

## 노인여성의 정적직립자세에서 지면반력 주파수 분석

이경순

동주대학교 물리치료과

### Analysis of Frequency domain Characteristics of Ground Reaction Forces during Quiet Standing of Elderly Women

Kyung-Soon Lee

*Dept. of physical therapy, Dongju College University*

#### ABSTRACT

**Background** : The purpose of this study was to investigate the frequency domain characteristics of ground reaction forces during quiet standing on inclined surfaces twenty healthy individuals(10 elderly women  $68.78\pm 3.29$  years and 10 young women  $20.90\pm 0.74$  years) participated.

**Methods** : Subjects stood in quiet stance over a force platform positioned in one of three different fixed positions: flat, down and up. Healthy participants completed with eyes open for 120 s trials. Evaluation of postural control were generally based on the interpretation of center of pressure(COP) time series. The COP have been determined using an experimental setup with 3D kinematic and the ground reaction force system. All the data were expressed means and standard deviation by using SAS package program.

**Results** : SEF 50% were not significant in AP and ML direction according to surface slope of both groups. SEF 95% were showed highest frequency in AP direction on down slope of both groups. MEF were not significant all direction according to surface slopes of elderly women. There was no difference between young and elderly women.

**Conclusion** : Elderly women used to ankle strategy during a quiet stance according to COP perturbation of AP direction showed more expanded than ML direction. SEF 95% were showed highest frequency on down slope in elderly women who showed more used ankle strategy for postural control on down slope.

**Key words** : GRF, COP, frequency, Slope

## I. 서론

경사면에서 직립자세를 유지할 때도 COG는 기저면 내에 있어야 하며 중력에 의해 발바닥에 가해지는 힘은 지면경사에 따라 비대칭성 힘이 작용하고 이것은 주로 감각정보의 영향을 받기 때문 감각기능 문제는 경사면 균형유지를 어렵게 만든다(Latash, 2002). 또한 지면경사 방향에 따라 자세제어전략은 고유수용감각과 생체역학적 변화에 따라 속도를 조절하는 균형제어 메커니즘을 가진다(Mezzarane & Kohn, 2007). 고령화에 따른 감각기능과 감각정보의 문제는 반응전략 선택에 혼란을 일으켜 경사면에서 직립자세 유지나 낙상과 같은 운동제어 문제를 일으킨다(Horak & Hlavacka, 2001; Jacobs & Horak, 2007). 자세제어(postural control)는 운동(motor)과 감각(sensory)을 포함하는 균형(balance)을 전제로 하며, 운동과정은 분리된 자세반응(postural response)에서 체간과 하지근육의 활동을 협응시키고, 감각과정은 고유수용감각(proprioceptive sensory) 및 피부와 관절감각을 포함한 체성감각(somatosensory), 시각(visual), 전정계(vestibular system)로 입력된 구심성 정보를 통합하여 조직화하는 과정이다(Shumway-Cook & Woollacott, 2001).

정적직립자세(quiet standing posture)는 서 있는 위치와 환경에서 정적상태를 유지하기 위해 자세제어를 수행하는 과정이며 이때 기저면 내에서 신체동요가 일어나며 직립자세에 영향을 미치는 요소로는 신체정렬, 근 긴장과 중력에 대항하는 자세긴장 등이 있다(Winter, 1995). 또한 직립자세는 내적제어 없이는 고유한 불안정을 가지므로 자세제어를 위해 관절토크(joint torque)를 발생시켜 자세제어체계(posture control system)에 의해 통제된다(Qu et al., 2007).

최근 정적직립자세에서 자세동요의 정량적 평가는 힘판(force platform)을 이용한 COP 데이터를 시간영역과 주파수영역으로 구분하여 COP 이동범위, 표준편차, 평균속도, 면적, 주파수 등을 중심으로 연구가 이루어지고 있다(Hof, 2007; Lin et al., 2008). 일반적으로 개인의 지면반력 패턴은 일정하지만 지면반력 크기는 일관성에 문제가 되므로 지면반력 크기보다 주파수

분석이 더 민감한 분석으로 상호비교를 위해서는 적합한 것으로 알려졌다(박영훈 등, 2008; Wearing et al., 2003).

COP에 대한 분석은 균형능력을 평가하는 중요한 변수로 임상적 예측에 유용하게 사용된다(Doyle et al., 2007; Lin et al., 2008). 현재 균형능력에 대한 분석으로 지면반력에 대한 패턴은 연구가 많이 이루어지고 있지만 경사에 따른 정적균형에 대한 지면반력 신호의 주파수 영역 특성에 대한 연구는 활발히 이루어지지 않고 있다.

