

정적자세 유지시 압력중심신호를 이용한 자세안정도 지표화

차은송 · 김경아 · 이태수

충북대학교 의과대학 의공학교실
(1999년 3월 2일 접수, 1999년 8월 6일 채택)

Postural Stability Measures Estimated from the Center of Pressure Signal During Static Posture Maintenance

E.J. Cha, K.A. Kim, T.S. Lee

Biomedical Engineering Department, College of Medicine Chungbuk National University
(Received March 2, 1999. Accepted August 6, 1999)

요약 : 환자의 기능평가를 위하여 중요한 자세균형의 유지는 압력중심(COP)의 중요신호인 직접 연속적으로 계속함으로써 가능하다. COP 신호로부터 다양한 종류의 자세안정도지표란 산출할 수 있으나 임상적으로 유용한 최소한의 지표 종류는 규명된 바 없다. 이에 본 연구에서는 인체가 서 있는 상태의 정적자세를 유지할 때 압력중심 신호로부터 자세안정도지표를 산출하여 분석함으로써 임상적 유용성이 가장 큰 지표의 종류를 결정하고자 하였다. 양발을 편안히 벌리거나(FS), 모루 모으거나(FT), 한쪽발 만으로(RL, LL) 서있는 자세에 대해서 양쪽 눈을 뜨거나(EO) 감은(EC) 8가지 정적 자세를 취하며 30초간 자세균형을 유지시켰다. 자세형태에 따른 안정도의 척도로서 신체가 지면을 차지하는 면적(S)을 사용하였다. 자세안정도지표로서 1)position deviation, 2)position turn, 3)velocity의 3가지로 분류할 수 있는 18가지 지표를 설정하였다. 피검자는 20, 30, 40, 50대 정상인을 연령대 별로 각각 남·녀 5명씩 고르게 총 40명을 선정하여 실험하였다. 자세안정도지표 모두가 S와 비교적 높은 유의한 상관관계를 보인 바(상관계수=0.6~0.8, $P<0.0001$), S가 자세형태를 정량화할 수 있음을 입증하였다. 모든 지표들에 있어서 시각의 영향이 뚜렷하였으며 특히 자세가 불안해질수록 상대적으로 시각의 영향이 두드러졌다. 그러나 시각의 영향의 지표들 간의 차이는 없었다. 반면 노화(연령 증가)에 따른 안정도지표의 변화는 미미하였으며 위의 3가지 안정도지표분류 중 position deviation 지표만이 통계적으로 유의한($P<0.05$) 상관관계를 보였다. 따라서 정적자세유지시 안정도지표로는 position deviation 지표들이 가장 예민함을 알 수 있었다. 그러나 position deviation 지표들과 연령과의 상관계수는 0.5 이하로서 매우 느슨한 상관관계만 보였으며 연령증가에 따른 자세불안정도의 증가도 매우 작아서 그 임상적 응용가능성은 의문시되었다. 또한 위에서 제시한 3가지 분류의 지표중 position turn과 velocity 지표의 의미에 관해서는 향후 심층적인 연구가 필요한 것으로 판단되었다.

Abstract : Postural stability can be evaluated by continuously monitoring the center-of-pressure(COP) sway followed by a quantitative analysis. Although various kinds of stability parameters could be calculated, minimal set of parameters clinically useful have not been determined. Therefore, the present study analyzed COP signals to extract a minimal set of parameters reflecting postural stability while maintaining static posture for 30 seconds. Eight different postures consisted of foot stable(FS), foot together(FT), and one leg only(RL and LL) with both eyes open(EO) or closed(EC). With different feet conditions, the area formed by feet(S) was calculated to provide a quantitative measure of the posture stability. Normal subjects total of 40 were selected such that 5 males and 5 females belonged to 2, 3, 4, and 5 decade years old each, which formed a subject group uniform in age distribution. Stability parameters of 18 items were classified into 3 groups: position deviation, position turn, and velocity groups. All parameters showed relatively high(0.6~0.8) and significant($P<0.0001$) correlation coefficients with S, demonstrating that S was eligible for a quantitative posture stability standard. The effect of vision was obvious in all parameters, furthermore relatively larger effect was observed as the posture got more unstable. On the other hand, the stability parameters were weakly correlated with age in that only position deviation group revealed statistically significant($P<0.05$) correlation coefficient(<0.5).

본 연구는 1994년도 한국과학재단 특정기초연구비에 의해 지원되었음.

(과제번호 : 94-1400-13 01-3)

통신저자 : 차은송, (361-763) 충북 청주시 흥덕구 개신동 산 48번지

Tel. 0431-269-6331 Fax. 0431-273-0848

E-mail : cjcha@med.chungbuk.ac.kr

Therefore, the position deviation parameters were the most sensitive to posture stability, while they might not be clinically useful for age dependent evaluation. The other two parameter groups seemed unclear in their physiological meaning and warrant further investigations.

