상실은 개인과 사회적으로 큰 문제를 일으킬 수 있다. 특히, 노령화 사회가 되면서 노인들이 일상생활에서 보편적으로 겪게 되는 것이 근력 약화, 감각 기관의 노화로 균형 능력이 크게 떨어져 쉽게 넘어지는 경우가

발생하고 있으며 균형 제어에 영향을 미치는 질병을 앓고 있는 환자의 경우도 이와 동일한 상황에 놓여 있다.

인체의 균형은 전정기관(vestibular system), 체성감각기관(somatosensory system) 그리고 시각기관(visual system)과 같은 감각기에서 받아들여진 정보를 중추신경계에서 판단하여 근육에 신호를 보내어 몸이 넘어지지 않도록 유지하는 일련의 통제에 의해 이루어진다. 이러한 감각기 가운데 전정기관은 균형을 이루는데 있어 가장 중요한 감각기이기 때문에 이에 대한 손상은 즉각적인 균형 능력 상실로 이어지게 된다. 반면 체성감각기관과 시각기

관은 균형감을 높이는 역할을 하지만 이들 역시 균형제어 및 평형유지에 있어 중요한 역할을 수행한다.^{1,3} 이러한 감각기관은 균형 제어 능력에 직접적인 영향을 미치며 서로 연관되어 있기 때문에 어떤 기관이 어느 정도의 비율로 균형제어에 관여하고 있는지 판단하기는 어렵다. 더욱이 전정기관이나 체성감각은 실험을 위해 기관 자체의 기능을 근본적으로 차단할 수 없다. 그러나 다른 기관과는 달리 시각은 눈을 감거나 뜬 두 가지 조건에 의해 쉽게 그 기능을 차단할 수 있기 때문에 실험적으로 시각이 균형 제어에 미치는 영향력을 알아볼 수 있다.⁴ 반대로 관점을 달리하여 시각 정보를 차단하면 인체 균형에 영향을 미치는 몸 자체의 균형 제어 능력을 파악할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 시각을 포함한 균형 제어 능력과 더불어 시각을 차단하여 젊은 정상인의 전정기관과 체성감각으로 제어되는 균형 능력을 정량적으로 분석함으로써 노인이나 환자의 균형 능력과 비교, 평가 등에 사용하기 위한 목적으로 연구를 수행하였다.

균형 제어 능력을 평가하기 위해 양발 지지보다 불안정한 자세인 외발서기 자세에서 균형감각을 평가하였다. 이는 직립자세 중 가장 불안정한 조건이므로 시각까지 차단하게 될 경우 불안정성은 더욱 증폭될 수 있다. 불안정성을 극대화한 조건에서 인체는 전정기관과 지지한 다리의 체성감각기관으로만 균형을 유지하여야 하며 이러한 조건에서 개인의 균형 제어 능력이 더욱 분명하게 드러날 수 있다.

경험적으로 시각 기능이 상실된 경우 균형제어에 어려움을 겪는다는 것을 알 수 있으며, 시각 기능이 균형제어에 미치는 영향에 대해서는 이미 여러 연구를 통해 확인된 바 있다.⁵⁻⁸ 그리고 정량적 평가를 위해 압력중심(CoP, Center of Pressure)의 이동 범위, 평균 속도, 표준편차 등을 측정하여 정량적인 지표로 활용하고 있다.^{9,10} 하지만 일반인이 아닌 운동 선수를 대상으로 하거나 양발 지지 조건에 대해서 보다 많은 연구가 이루어져 있어 외발서기 상태와 동시에 시각 유무에 따른 조사 자료는 부족한 상태이다.^{5,6,11} 그리고 대표적으로 사용되는 CoP 범위, 속도, 가속도 등의 단순 변수 이외에 다양한 측면을 고려해야 한다.¹² 따라서 본 연구에서는 기존의 CoP 분석 자료뿐 아니라 CoP 벡터 해석과 속도 성분 분포, 그리고 균형을 제어하는 힘에 대한 주파수를 분석하여 시각 정보 차

단 전후의 균형 제어 능력 변화를 해석하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 피실험자 및 실험장치 구성

피실험자는 젊은 정상인 27명(남자 20명, 여자 7명, 나이 13.7±2.6 세, 키 162.3±13.2 cm 몸무게 53.9±13.9 kg)을 대상으로 하였다. 실험 대상자들은 연구의 취지에 대한 설명을 듣고 이해하였으며 실험 동의서를 작성한 후 자발적으로 실험에 동참하도록 하였다.