정적직립자세에서 정량적 균형평가는 환자들의 신체기능검사와 치료계획에 중요한 정보로 활용할 수 있다(Lin et al., 2008). 그러므로 평지와 경사면에서 자세제어에 대한 다양한 연구가 이루어져 고령자들과 중추신경계환자들의 기능훈련 시 기준을 제시할 필요성이 강조된다.

이에 본 연구는 여성고령자들의 정적직립자세에서 지면경사에 따라 자세제어에 관한 역학적 분석을 실시하여 임상적 유용성을 구명하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

D복지관 프로그램에 다니는 65세 이상 75세 이하 여성고령자 10명과 20대여자 대학생 10명을 대상으로 하였다. 여성고령자는 임상적 범위 내에서 관절고유수용기에 영향을 미치는 발목관절, 무릎관절, 엉덩관절에 인공관절 경험이 없는 자, 낙상 과거력이 없고 노인성어지럼(vertigo in the elderly)으로 약물을 복용하지 않는 고령자로 피험자 선별검사에 만족하는 자로 하였다. 각 피험자에게 연구취지를 설명하고 실험참가 동의서를 받았으며 이들의 신체적 특성은 다음과 같다(표 1).

### 2. 실험 방법

이 연구에서 사용된 실험장비는 GRF analysis S/W

(KwonGRF 2.0, Visol : Korea), force platform(OR6-7 (508×464×83mm, AMTI : USA), force platform amplifie (AMTI MSA-6MiniAmp, AMTI : USA)이다. 설정한 지면경사는 평지(flat, 0°), 내리막(down, -12°), 오르막(up,+12°)로 오차를 최소화하기위해 전문가에게 의뢰하여 제작했다. 경사판(100×200 cm) 위에 힘판(AMTI OR6-7, Watertown, MA, US) 가로, 세로 508×464 mm 을 철제앵글을 제작하여 고정시켰으며, 피험자가 경사로 위에 서있는 동안 바닥과 경사 지지대가 움직이

지 않게 제작하여 실험환경에 대한 불안감을 최소화할 수 있도록 고안하였다.

대상자는 힘판 위에서 양발 사이는 피험자 발길이 50%를 기준으로 하여 양발에 체중을 균등하게 유지하도록 하였다. 평지, 내리막, 오르막, 순서로 시작에서 종료시점까지 120초 데이터취득을 위해 130초 동안 진행하였으며(Poulain & Giraudet, 2008) 지면경사에 따른 휴식시간은 5분으로 하여 피로감을 최소화시켰다.

표 1. 실험대상자 신체적 특성

그룹	노인(n=10)	20대(n=10)	t-value
나이(year)	68.78±3.29	20.90±0.74	32.911***
키(cm)	154.27±6.04	162.10±4.61	-2.638*
몸무게(kg)	56.39±5.83	50.90±5.99	1.761
ASIS(cm)	27.83±2.55	27.83±2.42	.000
발길이(cm)	22.61±1.02	23.22±1.11	-1.023
발등굽힘각도(°)	15.56±5.60	21.88±4.67	-2.606*
발바닥굽힘각도(°)	36.22±6.45	53.22±9.40	-4.471***
K-MMSE(score)	27.60±0.52	30.00±0.00	-14.697***

\* p<.05, \*\* p<.01, \*\*\* p<.001

K-MMSE : Korea-mini mental state examination

### 3. 자료 처리

KwonGRF프로그램(비술, 경기도)을 이용하여 경사에 따른 압력중심점 좌표 COPx, COPy를 산출한 후 엑셀파일로 저장하였다. 힘판에 올라가 실험자세를 취하는 동안 불필요한 데이터를 제외하고 필터링에 의한 데이터 왜곡을 최소화하기 위하여 전체 130초 데이터를 마지막 1초에서 역으로 120초까지 트림(trim)한 120초 데이터 28,800개(=240 Hz×120 s)를 대상으로 분석하였다.

범용 수치해석 프로그램 complexity 2.7(Laxtha, 대전광역시)을 이용하여 데이터필터링과 주파수분석을 하였다. 필터는 차단주파수 8 Hz(Freitas et al., 2005) FFT(Fast Fourier transformatation) 저역통과 필터를 사용하여 데이터를 필터링하였다. 노이즈를 제거한 시계열(time domain) 데이터를 FFT Power Spectrum으로

주파수계열(frequency domain) 데이터로 변환시켰다(박영훈 등, 2008).