Key words : Static posturography, Center of pressure, Force platform

서 론

자세균형의 유지는 기립, 보행 등 인체의 모든 동작시 필수적인 기능이다. 따라서 재활치료를 시 자세균형의 유지능력은 환자의 기능평가에 있어서 중요한 부분으로 취급되고 있다[1,2]. 자세유지능력의 평가방법으로는 standing balance 측정[3], 보행관찰을 통한 측정[4] 등 인상적 방법이 있으나, 인체의 압력 중심점(center of pressure, COP)의 중요정도를 측정하는 방법을 사용하면 직접적이고 정확하며 정량적인 측정이 가능하기 때문에 점차 인상적 사용이 증가하고 있다[5,6]. COP를 계속하여 자세유지기능을 평가하는 기기는 이미 신진국에서 상용화되어 고가에 수입되고 있는바, 본 연구팀에서는 인상응용이 가능한 평형판시스템을 개발하였고, 이를 사용하여 진단적 유용성을 입증하였다[7]. 인체가 정적인 자세를 유지하는 동안 COP의 변화신호를 수집하여 자세안정도를 반영하는 지표를 산출하는 기법은 static posturography의 범주에 속하며 자세안정도 지표들은 자세유지에 영향을 미치는 각종 인자들과 상관관계를 가진다. 그러나 COP의 측정목적과 측정환경에 따라 어떤 지표를 사용해야 하는지와 정적자세 유지시 예민한 지표가 어떤 종류인지 등은 표준화되어 있지 않다. 다양한 종류의 지표들이 사용되고 있으나[5,6,7,9] 어떤 종류의 지표들이 실제로 임상적 의의가 있는지, 혹은 자세안정도에 영향을 미치는 인자를 감별할 수 있는 가장 예민한 인자가 무엇인지 등에 대한 체계적인 연구는 행해진 바 없다. 나아가 stochastic process에 입각한 현대적 분석기법들은 아직 생리적 혹은 임상적 의의에 대한 연관관계가 미비하다. 이에 본 연구에서는 본 연구팀에서 기 개발한 평형판시스템을 사용하여 정상인의 COP 신호를 계속·분석하여 실용성이 있는 지표의 종류를 결정하고자 하였다. 피검자가 특정한 자세를 유지하는 동안 계속된 COP 신호로부터 다양하게 설정된 자세안정도의 지표들을 계산한 후, 그 결과로부터 자세안정도와 지표 간의 상관관계를 산출하고 임상적 의미를 분석해 봄으로써 정적자세 유지시 자세안정도를 가장 잘 반영하는 지표의 종류를 결정하고자 하였다.

재료 및 방법

1. COP 신호계측

본 연구팀에서 기 개발한 COP 측정용 평형판시스템을 사용하여 COP 신호를 계속하였다[7]. 피검자가 그 위에서 특정자세를 유지하는 평형판은 삼각형 형태이며 힘의 평형과 모멘트 보존원리에 의해 COP의 좌표를 시간함수로 계산하였다. 그림 1에 COP의 계속원리를 보였다. 삼각형 형태의(밑변 l, 높이 h) 평형판에 피검자가 올라서 있을 때 몸무게가 세 꼭지점으로 분산되는 힘을 측정하면(F_a , F_b , F_c), 힘과 모멘트의 보존원리에

의해 피검자가 무게중심에서 지면을 향해 수직으로 가하는 힘의 작용점인 COP는 다음과 같이 계산된다.

$$COP(x, y) = \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{F_a + 2F_c}{W/3}, \frac{h}{3} \cdot \frac{F_a}{W/3} \right] \quad (1)$$

이때 $W = F_a + F_b + F_c$ = 몸무게이다. 식(1)에서 x, y는 각각 좌우 및 전후 방향의 COP 좌표이며 인체의 높이에 따라 COP 역시 동일할 것이므로 시간의 함수가 된다[x(t), y(t)]. 이 COP 신호의 변화를 계속, 분석하여 인체의 자세안정도를 평가할 수 있다. COP 좌표를 계산하기 위해서 필요한 힘 신호는 10Hz 저역필터링한 후 50Hz로 sampling하여 컴퓨터로 전송하였다. 이 시스템의 정밀도는 모든 측정 전에서 2% 미만이었다[7].

2. 자세안정도 지표

인체가 정적(static) 상태에서 특정 자세를 유지하고 있을 때 무게중심(center of gravity, COG)의 수직 투영점인 COP는 인체의 자세유지의 안정도에 따라 동요하게 된다. 이는 COP 좌표신호의 변화로 나타나는 바, 일정시간동안 COP 신호를 축적한 후 COP 신호로부터 자세균형의 안정도를 반영하는 지표를 계산할 수 있다. 본 연구의 목표가 자세안정도를 예민하게 반영하는 지표를 추출하고자 하는 것이므로 다음과 같이 다양한 지표들을 분류하여 설정하였다.

(1) Position deviation

일정 시간동안 수집된 COP 궤적이 평균점(중심점)으로부터 이탈되는 거리를 나타내는 지표군으로써 다음과 같이 9개의 지표를 설정하였다.

- Mean deviation : COP가 평균위치로부터 이탈한 평균거리(좌우방향 : MNDx, 전후방향 : MNDy, 평균집과의 이탈거리 : MNDr).
- RMS deviation : Mean deviation과 유사한 의미를 갖는 이따거리를 나타내되 평균거리 대신 root-mean-square 값으로 정의(RMSDx, RMSDy, RMSDr).
- Maximum deviation : COP 신호의 방향별 최대 이탈 거리(MAXDx, MAXDy, MAXDr).

(2) Position turns

자세균형이 유지되는 동안 COP 신호는 좌우 및 전후 방향으로 동요하므로 얼마나 자주, 그리고 얼마나 크게 동요하는지를 나타내는 지표.

- Number of turns/sec : COP가 1초 당 이동 방향을 바꾸는 횟수(NOTRnx, NOTRny).