실험장치는 디지털 비디오 카메라(Sony VX2100, Japan), 동조기(VSAD-CB, Visol, Korea), 지면반력 분석 소프트웨어(KwonGRF 2.0, Visol, Korea), 힘판(OR6-7, AMTI, USA) 그리고 힘판 증폭기(MSA-6, AMTI, USA)로 구성하였다.

2.2 실험순서 및 데이터 처리

균형유지 실험은 Fig. 1 과 같은 자세에서 다음과 같은 순서로 진행되었다. 실내에 힘판을 설치하고 힘판의 상단면은 발바닥의 미끄럼 방지를 위해 미끄럼 방지 테이프를 부착하였다. 신발은 착용하지 않은 상태에서 맨발로 실험을 진행하였다. 준비된 피실험자는 Fig. 1 과 같이 힘판 위에 올라가 가장 안정된 자세를 취한 후 체중을 측정 하였다. 체중 측정 후 다시 실험 진행자의 지시에 따라 힘판에 올라가 양 발을 나란히 붙인 다음, 양손은 자연스럽게 내리고 시선은 15 도 상단의 표적을 주시하게 한 후, 한 쪽 다리를 들게 하였다. 지지 다리는 왼발이나 오른발의 차이가 있을 수 있고 주로 사용하는 발의 운동능력에 따라 차이가 있을 수 있으므로 본 연구에서는 공을 찰 때 지지하고 있는 다리를 기준으로 지지 다리를 선정하였

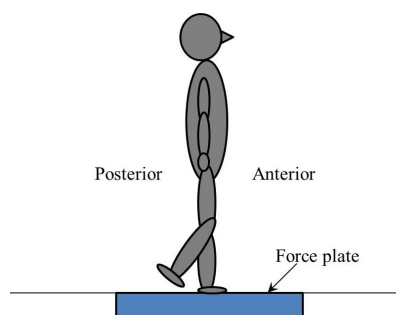


Fig. 1 Single leg standing on the force plate

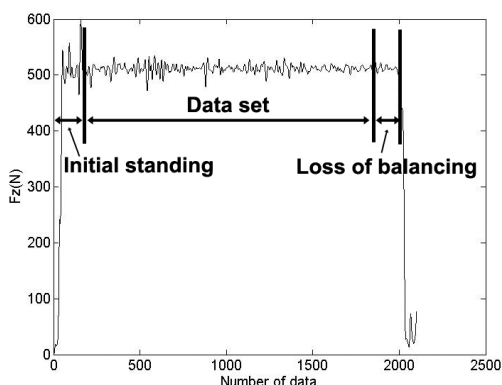


Fig. 2 Vertical reaction force (Fz) during single leg standing

다. 피실험자마다 지지 다리를 구별하기 위해 공을 찰 때 어느 발로 차는지를 확인하였으며 확인 결과 피실험자는 모두 오른발로 공을 차는 오른발잡이였으며 지지 다리는 모두 왼발로 하였다. 실험진행자는 피실험자에게 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태에서 균형을 최대한 유지하도록 요청하여 자료를 획득하였다. 이중 눈을 감은 상태에서는 첫번째 시도에서 수초를 넘기지 못하고 넘어지는 경우가 있었으며 이러한 경우에는 재시도 후 성공한 자료를 획득하였다. 모든 피실험자에 대해 두 상태에서 20 초 이상 자료를 획득하였다.