이 연구는 SAS 통계패키지를 이용하여 데이터를 분석하였으며 지면경사에 따른 고령자와 20대여성의 주파수 분석은 독립표본 t-검정, 분산분석(ANOVA)과 다변량분산분석(MANOVA)을 하였다. 사후검정은 Tukey로 모든 값의 통계적 유의수준은  $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

## Ⅲ. 연구결과

### 1. 좌우와 전후의 주파수 변화

정적직립자세에서 COP이동의 다른 형태를 나타내는 주파수분석(power spectrum analysis)에서 전체 활동 주파수의 중간주파수(median frequency)에 해당하는

SEF 50%와 95%, MEF를 산출하였다.

(표 2)에서 여성고령자 SEF 50% 주파수는 방향과 지면경사에 따라 유의한 차이가 나타나지 않았다.

SEF 95% 주파수는 전후에서(F=3.077,  $d > f$ ,  $p < .05$ ) 내리막이 평지보다 유의하게 높은 주파수를 나타냈다. 좌우와 전후 방향의 주파수 비교에서 내리막에서 전후 주파수가 좌우 주파수보다 유의하게 높게 나타났다( $p < .01$ ).

MEF는 좌우와 전후 방향과 지면경사에 따른 유의한 차이가 없었다. (표 3)에서 20대여성의 SEF 50% 주파수는 방향과 지면경사에 따라 유의한 차이가 나타나지 않았다. SEF 95% 주파수는 전후 방향에서 내리막이 평지보다 유의하게 높은 주파수를 나타냈다(F=4.193,

$d > f$ ,  $p < .05$ ).

MEF 전후 주파수는 평지가 오르막보다 유의하게 높은 주파수를 나타냈다(F=4.469,  $f > u$ ,  $p < .05$ ).

좌우와 전후 방향 비교에서 오르막에서는 좌우가 전후보다 유의하게 높은 주파수를 나타냈다( $p < .05$ ).

## 2. 여성고령자와 20대 여성의 주파수 비교

(표 4)에서 여성고령자와 20대여성의 종속변수 지면경사에 따라 차이가 있는지 알아보기 위한 다변량분석 Wilks의 람다에서  $p > .05$  것은 종속변수의 평균(벡터)이 차이가 없다는 것을 의미한다.

SEF 50%, 95% 주파수와 MEF 주파수에서 고령자와

표 2. 노인여성들의 주파수 분석

(n=10)

변수		평지(f)	내리막(d)	오르막(u)	F	Tukey
SEF 50%	좌우	0.08±0.08	0.17±0.17	0.14±0.79	1,249	ns
	전후	0.12±0.66	0.18±0.14	0.11±0.07	1,547	ns
	t-value	-1,099	-.205	1,017		
SEF 95%	좌우	0.71±0.33	0.65±0.29	0.68±0.25	.108	ns
	전후	0.81±0.37	1.16±0.24	0.91±0.29	3,077*	$d > f$
	t-value	-.603	-4.044**	-1,819		
MEF	좌우	3.28±1.19	3.68±2.41	3.03±0.95	.365	ns
	전후	3.66±1.19	3.95±1.24	4.35±2.26	.401	ns
	t-value	-.675	-.294	-1,619		

\*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$

SEF: spectral edge frequency, MEF : mean edge frequency

표 3. 20대 여성들의 주파수 분석

(n=10)

변수		평지(f)	내리막(d)	오르막(u)	F	Tukey
SEF 50%	좌우	0.14±0.21	0.13±0.17	0.10±0.04	.163	ns
	전후	0.07±0.05	0.14±0.11	0.06±0.05	2,903	$d > u$
	t-value	.943	-.191	1,866		
SEF 95%	좌우	0.78±0.35	0.80±0.24	0.83±0.30	.086	ns
	전후	0.69±0.17	1.05±0.35	0.86±0.24	4,193*	$d > f$
	t-value	.712	-1,778	-.191		
MEF	좌우	4.27±0.91	5.03±1.87	4.02±1.09	1,517	ns
	전후	5.34±2.48	3.87±1.24	3.05±0.71	4,469*	$f > u$
	t-value	-1,225	1,619	2,260*		