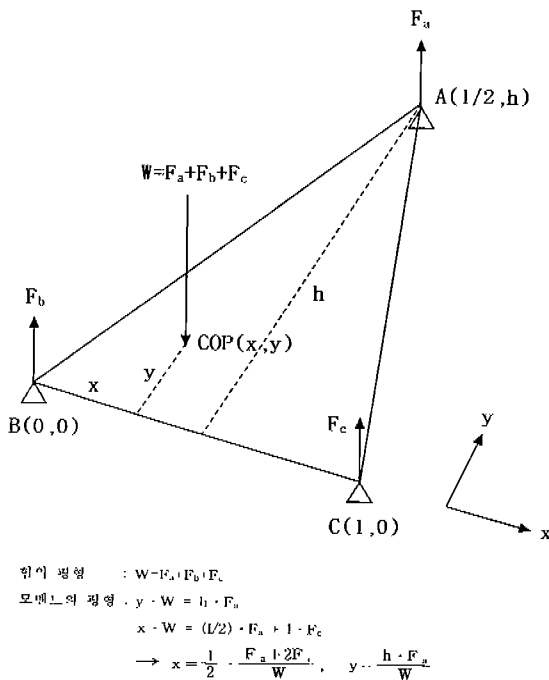


그림 1. 압력중심점(COP)의 계측원리
Fig. 1. Principle to measure COP on balance plate

• Mean turn-to-turn amplitude : COP가 1번 방향을 바꾼 후 다시 방향을 바꿀 때까지 이동한 거리의 평균치(MNATx, MNATy).

• Maximum turn to turn amplitude : turn-to-turn amplitude의 최대치(MAXAx, MAXAy).

Position turn에 관계되는 지표의 정의를 그림 2에 표시하였다.

(3) Velocity

- VAVG : COP가 움직이는 평균 속도.
- VMAX : COP의 최대속도.

(4) Trajectory area

• REQU: COP가 움직인 궤적이 차지하는 면적과 동일한 면적을 가지는 원의 반경.

3. 실험방법

인체의 자세안정도에 영향을 미치는 인자는 정상인의 경우 자세형태, 감각기관의 피로(특히 시각), 노화에 따른 기능저하(인팅) 등을 들 수 있다. 따라서 자세안정도가 확실하게 달라지는 다음의 4가지 자세를 선택하여 눈을 뜨거나(eyes open, EO) 감은(eyes closed, EC) 상태에서 실험을 수행하였다.

• Foot stable(FS) : 양발의 간격과 각도를 평상시 가장 편안한 상태로 서서 유지하는 자세.

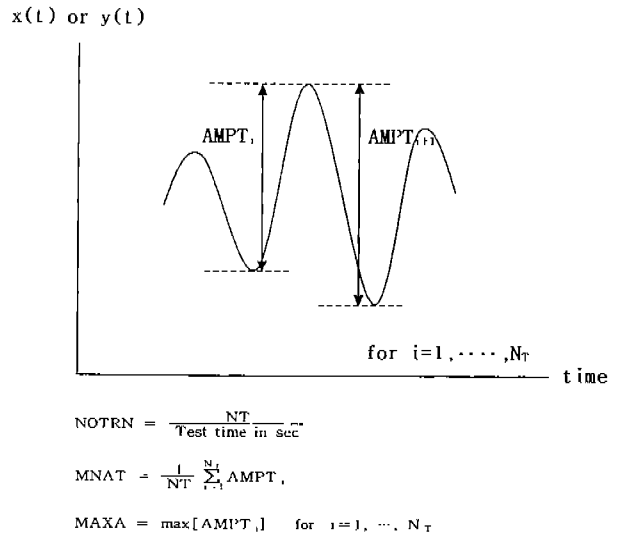


그림 2. Position turn에 관계되는 지표들의 정의.
Fig. 2. Definition of the parameters associated with position turns of COP

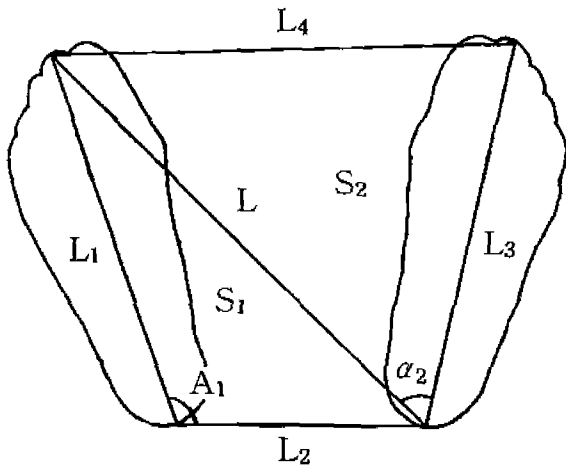
- Foot together(FT) : 양발의 앞뒤를 모두 모으고 서있는 자세.
- One leg only(RL, LL) : 오른쪽(RL) 혹은 왼쪽(LL) 다리 하나만으로 서있는 자세.

이때 나머지 발을 지면에서 올리되 자신이 자세를 안정하게 유지시키기 위하여 가장 편하게 하도록 하였다(통상 무릎을 살짝 굽혀 지면으로부터 약 5~10cm 정도 떨어진 상태).

위의 4가지 자세 각각에 대해 눈을 뜨거나 감게 하여 총 8가지 자세를 선정하였다(FS, FT, RL, LL) × (EO, EC) = 8(사제). 즉, 자세형태에 따라 FS → FT → RL 및 LL의 순으로 안정도가 떨어질 것이고, EO, EC에 따라 시각의 영향이 반영될 것이다.

자세의 형태에 따라 달라지는 안정도는 인체를 지지하는 지면의 크기에 가장 강하게 관련되므로 자세형태를 정량화하기 위하여 그림 3과 같이 신체가 지면을 차지하는 면적(S)을 λ 척도로 사용하였다. 인체가 FS 혹은 FT 자세를 취하고 있을 때 양발의 둘째 발가락 끝점과 뒤꿈치의 중앙 점을 연결한 직각형을 구성하고 그림 3과 같이 λ 면적(S)을 계산하여 자세별 안정도의 척도로 사용하였다. RL 및 LL 자세의 경우에는 한쪽 발만으로 서 있는 자세이므로 FT 자세에서 측정된 S의 반(50%)을 취하였다. S는 자세에 따라 연속적인 값을 갖는 변수가 되므로 실험결과의 분석이 용이하고 인체의 기능과 무관하게 자세형태 그 자체에 따른 안정도 변화인자를 정량적으로 정의해주는 이점이 있다.