지면 반력 측정 시 절차에 따라 지면 반력 장비를 가동시킨 후 전기적 잡음을 최소화하기 위해 45 분 이상 예열하였다.¹³ 샘플링 주파수는 12 bit A/D 변환보드(DT3002, Data Translation, Marlboro, MA, USA)를 이용하여 100 Hz로 설정하였다. 앰프를 A/D 컨버터(VSAD-102-3C)에 연결하고 측정된 아날로그 신호를 디지털로 변환시켜 컴퓨터에 저장하였다. 측정된 압력중심(CoP, center of pressure)점의 위치 데이터와 3축방향의 힘 Fx, Fy, Fz 데이터는 Butterworth 4 차 저주파 통과 필터를 이용하여 절단주파수(cutoff frequency) 8 Hz로 설정하여 필터링하였다. 눈을 감은 상태와 눈을 뜬 상태의 균형 자료를 동일한 데이터 개수로 비교하기 위해서 20 초간 얻은 데이터에서 전후 2 초간은 초기 입각 및 균형상실 구간으로 설정하여 삭제하고 2~18 초 구간의 데이터를 이용하여 분석에 사용하였다. Fig. 2 는 눈을 감은 상태에서 20 초 가량 균형을 유지한 피실험자의 데이터이며 초기 2 초이내 외발 입각이 이루어지고 20 초 이전 시점에 균형을 잃고

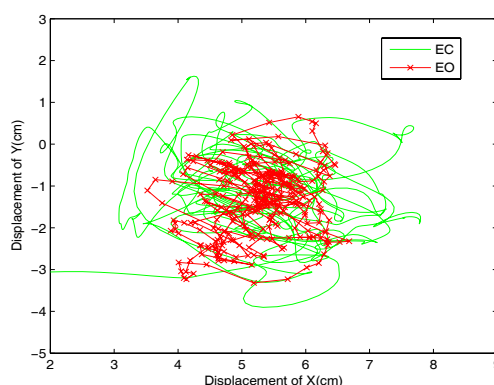


Fig. 3 A representative trajectory of CoP in open and closed conditions (ID=5)

넘어짐을 확인할 수 있다.

3. 결과

3.1 CoP 범위와 평균 속도

Fig 3 에서와 같이 CoP 궤적이 눈을 감은 경우(EC, eyes closed)가 눈을 뜬 경우(EO, eyes open)에 비해 넓게 분포되어 있는 것을 볼 수 있다. 모든 대상자에 대해 CoP 를 통해 계산되는 이동거리 범위, 각 범위, 그리고 평균 속도를 Table 1 에 정리하였다. 여기서 CoP 의 X 축과 Y 축의 각 범위 ($\theta = \tan^{-1}(d_r/h_{COM})$)는 지면으로부터의 무게중심까지의 높이(h_{COM})와 이동범위(d_r)를 이용하여 수직을 기준으로 계산하였다. 지면에서 무게중심까지의 높이(h_{COM})는 Park 등¹⁴의 측정자료를 근거로 57%가 되는 높이를 무게중심의 수직 높이로 산출하였다. CoP 평균 속도의 계산을 위해 우선 X 축과 Y 축 성분의 속도를 Richardson 외삽법을 사용하여 얻고, 이를 제곱근을 취하여 CoP 속도를 계산하였다. 그리고 이를 평균하여 평균 속도를 구하였다.

각각의 파라미터에 대해 눈을 떴을 경우에 대한 눈을 감은 경우의 비를 계산했을 때 평균 속도가 1.84 로 가장 큰 차이를 보였다. 이것은 Day 등¹⁵이 시각 차단 시 동요의 증가와 함께 CoP 속도 증가가 일어나는 것과 같은 결과이며 Raymakers 등¹⁶이 CoP 파라미터 중 평균 속도가 가장 큰 구별요소라고 말하고 있는 내용과도 일치한다. 그리고 이동 범위는 X 축 방향(내외측방향, mediolateral direction)이 Y 축 방향(전후방향, anteroposterior direction)에

Table 1 CoP parameters (range and mean velocity)

	CoP range of X(cm)	CoP range of Y(cm)	CoP angle range of X(°)	CoP angle range of Y(°)	Mean velocity (cm/s)
EC	12.1±4.8	8.7±5.7	3.8±1.5	2.7±1.1	11.4±2.4
EO	9.4±5.9	5.7±2.7	2.9±1.7	1.8±0.8	6.2±1.7
EC/EO	1.23	1.53	1.31	1.50	1.84