\*  $p < .05$

표 4. 노인과 20대 여성들의 주파수 비교

변수	노인	20대	F	Wilks's lambda				
				value	F	p		
SEF 50%	좌우	평지	0.08±0.08	0.14±0.21	.527	.807	1,119	.375
		내리막	0.17±0.17	0.13±0.17	.284			
		오르막	0.14±0.79	0.10±0.04	2.445			
	전후	평지	0.12±0.66	0.07±0.05	3.402	.707	1,938	.170
		내리막	0.18±0.14	0.14±0.1	.557			
		오르막	0.11±0.07	0.06±0.05	3.325			
SEF 95%	좌우	평지	0.71±0.33	0.78±0.35	.176	.894	.555	.653
		내리막	0.65±0.29	0.80±0.24	1.396			
		오르막	0.68±0.25	0.83±0.30	1.451			
	전후	평지	0.81±0.37	0.69±0.17	.842	.927	.365	.779
		내리막	1.16±0.24	1.05±0.35	.572			
		오르막	0.91±0.29	0.86±0.24	.161			
MEF	좌우	평지	3.28±1.19	4.27±0.91	3.905	.739	1,646	.224
		내리막	3.68±2.41	5.03±1.87	1.897			
		오르막	3.03±0.95	4.02±1.09	4.287			
	전후	평지	3.66±1.19	5.34±2.48	3.376	.626	2,793	.079
		내리막	3.95±1.24	3.87±1.24	.016			
		오르막	4.35±2.26	3.05±0.71	2.725			

20대는 평지, 내리막과 오르막에서 모두 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

#### IV. 논 의

정적직립시 자세동요와 자세제어에 관한 정량적 분석을 위해 지면반력 시스템을 이용하여 주파수영역으로 분석하였다. 주파수영역은 SEF 50%, SEF 95%, MEF (Chiari et al., 2002)로 분석하였다.

Kim et al.(2008)의 연구에서 고령자는 COP 이동범위 확장에 따른 확산비율이 빠르고, 국소동요를 억압하기 위해 경직전략(stiffening strategy)을 사용하여 근육활성을 증가시키고 힘의 안정성을 감소시키는 비효율적인 전략을 사용한다. 지면경사에 따라 고령자들의 COP 동요의 유의한 차이가 없는 것은 고령자의 압력중심점 동요의 일시적 감소와 자세안정성과 관계는 단순한 것이 아니기 때문 단정하기는 어렵다. 하지만 고령자는 낙상에 대한 두려움으로 20대에 비해 기저면 안정성한계 내에서 경직전략을 사용할 것이라 사료된다. 기저면 안정성한계 내에서 COP 동요를 평가할 때는 동요의 크기뿐만 아니라 더 많은 것을 포함시켜야 한다.

지면경사에 따라 Mezzarane & Kohn(2007)은 피험자들이 자발적인 특별한 노력을 하지 말고 자연스러운 직립자세를 유지해야한다고 강조하였다. 왜냐하면 정적직립에서 자세제어는 기저면 한계범위 근처에서 생체역학적 자세유지를 위해 근방추나 골지건기관, 관절수용기(joint receptors)가 중요한 역할을 하기 때문이다(Amiridis et al., 2003).

Blasczyk(2008)의 보고에 의하면 COP 전후방향의 좌우방향보다 동요가 심하며, 고령자는 COP 변수들이 시각유무에 영향을 많이 받지 않는다고 보고하였다. Raymakers et al.(2005)의 연구에서 압력중심점 전후방향 이동범위는 나이에 영향을 미치지 않지만, 좌우방향 이동범위는 낙상위험의 가장 좋은 하나의 예견자로 미세한 움직임에도 주의를 해야 한다.

시간함수에서 지면반력변수는 종종 노이즈 등으로 인한 잘못된 해석으로 분명한 효과를 검증하는데 오류를 범할 수 있으며, 시간함수에서 잠재적 변화가 분명하지 않을 때 주파수분석은 유용하며 더 민감한 분석기법이다(류지선, 2006; 박영훈 등, 2008; Wearing et al., 2003).

Winter(1995)는 성인의 정적직립시 Fz의 SEF 95% 주파수는 2 Hz 미만이라 보고 했으며, 박영훈 등(2008)의

연구에서 SEF 95% 주파수에서 3 Hz 이하로 나타났다. Chiari et al.(2002)의 50% 주파수 0.39 Hz, 95% 주파수 1.37 Hz로 본 연구에서 SEF 50%와 95% 주파수 모두 선행연구보다 낮은 주파수를 보였다.

Mezzarane & Kohn(2007)의 연구에 의하면 0.3 Hz에서 지면경사와 시각 유무에 따른 유의한 차이가 나타나지 않으며, 이 주파수 이동범위에 신경학적 피드백체계(neural feedback loops)에 최적의 효율성이 존재한다.