연령에 따른 자세안정도의 변화폭 규명하기 위하여 20대, 30대, 40대, 50대의 연령 범위로 구분하여 각각 남·여 5명씩 총 40명의 정상인 피험자를 선정하였다. 연령의 평균치와 표준편차는: 약 25±1.7, 35±3.1, 43±2.6, 35±2.1 yrs로 신 범위에 걸쳐 고르게 분포하였다. 신장과 체중도 일부 영향이 있을 수 있으나 본 연구에서는 고려하지 않았고 다만 특별히 예외적



$$S = S_1 + S_2 = \frac{1}{2} \cdot [L_1 L_2 \sin A_1 + L L_3 \sin \alpha_2]$$

$$\text{where } L = \sqrt{L_1^2 + L_2^2 - 2L_1 L_2 \cos A_1}$$

그림 3. FS 자세에서 신체가 지면을 차지하는 면적(S)을 계산하는 모식도
 Fig. 3. Method to calculate the foot area(S) in foot-stable(FS) posture

인 신체구조를 가지는 피검자는 없었다. 정상인 피검자만을 선정한 것은 본 연구의 목적이 자세안정도를 잘 나타내는 지표를 설정하는 것이었기 때문이다.

피검자로 하여금 FS 자세를 취하게 하고 그림 3에 보인 방법에 따라 S를 측정하였다. 전방 2m 앞에 눈 높이에 설치한 반경 5cm의 흑색 원을 주시하며 30초간 서 있도록 하며 COP 신호를 수집하였다. 이어서 FT, RL 및 LL 자세에 대해서도 동일한 방법으로 순차적으로 COP를 계측하였다. 눈을 감은 상태에서 한쪽 발로 서있는 자세의 경우(RL_EC, LL_EC) 40명의 피검자 중 22명이(특히 40, 50대) 30초 동안 자세유지를 할 수 없었다. 따라서 자세를 유지하는 시간동안(10~20초)의 신호만을 사용하였다. 10초 이상 자세를 유지하지 못한 피검자(2명)는 그 자세에 있어서 지표계산의 대상에서 제외하였다. 전 피검자에 대해 앞서 설정한 자세안정도 지표들을 모두 계산한 후 통계분석을 실시하였다. 통계분석은 먼저 남·녀 간의 차이, 눈을 뜬 상태와 감은 상태의 차이를 지표별로 각각 unpaired 및 paired student's t-test로 비교하였다. 자세에 따른 지표의 변화는 S를 독립변수로 하는 선형회귀분석을 행하여 검토하였다. 연령에 따른 지표의 변화 역시 피검자별로 계산된 지표 값들에 대해 연령을 독립변수로 하는 선형회귀분석을 행하여 검토하였다.

결과 및 고찰

1. COP 계측의 정밀도

인체가 정적자세를 유지하고 있을 때 COP의 동요를 계측하

여 자세균형의 안정도를 평가하는 기법을 static posturography라 부르며 본 연구의 주요관심사이다. COP는 인체의 COG를 지면상에 수직 투영한 점으로써 직접적이고 정확한 측정이 가능하다.

본 연구팀에서 기 개발한 COP 계측시스템의 성능에 관해서는 이미 보고된 바 있다[7]. 평형판 상에 5cm 간격의 격자를 표시하고 임의의 격자점 상에 9.35kg의 원통형 추를 올려놓고 COP를 계산하여 격자점의 좌표 값과 비교한 결과 모든 점에서 2% 미만의 상대오차를 보였다. 또한 일정 시간동안 COP 신호를 수집한 후 신호의 변동을 관찰한 결과 거의 0에 가까웠다. 따라서 격자 점에서의 좌표 측정 오차는 추를 위치시킬 때의 오차와 COP 계측의 비선형성에 기인한다. 그러나 2% 미만의 작은 오차 값을 보였으므로 충분히 정밀한 측정이 이루어졌다고 판단하였다.

이 2%의 상대오차는 삼각형 모양의 평형판을 이용하여 COP를 계측할 때 평형판 구조의 비선형성, 오차 측정시 calibration용 추(9.35kg)를 정해진 위치에 손으로 올려놓을 때의 오차에 기인한다. 추의 직경이 약 10cm나 되는 점을 감안하면 2%의 오차는 예상외로 작은 수치이다(10cm×2%=2mm). 또한 평형판의 구조 때문에 COP계측에 일관성 있는 오차가 발생하였다 하더라도 그 크기가 적어도 2% 이내로 충분히 작고, 본 연구가 자세안정도를 인위적으로 교란시키며 안정도지표를 산출하여 비교하는 것이므로 오차의 방향과 크기 그 자체보다는 얼마나 안정적인 계측이 행해졌는가 하는 것이 관건일 것이다. 이는 평형판시스템의 힘 센서 출력 전압에 잡음이 얼마나 되는가 하는 것으로 평가할 수 있는바(SNR), 추를 올려놓고 일정시간동안 신호를 계측한 후 평균치와 표준편차를 계산하였다. 신호진압이 1[V]일 때 전압의 표준편차는 5[mV]미만이었으며 이는 0.5% 이내의 오차범위를 나타낸다. 이상의 논의를 종합해 볼 때 본 연구에서 사용한 COP 계측시스템[7]은 충분히 정확한 COP 좌표를 제공하였다고 판단된다.