비해 큰 값을 나타내었다. 이는 발의 모양이 전후 방향으로 긴 반면에 좌우 폭은 짧기 때문에 모멘트 팔 길이에 의한 제어 범위가 좁아서 나타나는 현상이다. 그리고 이것은 내외측 방향의 균형 범위가 전후 방향에 비해 좁아 내외측 방향에서 균형 상실이 더욱 빈번하게 발생하는 이유가 되기도 한다.¹⁷

이동거리를 각도로 환산하였을 때 눈을 감고 외발서기를 했을 경우 각각 거의 1° 가량 증가한 것으로 나타났다. 그리고 내외측 방향에서 가장 큰 평균값인 3.8° 의 각 범위가 나타났다. 본 실험 값을 토대로 각도의 측면에서 볼 때, 외발서기와 같이 지지영역(base of support)이 좁은 자세에서 균형을 유지하기 위해 인체는 수직선을 중심으로 매우 좁은 범위 안에서 균형을 이루고 있음을 알 수 있다.

또한 Table 1 에서 EC/EO 의 비를 나타낸 값에서 X 방향과 Y 방향에 대한 비는 1.23 과 1.53 으로 이동범위가 큰 내외측(X 방향) 방향에 비해 상대적으로 작은 전후(Y 방향)방향에 대한 민감도가 더 크게 나타났다. 이것은 눈을 감고 외발서기를 하는 불안정한 자세에서 균형을 유지하기 위해 내외측 방향뿐 아니라 전후 방향에 대한 운동이 동반하여 증가하기 때문인 것으로 판단되며 상대적으로 눈을 뜨거나 감은 상태에서 전후 방향 운동 범위가 작은 전후 방향에서 EC/EO 의 비가 크게 나타난 것으로 보여진다.

Fig. 4 는 모든 피실험자에 대해서 눈을 감은 경우와 눈을 뜬 경우에 대해 평균 속도를 나타내었다. 그리고 눈을 뜬 경우(EO)를 평균속도의 크기로 오름차순으로 정렬하고 각각에 대해 눈을 감은 경우의 평균을 나타내었다. Fig. 4 에서 확인할 수 있는 바와 같이 눈을 뜬 경우 평균속도가 높을수록 눈을 감았을 때 평균속도가 비례적으로 증가하는 것이 아니라 각 사람마다 증가폭이 서로 달라 개인적인 차이가 크게 나타남을 알 수 있다.

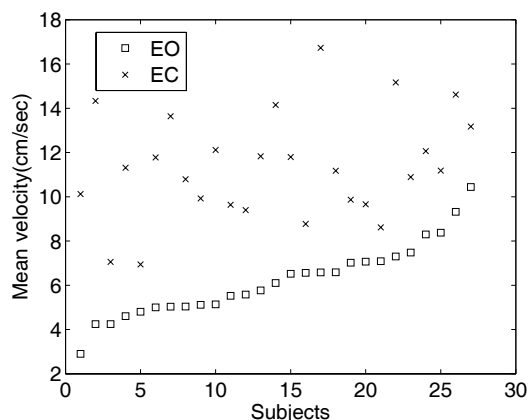


Fig. 4 Mean velocities for all subjects

3.2 CoP 속도 분포

외발서기 자세에서 균형을 이루기 위해 무게중심이 지지하는 발바닥 면으로부터 수직인 위치, 즉 정중양에 위치하게 되면 가장 안정한 상태이다. 그러나 지지하는 동안 자세의 동요가 있고 자세의 동요에 따라 안전한 범위와 불안정한 범위로 나뉘어질 수 있다. 이것은 지지하는 발의 제어 모멘트가 충분히 몸의 무게 중심을 제어할 수 있는가의 여부에 따라 결정된다.

Fig. 5 는 CoP 의 궤적과 중심, 그리고 가상의 안정원(stable circle)을 도식적으로 나타내고 있다. 여기서 가상의 안정원은 본 연구에서 임계값을 설정하여 만든 원이 아니라 개념적으로 가상한 원이다. 이 안정원 안에서 균형을 제어할 때 CoP 속도 벡터는 상대적으로 느리게 운동하는 벡터들이 많이 포함되고, 안전원 밖은 인체에서 불안정 상태로 파악 하여 CoP 중심으로 운동을 제어하기 때문에 빠른 속도벡터가 많아지게 된다.