본 연구에서 고령자와 20대 여성 모두 SEF 50%에서는 0.3 Hz 이하 주파수로 지면경사에 따른 유의한 차이가 없었으며, 95% 주파수영역에서는 고령자와 20대 모두 내리막경사에서 주파수가 유의하게 높게 나타났다. 좌우방향과 전후방향 주파수 비교에서 고령자는 95% 주파수영역 내리막경사에서 전후방향 주파수가 유의하게 높았다. 고령자들은 내리막경사에서 자세제어를 위한 발목전락을 많이 사용함을 알 수 있다. 그러므로 노인들의 균형 훈련시 발목 강화운동이 추가 되어야 할 것이다.

정적직립자세에서 균형과 자세제어는 역학적 평가만으로는 제한점이 있으며, 노화에 따른 근골격계변화, 근방추와 골지건 메커니즘 속성, 고유감각 정밀도 등 신경생리학적 접근을 통해 인간의 움직임에 관한 다양하고 정밀한 분석기법이 이루어져야 할 것이다.

## V. 결론

정적 직립자세에서 여성노인들의 지면반력 주파수 분석에서 다음과 같은 결론을 도출하였다. 주파수분석에서 SEF 95% 주파수영역에서 고령자와 20대 모두 내리막경사에서 전후방향 주파수가 유의하게 높게 나타나 내리막 경사에서 자세제어시 발목전락을 많이 사용하는 것으로 나타났다.

## 참고문헌

류지선. 노인 보행 시 지면 반력 신호의 주파수 크기와 Variability 비교. 한국체육학회지 2006;45(5):457-464.

박영훈, 염창홍, 서국웅, 서국은. 지면반력을 이용한 수직점프 높이 추정 분석. 한국체육학회지 2008;47(3): 537-545.

Amiridis, I. G., Hatzitaki, V., & Arabatzi, F. Age-induced modification of static postural control in humans. *Neuroscience Letters* 2003;350:137-140.

Blaszczyk, J. W. Sway ratio-a new measure for quantifying postural stability. *Neurobiologiae Experimentalis* 2008;68:51-57.

Chiari, L., Rocchi, L., & Cappello, A. Stabiometric parameters are affected by anthropometry and foot placement. *Clinical Biomechanics* 2002;17:666-677.

Doyle, R. J., Hsiao-Weckler, E. T., Ragan, B. G., & Rosengren, K. S. Generalizability of center of pressure measures of quiet standing. *Gait & Posture* 2007;25:166-171.

Freitas, S. M.S.F., Wieczorek, S. A., Marchetti, P. H., & Duarte, M. M. Age-related changes in human postural control of prolonged standing. *Gait & Posture* 2005;22:322-330.

Hof, A. L. The equation of motion for a standing human reveal three mechanisms for balance. *Journal of Biomechanics* 2007;40:451-457.

Jacobs, J. V., & Horak, F. B. External postural perturbations induce multiple anticipatory postural adjustments when subjects cannot pre-select their stepping foot. *Exp Brain Research* 2007;179(1):29-42.

Kim, S. W., Nussbaum, M. A., & Madigan, M. L. Direct parameterization of postural stability during quiet upright stance : Effect of age and altered sensory condition. *Journal of Biomechanics* 2008;41:406-411.

Latash, M. L. Neurophysiological basis of movement. IL : KCC Inc. 2002.

Lin, D., Seol, H., Nussbaum, M. A., & Madigan, M. L. Reliability of COP-based postural sway measures and age-related differences. *Gait & Posture* 2008;28:337-342.

Mezzarane, R. N., & Kohn, A. F. Control of upright

- stance over inclined surfaces. *Experimental Brain Research* 2007;180:377-388.
- Poulain, I., & Giraudet, G. Age-related change of visual contribution in posture control. *Gait & Posture* 2008;27:1-7.
- Qu, X., Nussbaum, M. A., & Madigan, M. L. A balance control model of quiet upright stance based on an optimal control strategy. *Journal of biomechanics* 2007;40:3590-3597.
- Raymakers, J. A., Samson, M. M., & Verhaar, H. J. J. The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s). *Gait & Posture* 2005;21:48-58.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. *Motor control: Translating research into clinical practices*. 3rd ed. Philadelphia, Lippincott: Williams & Wilkins Inc. 2001.
- Wearing, S. C., Smeathers, J. E., & Urry, S. R. Frequency-domain analysis detects previously unidentified changes in ground reaction force with visually guided foot placement. *Journal of Applied Biomechanics* 2003;19:71-78.
- Winter, D. A. Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture* 1995;3(4): 193-214.

논문접수일(Date Received) : 2012년 3월 10일  
논문수정일(Date Revised) : 2012년 3월 20일  
논문게제승인일(Date Accepted) : 2012년 3월 30일