2. 성별 및 시각의 영향

모든 지표에 있어서 성별(남·녀)의 차이는 없었다(P>0.1). 4가지 자세 모두에 있어서 눈을 뜬 경우와 감은 경우에는 항상 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 한 예로 RMSDr 지표의 경우 20대 피검자의 자세별 시각의 영향을 그림 4에 나타내었다. 눈을 감거나 뜬 경우 각각에 대해 자세가 불안해짐에 따라(FS →FT →RL 혹은 LL) RMSDr 값이 증가하였다(눈을 뜬 경우 RL 자세는 FS 자세의 약 23%). RL과 LL 자세의 경우 두 자세 모두 한쪽 발로 서있는 대등한 자세이므로 RMSDr의 평균치는 거의 비슷하였다(RL/LL=1.02, EO). 특정 자세에 있어서는 눈을 감은 경우 RMSDr 값은 눈을 뜬 경우에 비해 유의하게 증가하였다(P<0.05). 또한 자세가 불안해짐에 따라 시각의 영향은 점차 증가하였다(FS: 126%, FT: 138%, RL: 173%). 특히 양 눈을 감으면 40, 50대 피검자들은 대부분 30초를 유지할 수 없었다. 즉, 노화에 따라 근육계통의 자세유지 능력이 떨어지므로 시각 등 감각기관의 역할이 보완되어야 한다.

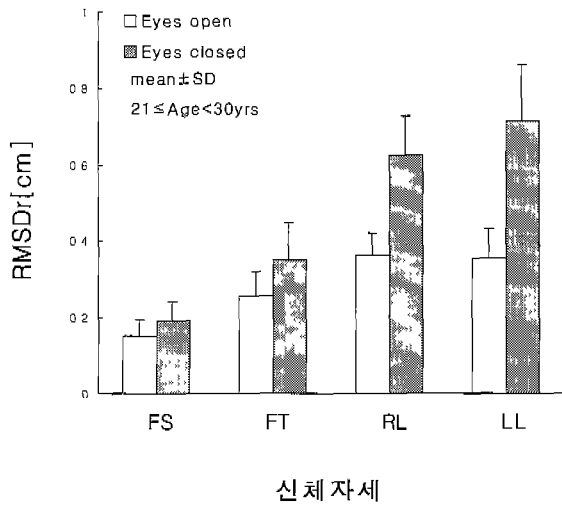


그림 4. 4가지 정적 자세유지시 RMSDr 지표의 신체자세별 시각의 영향 (20대 피검자)
Fig. 4. Effect of the vision on RMSDr in 4 static postures

다른 모든 지표 역시 유사한 결과를 나타내었다. 이는 기존에 알려진 바와 전반적으로 일치하고 있으며 따라서 본 실험의 타당성을 뒷받침한다. 그러나 시각의 영향이 크다 하더라도 지표 0간의 차이는 구분할 수 없었다.

3. 자세안정도 지표와 S 간의 상관관계

COP를 개측하여 자세안정도를 평가하는 방법은 정성적인 이학적 검사에 비해[8] 정량적일 뿐 아니라 환자 감별력이 훨씬 뛰어나다[7]. 그러나 COP 신호로부터 산출할 수 있는 자세안정도의 지표에는 여러가지 종류가 있으며 정적 자세 유지시 어떤 지표를 사용해야 할 것인가에 대해서는 정해진 바가 없기 때문에 다양한 지표들이 혼용되고 있다[5,6,7,9]. 본 연구에서는 피검자가 정적자세를 일정시간 유지하고 있을 때 어떤 지표가 자세안정도를 가장 잘 나타내는지를 규명하고자 하였다. 이를 위하여 자세안정도를 교란시키는 인자들인 자세의 형태, 시각, 그리고 연령을 변화시키며 안정도지표들의 변화양태를 관찰하였다. 교란 인자들의 교란 정도는 연령의 경우 연령 그 자체가 교란 정도를 의미하고 시각의 경우에는 눈을 뜨거나 감은 두 상태 밖에 없으므로 양쪽 눈의 개폐상태를 비교하였다. 그러나 자세의 형태는 여러 가지가 있을 수 있으며 이들의 자세안정 교란 정도를 정량화하기 위하여 그림 3과 같이 신체가 지면을 차지하는 면적(S)을 안정도 교란의 척도로 삼았다. 예를 들어 피검자가 한쪽 발로 서 있는 경우, 신체를 지지하는 발과 지면이 접촉하고 있는 면적 밖으로 COP가 이탈하면 자세균형을 잃고 쓰러질 것이다. 피검자가 양발을 벌리고 서 있다면 균형을 잃지 않기 위하여 COP가 위치해야 하는 면적은 양발과 그 사이공간이 된다. 이때 자세균형을 잃지 않고 COP가 위치할 수 있는 면적이 넓을수록 COP가 이탈할 가능성이 적어지고 따라서 보다 안정한 자세가 될 것이다. 즉, 신체가 차지하는 지

표 1. 자세안정도 지표들과 신체가 지면을 차지하는 면적(S) 간의 상관계수표
 자세구분이 S에 반영되므로 자세구분은 불필요하고 EO, EC는 각각 눈의 개폐상태를 나타낸다. 모든 상관계수가 통계적으로 유의하였다 (P<0.0001)

Table 1. Correlation coefficients between stability parameters and foot area(S). Posture has been reflected in S; EO and EC represent eyes open and closed, respectively. All correlation coefficient values were statistically significant(P<0.0001)

| | S | |
|--------|---------|---------|
| | EO | EC |
| MNDx | -0.7478 | -0.6850 |
| MNDy | -0.6364 | -0.7370 |
| MNDr | -0.7548 | -0.7828 |
| RMSDx | -0.7570 | -0.8514 |
| RMSDy | -0.6488 | -0.7441 |
| RMSDr | -0.6997 | -0.7867 |
| MAXDx | -0.7220 | -0.8441 |
| MAXDy | -0.6261 | -0.6972 |
| MAXDr | -0.6777 | -0.7382 |
| NOTRNx | -0.7930 | -0.7664 |
| NOTRny | -0.7251 | -0.5941 |
| MNATx | -0.7984 | -0.7998 |
| MNATy | -0.6493 | -0.6746 |
| MAXAx | -0.7409 | -0.8205 |
| MAXAy | -0.5838 | -0.6556 |
| VAVG | -0.8005 | -0.7308 |
| VMAX | -0.7688 | -0.6979 |
| REQU | -0.7985 | 0.8274 |