Fig. 6 은 Fig. 5 의 실제 데이터를 확인해 보기 위해 나타낸 그림이다. Fig. 6 에 예시된 피실험자의 경우 0 에서 약 15 cm/sec 의 속도가 전체의 80%를 차지하고 있으며, 15~30 cm/sec 의 속도성분이 약 20%를 차지하고 있음을 알 수 있다. 이 그림에서는 CoP 점이 가장자리에서 방향을 바꿀 때 저속 성분이 나타나고, 안전원 안에서 고속성분이 나타나지만, 0~15 cm/sec 값과 같은 저속 성분은 대부분 이 원안에 나타나고 있음을 볼 수 있다.

외발서기 시 눈을 감은 상태가 뜬 상태에 비해 더욱 불안정해지는 것을 Table 1 에서 통계적 자료로 나타내었다. 균형의 불안정성 증가는 곧 CoP

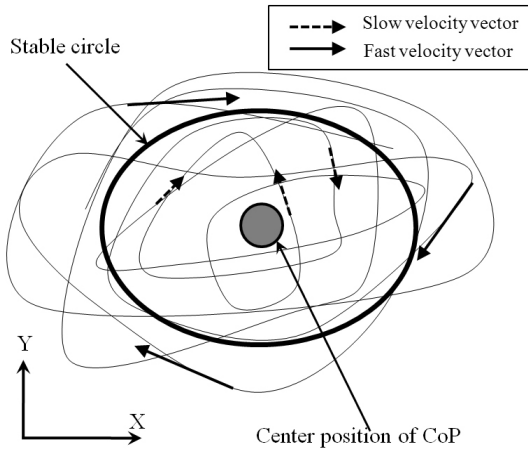


Fig. 5 Velocity vectors along the trajectory

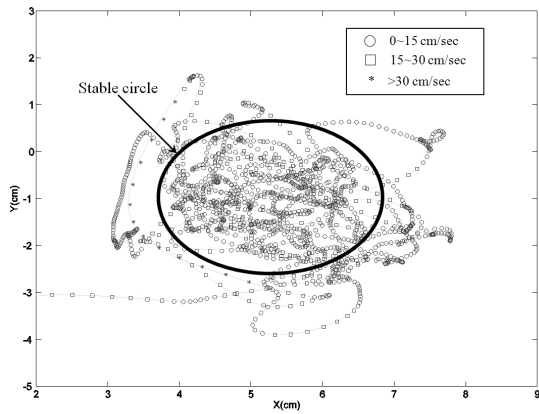


Fig. 6 Velocity histogram (ID=5)

속도의 증가로 나타나며 이를 알아보기 위해 Fig. 8에 CoP의 속도 분포별 증가량을 나타내었다. Fig. 8은 Fig. 7의 히스토그램에서 전체 데이터의 10~95%까지 5%간격과 99%에 대한 속도를 나타내었다. 결과 그래프 상에서 나타나는 바와 같이 속도분포의 10~50%까지는 평균 속도의 차이가 4.5 cm/sec 이하로 나타나는데 비하여 85%이상부터는 9.0 cm/sec로 두 배의 CoP 속도 증가가 나타났다. CoP의 속도가 빠른 것은 Fig. 5의 개념도에서 언급한 것처럼 불안정한 위치로 이동할 때 다시 안정영역으로 진입하기 위해 인체가 균형 제어를 하기 때문이다. 따라서 그림과 같이 눈을 감은 경우가 눈을 뜬 경우에 비해 속도 증가가 일어난 것은 시각정보 상실에 의한 불안정성의 증가로 균형 제어를 위한 제어량이 크게 증가했음을 보여준다.

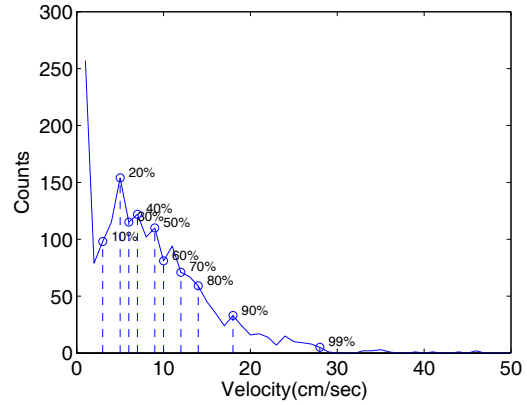


Fig. 7 Velocity distribution (ID=5)

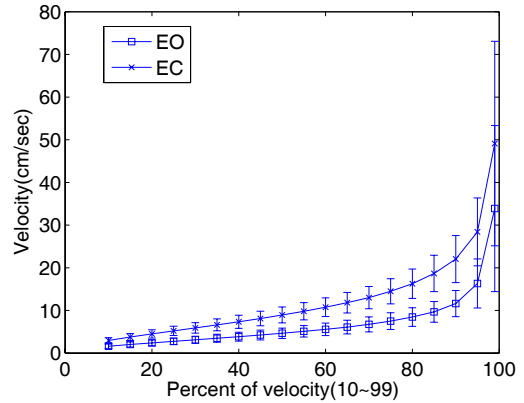


Fig. 8 Velocity change graph in open and closed conditions

3.3 제어 힘의 주파수 분석

외발서기를 할 때 인체는 균형을 이루기 위해 내외측 방향(X 축 방향)과 전후 방향(Y 축 방향)으로 힘을 가하여 안정된 자세를 취하려 한다. 이들 방향의 힘은 힘판으로부터 F_x 와 F_y 로 얻어진다. 본 연구에서는 눈을 감고 뜬 경우의 안정성 변화를 관찰하고자 두 힘 성분의 주파수를 분석하였다.

각 방향 성분의 힘은 균형을 이루는 기준점을 중심으로 양과 음의 값을 바꾸어가며 균형을 이룬다(Fig. 9). 이 힘에 대하여 시간에 대한 특성을 알아보기 위해 주파수 분석을 실시하였다. 눈을 뜬 경우에 대비하여 눈을 감았을 때 얼마나 주파수 성분이 변화하였는지를 계산하기 위해 먼저 F_x 와 F_y 에 대하여 고속 푸리에 변환(FFT)을 하고 눈을 뜬 경우에 대한 파워스펙트럼을 구하였다.

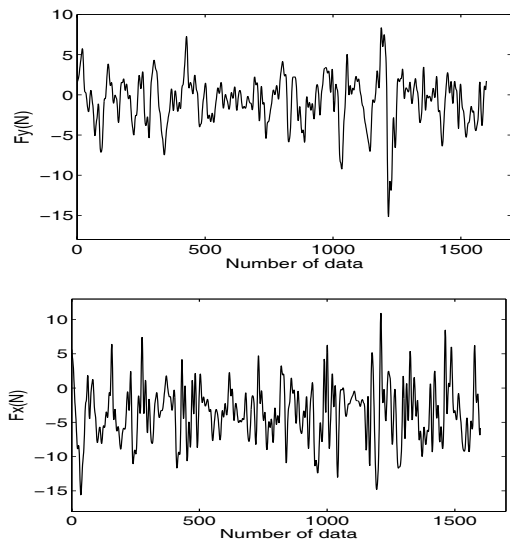


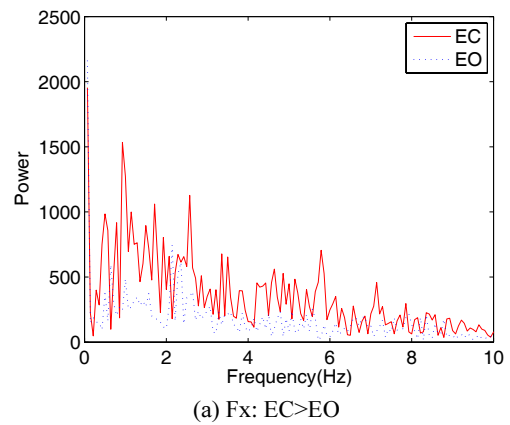
Fig. 9 Forces acting in X and Y directions

Fig. 10 은 계산된 파워스펙트럼을 나타내며 관심 구간은 0~10 Hz로 설정하였다. Fig. 10 에서 (a)는 눈을 감았을 때 0~10 Hz 구간에서 주파수 성분이 증가한 경우이며, (b)는 감소한 경우를 나타낸다. 피실험자 27 명중 21 명은 눈을 감은 경우에 증가했으며 나머지 6 명이 반대로 소폭 감소하였다. 감소한 6 명 중 3 명은 Fx 에서, 나머지 3 명은 Fy 에서 감소가 나타났다.