면의 면적은 자세안정도를 나타내는 정량식 척도로 볼 수 있다. 이 면적을 계산하려면 발의 모양과 면적을 측정해야 하는데 발의 면적을 직접 측정, 계산하는 것은 매우 번거로운 일이기 때문에 그림 3과 같이 S를 정의하였다. 양발로 서 있는 경우에는 양발 두 번째 발가락의 중심끝점과 뒤꿈치의 중심점으로 이루어지는 사각형의 면적을 S로 정의하였다. 한쪽 발만으로서 있는 자세인 경우에는(RL 및 LL 자세) 양발을 붙인 자세(FT)에서 측정한 S의 반(1/2)을 사용하였다.

S를 독립변수로 하고 지표 각각을 종속변수로 하는 선형회귀분석을 실시한 결과 모든 지표가 0.60~0.80의 유의 상관계수를 보였고(표 1 참조) 통계적으로 유의하였다(P<0.0001). 유의 상관관계는 지표의 값이 자세의 불안정도를 나타내므로 S가 커질수록 지표값이 작아짐을 의미한다. 즉, 본 논문에서 설정한 지표들은 모두 자세의 불안정도를 정량적으로 나타내며 자세형태에 따른 안정도의 척도인 S와 비교적 높은 상관관계를 가짐을 입증하였다. 한 예로 그림 5에 MNDr 지표와 S 간의 상관관계를 보였다. MNDr과 S 간에 대체적으로 선형관계가 있음을 확인할 수 있다. MAXDr과 RMSDr도 MNDr과 유사한 상관관계를 보였다. 다른 모든 지표들의 경우에도 유사한 결과를 보였으므로, 자세 형태 그 자체 대신에 S를 사용하여 자세안정도를 연속식으로 정량화할 수 있음을 알 수 있다. 모든 지표들

표 2. 연령과 통계적으로 유의한(P<0.05) 관계를 보이는 지표들의 상관계수표
 자세=(FS, FT, RL, LL) 및 눈의 개폐상태=(EO, EC)별로 구분함

Table 2. Correlation coefficients having statistical significance(P<0.05) between the stability parameter values and age
 Posture=(FS, FT, RL, LL), Eye condition=(EO, EC)

| | FS | | FT | | RL | | LL | |
|--------|--------|--------|----|--------|--------|----|--------|----|
| | EO | EC | EO | EC | EO | EC | EO | EC |
| MNDx | - | - | - | - | 0.3251 | - | 0.3273 | - |
| MNDy | 0.3916 | - | - | - | - | - | - | - |
| MNDr | 0.3502 | - | - | - | - | - | - | - |
| RMSDx | - | - | - | - | - | - | 0.358 | - |
| RMSDy | 0.4260 | - | - | - | - | - | - | - |
| RMSDr | 0.4330 | - | - | 0.3483 | - | - | - | - |
| MAXDx | - | - | - | - | - | - | - | - |
| MAXDy | 0.3636 | - | - | 0.3494 | - | - | - | - |
| MAXDr | 0.3378 | - | - | - | - | - | - | - |
| NOTRNx | - | - | - | - | - | - | - | - |
| NOTRny | - | - | - | - | - | - | - | - |
| MNATx | - | - | - | - | 0.4479 | - | - | - |
| MNATy | - | 0.3196 | - | - | - | - | - | - |
| MAXAx | - | - | - | - | - | - | 0.3212 | - |
| MAXAy | 0.3883 | 0.4357 | - | 0.3866 | - | - | - | - |
| VAVG | - | 0.3132 | - | - | - | - | - | - |
| VMAX | - | 0.3459 | - | - | - | - | - | - |
| REQU | 0.3175 | - | - | 0.3407 | 0.3997 | - | - | - |

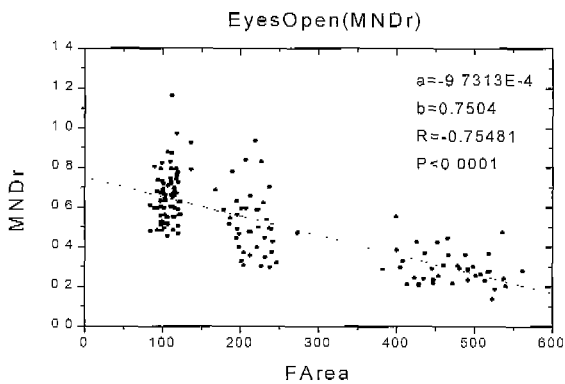


그림 5. MNDr과 S(FArea)간의 상관관계
 Fig. 5. Linear correlation between MNDr and the foot area, S

이 0.6~0.8 사이의 유의한 상관관계를 보인 것은 본 연구에서 설정한 지표들이 모두 적어도 자세 형태에 따른 안정도를 상당히 반영함을 입증한다고 볼 수 있다.