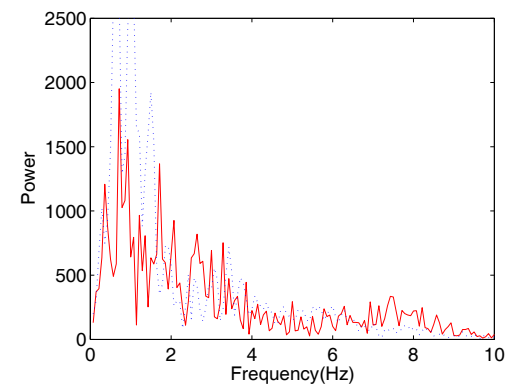
Fig. 11 은 눈을 감았을 때가 눈을 뜬 경우에 비해 얼마나 주파수 성분이 증가했는지 알기 위해 0~5 Hz 사이의 파워스펙트럼을 재처리한 결과이다. 이것은 EC 와 EO 에 대하여 각각 적분한 값을 빼고 값의 스케일링을 위해 값에 $1/3 \cdot \log_{10}$ 를 취하여 EC 가 EO 에 비해 주파수의 성분에서 증가했는지를 계산한 값이다. Fig. 11 은 눈을 감은 조건에서 균형제어를 담당하는 0-5 Hz 구간의 주파수가 Fx 의 경우 1.4 배, Fy 의 경우 1.3 배 상승하였음을 보여준다. 0~5 Hz 에 대해 1~5 Hz 와 2~5 Hz 로 갈수록 큰 변화가 없는 것은 0~2 Hz 의 저주파 성분은 큰 변화가 없다는 것을 의미하므로 2~5 Hz 의 힘 성분들이 눈을 감았을 때 증가하는 주파수 성분임을 알 수 있다. 즉, 눈을 감았을 때가 떴을 때보다 불안정성이 커졌음을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 외발서기와 같은 매우 불안정한 조



(a) Fx: EC>EO



(b) Fx: EC<EO

Fig. 10 Power spectrum graph for two cases

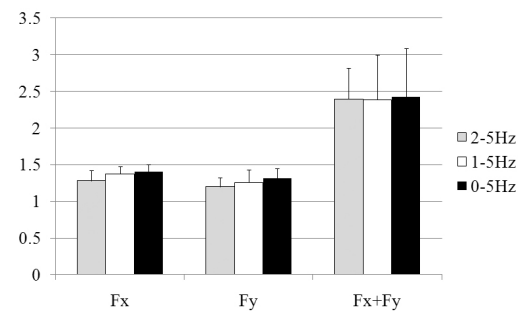


Fig. 11 Frequency boosting effect for EC condition

건에서 시각을 제거하여 전정기관과 체성감각기관으로만 균형을 이루는 상황에 대한 불안정성의 증가를 살펴보고자 하였다. 정상인 27 명에 대한 실험결과 눈을 감은 경우가 눈을 떴을 경우에 비해 CoP 의 범위, 평균 속도에 대해 1.2~1.8 배 가량 증가하였다. 그리고 모든 피실험자에 대해 CoP 평균 속도는 눈을 감은 경우에 대해 모두 증가해 시각

정보의 차단이 불안정을 증가시키는 중요한 원인임을 밝혀낼 수 있었다. 그리고 속도 분포의 경우 눈을 감은 경우와 뜬 경우의 차이가 10% 이후 지점부터 서서히 비선형적으로 증가하였다. 균형을 이루기 위한 내외측 및 전후 방향의 힘의 주과수 분석결과 눈을 감은 경우 1.3~1.4 배 증가하였다. 본 연구는 젊은 정상인의 외발서기 조건에서 시각 차단의 영향에 따른 균형 제어 능력을 CoP의 변화와 힘의 주과수 변화를 정량적으로 분석하였다. 이를 활용하여 노인, 전정기관 이상 환자 그리고 체성감각 이상 환자 등과 같은 그룹이 정상 그룹에 비하여 어느 정도 기능을 상실하였는지 혹은 노화에 따라 기능이 감퇴하였는지 비교함으로써 비정상 상태의 낙상위험도나 균형제어 능력을 정량적으로 평가할 수 있는 자료로 활용될 수 있다.