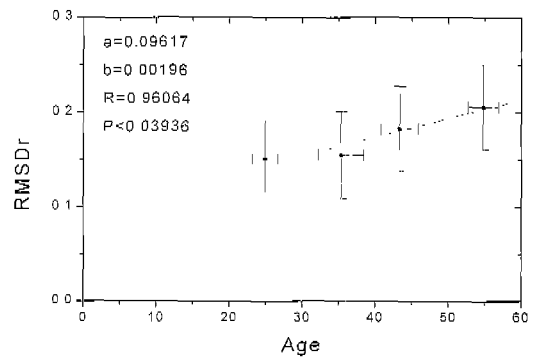


그림 6. RMSDr 지표의 평균치와 연령간의 상관관계
 원과 선은 각각 피검자 10명에 대한 평균치와 표준편차를 나타낸다. 직선은 선형회귀분석으로 계산한 결과이다
 Fig. 6. Correlation between averaged RMSDr and Age

The open circles and bars represent the means and SDs, respectively, over 10 subjects at each point. The line represents the linear regression line

4. 연령에 따른 자세안정도 지표의 변화

연령에 따른 자세안정도의 변화를 살펴보기 위하여 전 피검자에 대해 각 지표별로 연령과의 상관계수를 계산하였다. 자세 변로, 그리고 눈의 개폐 상태를 구분하여 계산한 결과 FS_EO 자세인 경우 18가지 지표 중 8개의 지표만이 통계적으로 유의한($P<0.05$) 상관관계를 보였으며 상관계수 역시 낮은 범위의 값(0.31~0.43)을 보였다. 눈을 감거나 자세가 불안해지는 경우에는 통계적으로 유의한 상관관계를 보이는 지표의 수가 3~4개에 불과하였다. FS_EO 자세는 피검자가 가장 편하게 유지할 수 있는 자세로서 가장 정상에 가까운 자세이다. 나머지 자세들은 인위적으로 S를 작게 하거나 시각의 영향이 큰 자세들으로써, 자세안정도에 큰 영향을 미치는 이들 인자들 때문에 상대적으로 영향이 작은 연령의 변화가 가려진 것으로 판단된다. 즉, 기본적으로 자세안정도 지표와 연령과는 매우 느슨한 상관관계를 보였으며 자세가 불안해짐에 따라 그 상관관계는 감소함을 알 수 있었다. 표 2에 연령과 통계적으로 유의한 상관관계를 보이는 지표들을 자세별로 구분하여 상관계수를 제시하였다.

FS_EO 자세에서 앞서 제시한 3가지 부류의 지표들 중 Position deviation에 관계되는 지표들만이 연령과 유의한 상관관계를 보였다. 이는 노화에 따라 COP의 이동면적이 커짐을 의미한다. 또한 표 2에 보인 것처럼 x 방향의 지표들은 통계적으로 유의성을 보이지 않았으며, 이는 FS 자세가 양발을 편안히 벌리고 서 있는 자세로써 연령이 증가하여도 그 안정도는 크게 변하지 않음을 반영한다. 반면 y 방향의 지표는 모두(MNDy, RMSDy, MAXDy) 연령에 따라 유의하게 변화하였으며 따라서 x, y방향을 모두 포함하는 r방향의 지표도 모두(MNDr, RMSDr, MAXDr, REQU) 유의하게 변화(증가)하였다. Position turn과 Velocity 관련 지표들은 MAXAy를 제외하고는 모두 통계적으로 유의성이 없었다. MAXAy는 COP가 방향을 바꾼 후 다시 바꿀 때까지의 y방향 거리 중 가장 큰 거리이므로 일면 Position deviation에 관계되는 지표이고, 따라서 y방향 Position deviation 지표들이 연령과 유의한 상관관계를 가진다는 실험결과를 뒷받침해 준다. 따라서 연령 변화에 따른 자세안정도의 변화를 반영할 수 있는 지표는 Position deviation 지표들이고 특히 진 후방향의 지표들이 예민함을 알 수 있다. 나머지 지표들은 자세형태 및 시각의 영향은 반영하지만 연령의 변화를 감지할 수는 없었으므로, 적어도 정적자세 유지시에는 Position deviation 지표들만을 계산해도 무방하였다.

연령에 따른 자세안정도의 변화가 미미하였으므로 이를 보다 의미있게 추구하기 위해 피검자의 연령구분을 20, 30, 40, 50대로 4분화하고 남·녀 구분 없이 연령과 지표들의 값의 평균치를 계산하였다. 또한 표 2에서 본 바와 같이 연령과 통계적으로 유의한 상관관계를 보이는 지표의 수가 가장 많은 FS_EO 자세에 대해서만 적용하였다. 20, 30, 40, 50대로 구성되는 4점의 평균데이터에 대해 선형회귀분석을 행하여 통계적 유의성을 가지는($P<0.05$) 지표와 연령 간의 관계식을 계산하였

다. 한 예로 그림 6에 RMSDr 지표와 연령 간의 관계를 제시하였다. 그 결과를 수리화하면 $RMSDr[cm] = 0.09617 + 0.00196 \cdot Age[yr]$ 가 되고 상관계수는 0.9606의 높은 값을 보였다($P<0.0001$). 즉, 피검자 간의 평균치를 취함으로써 측정오차가 상쇄되어 확실한 상관관계를 볼 수 있었고 RMSDr 지표의 경우 연령이 10살 증가함에 따라 약 0.2mm의 증가를 보였다. 그러나 이 값은 특정 연령에서의 표준편차가 대략 0.5mm임을 감안해 보면 상당히 작은 값이므로 "특정 피검자에 있어서의 측정값이 노화에 의한 것"이라는 등의 실질적인 의미가 있다고는 생각되지 않았다. 또한 20대와 30대 피검자 간에는 거의 차이가 없었으며 40대, 50대로 올라갈수록 선형적으로 증가하였다. 단지, 일부 자세안정도 지표와 연령 간에 유의한 상관관계가 있음을 입증할 수 있었다. 이는 노화에 따른 안정도의 변화가 단순히 연령에 비례해 변화한다기 보다는 어느 시점 이후에 안정도가 점차 감소해간다고 해석할 수 있다. 연령대 별 RMSDr의 표준편차가 약 0.5mm 이상인 점을 감안하면 연령에 따른 안정도의 변화는 정상치 범위만을 규정할 수 있을 뿐 예민한 지표가 될 수 없음을 알 수 있다. 즉, 노화와 자세안정도 지표, 특히 Position deviation 지표와의 유의한 상관관계는 확인하였으나 임상적 유용성은 의문시되었다.