참고문헌

- Patla, A. E., "Understanding the roles of vision in the control of human locomotion," *Gait and Posture*, Vol. 5, No. 1, pp. 54-69, 1997.
- Easton, R. D., Greene, A. J., Dizio, P. and Lackner, J. R., "Auditory cues for orientation and postural control in sighted and congenitally blind people," *Experimental Brain Research*, Vol. 118, No. 4, pp. 541-550, 1998.
- Vuillerme, N., Nougier, V. and Prieur, J., "Can vision compensate for a lower limbs muscular fatigue for controlling posture in humans?" *Neuroscience Letter*, Vol. 308, No. 2, pp. 103-106, 2001.
- Chen, S. Y., Chiu, P. W., Lee, C. H. and Lin, H. C., "Vision influences on postural stability in different ages," *Gait and Posture*, Vol. 21, Suppl. 1, p. S5, 2005.
- Perrin, P., Deviterne, D., Hugel, F. and Perrot, C., "Judo, better than dance, develops sensorimotor adaptabilities involved in balance control," *Gait and Posture*, Vol. 15, No. 2, pp. 187-194, 2002.
- Schmit, J. M., Regis, D. I. and Riley, M. A., "Dynamic patterns of postural sway in ballet dancers and track athletes," *Experimental Brain Research*, Vol. 163, No. 3, pp. 370-378, 2005.
- Adkin, A. L., Frank, J. S., Carpenter, M. G. and Peysar, G. W., "Postural control is scaled to level of postural threat," *Gait and Posture*, Vol. 12, No. 2, pp. 87-93, 2000.
- Van Emmerik, R. E. A., Remelius, J. G., Johnson, M. B., Chung, L. H. and Kent-Braun, J. A., "Postural control in women with multiple sclerosis: Effect of task, vision and symptomatic fatigue," *Gait and Posture*, Vol. 32, No. 4, pp. 608-614, 2010.
- Rocchi, L., Chiari, L. and Cappello, A., "Feature selection of stabilometric parameters based on principal component analysis," *Medical and Biological Engineering and Computing*, Vol. 42, No. 1, pp. 71-79, 2004.
- Karlsson, A. and Frykberg, G., "Correlations between force plate measures for assessment of balance," *Clinical Biomechanics*, Vol. 15, No. 5, pp. 365-369, 2000.
- Paillard, T., Noé, F., Rivière, T., Marion, V., Montoya, R. and Dupui, P., "Postural performance and strategy in the unipedal stance of soccer players at different levels of competition," *Journal of Athletic Training*, Vol. 41, No. 2, pp. 172-176, 2006.
- Lafond, D., Corriveau, H., Hebert, R. and Prince, F., "Intrasession reliability of center of pressure measures of postural steadiness in healthy elderly people," *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, Vol. 85, No. 6, pp. 896-901, 2004.
- Huxham, F. E., Goldie, P. A. and Patla, A. E., "Theoretical considerations in balance assessment," *Australian Journal of Physiotherapy*, Vol. 47, No. 2, pp. 89-100, 2001.
- Park, S. J., Park, S. C., Kim, J. H. and Kim, C., "Biomechanical parameters on body segments of Korean adults," *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 23, No. 1-2, pp. 23-31, 1999.
- Day, B. L., Steiger, M. J., Thompson, P. D. and Marsden, C. D., "Effect of vision and stance width on human body motion when standing: Implications for afferent control of lateral sway," *Journal of Physiology*, Vol. 469, pp. 479-499, 1993.
- Raymakers, J. A., Samson, M. M. and Verhaar, H. J. J., "The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s)," *Gait and Posture*, Vol. 21, No. 1, pp. 48-58, 2005.
- McClenaghan, B. A., Williams, H. G., Dickerson, J., Dowda, M., Thombs, L. and Eleazer, P., "Spectral characteristics of aging postural control," *Gait and Posture*, Vol. 4, No. 2, pp. 112-121, 1996.