5. 지표들 간의 관계

본 연구에서 정적자세 유지시 안정도를 나타내는 지표는 계량의학과 전문의와의 자문을 통하여 4가지 종류로 선정하였다. 이들은 1)Position deviation, 2)Position turn, 3)Velocity, 4)Trajectory area로써 1)항목이 COP의 동요정도를 나타내고 4)항목이 COP궤적의 면적을 나타내므로 동일한 분류에 해당한다. 따라서 1), 2), 3)의 세 가지 분류가 그 성격을 달리한다. Position deviation은 COP가 얼마나 멀리 동요하는가 하는 정도, Position turn은 얼마나 자주 COP가 방향을 바꾸는지, 그리고 velocity는 COP의 동요속도가 얼마나 빠르지를 나타낸다. 이들 모두 피검자가 자세를 얼마나 안정적으로 유지하는가 하는 것을 반영할 수 있는 바, 본 연구에서는 이들을 모두 산출한 후 특히 정적자세 유지시 가장 예민한 지표는 선정해 보고자 하였다. 그러나 성격을 달리하는 3가지 부류의 지표들 간에 있어서, 자세안정도에 영향을 미치는 인자들의 변화에 따른 지표 값들의 변화는 상호 분별할 수 없었다. 표 1과 2에 보인 상관계수표를 검토해 보면 지표들 간의 상관관계가 깊고 지표 분류와 관계되는 특이성을 찾을 수 없으며 단지 position deviation을 나타내는 지표들이 연령과 가장 큰 상관관계를 보였다. 지표들 간의 상관관계가 크고 또한 노화는 자세안정도를 저해하는 인자이므로 position deviation이 적어도 정적자세 유지시 가장 예민한 지표라 할 수 있다. 따라서 다양한 지표들을 무의미하게 분석하기보다는 position deviation 지표만을 사용하는 것이 임상적으로 유용할 것이다.

결 론

본 연구에서는 정적자세유지시 안정도를 교란시키는 인자들에 의해 자세안정도 지표가 어떻게 영향받는지를 실험적으로 분석하였다. 3가지 부류의 안정도지표들을 다양하게 설정하고 연령대 별로 정상인 피검자들을 고르게 선정하여 실험·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 자세안정도지표들은 성별에 따라 변하지 않았으며 시각의 영향은 크게 받았다. 또한 자세가 불안해질수록 시각의 영향은 상대적으로 크게 나타났다.

2. 자세형태에 따른 안정도를 정량화하기 위하여 자세안정도를 유지하기 위하여 COP가 위치할 수 있는 지면의 면적, 즉 신체가 지면을 차지하는 면적을 척도로 사용한 결과 안정도지표들과 유의한 상관관계를 보였다. 따라서 정적자세유지시 자세형태의 정량적인 안정도척도로서 일반적으로 활용할 수 있음을 입증하였다.

3. 연령(노화) 변화에 따른 안정도의 변화는 자세형태나 시각에 비해 안정도지표 중 COP의 동요면적에 직접 관계되는 지표들(position deviation)만이 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다. 이는 적어도 정적자세유지시 position deviation 지표들만을 사용해도 안정도 평가에 문제가 없음을 의미한다.

4. 자세안정도지표와 연령 간의 선형관계를 산출하여 정상 범위를 어느 정도 규정 할수는 있었으나 연령변화에 민감하고 개인별 차이가 상당히 크기 때문에 임상적 유용성은 의문시되었다.

위에 제시한 4가지 결론에 더하여, 다른 인사들과는 유의한 상관관계가 있었으나 연령과는 상관관계가 없는 position turn 과 velocity 관련 지표들은 그 기능적 의미가 아직 명확치 않으므로 향후 보다 심층적인 연구가 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. T. Brandt, Vertigo, London, Springer-Verlag, pp. 99-102, 1991
2. S. P. Cass, J. M. Kartush and M. D. Graham, "Clinical assessment of postural stability following vestibular nerve section", Laryngoscope, Vol.101, pp.1056-1059, 1991
3. D. T. Wade, Measurements in neurological rehabilitation, Oxford, Oxford Medical Publications, pp.166-167, 1992
4. M. K. Holden, K. M. Gill, and M. R. Magliozzi, "Clinical gait assessment in the neurologically impaired", Phys. Ther., Vol.6, pp.1530-1539, 1984
5. S. Hocherman, R. Dickstein, and T. Pillar, "Platform training and postural stability in hemiplegia", Arch. Phys. Med. Rehabil., Vol.65, pp.588-592, 1984
6. 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
7. 자은종, 송춘희, 이태수, 이경무, 김남균, 김연희, "임상응용을 위한 평형판(balance plate) 시스템의 개발", 대한재활의학회지, 제 19권, 제 4호, pp.773-781, 1995
8. R. W. Bohanon, "Correlation of lower limb strengths and other variables with standing performance in stroke patients", Physiotherapy Canada, Vol.41, pp.198-202, 1989
9. 김연희, 김남균, 자은종, 김형익, 신용일, 이경무, "힘판을 이용한 자세균형제어력 의 정량적 평가와 임상균형지수와 의 비교연구", 대한재활의학회지, 제 19권, 제 4 호, pp. 782-792, 1995