

연령과 이중과제 수행이 자세제어에 미치는 영향

신성훈¹ · 장대근² · 장재근¹ · 박승훈¹

¹경희대학교 전자정보대학 생체의공학과, ²한국과학기술원 전기및전자공학과

The Effect of Age and Dual Task to Human Postural Control

Sunghoon Shin¹ · Dae-Geun Jang² · Jae-Keun Jang¹ · Seung-Hun Park¹

¹Department of Biomedical Engineering, College of Electronics and Information, Kyung Hee University, Yongin, Korea

²Department of Electrical Engineering, KAIST, Daejeon, Korea

Received 30 April 2013; Received in revised form 17 June 2013; Accepted 20 June 2013

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the effect of aging and dual tasking to the postural control during quiet standing. It was hypothesized that the center of pressure (COP) dynamics would be differently affected by aging and characteristics of the task. Total 60 adults (35 young adults and 25 older adults) participated in this study. They conducted two different standing tasks (dual vs. Non-dual) twice in a random order. Variability, complexity, coupling and symmetric index from the left, right and overall COPs were measured by various parameters in nonlinear, linear and frequency analyses methods. Results demonstrated that older adults had worse performance in postural control with decreased complexity in overall sway movement, and increased coupling between left and right limb COP movement, even though there was no significant difference in symmetric index. These tendencies are generally clearer in nonlinear measures at the dual task condition. Results implied that older adults had compensatory strategy in dual tasking which results in simple and combined postural movement patterns.

Keywords: Postural control, Aging, Dual task, Complexity, COP

I. 서 론

인간의 자세제어(postural control)는 여러 감각 (시각, 전정, 체성 감각)신경과 근육활동이 동시에 작용하는 복합적인 기전이며(Horak & Macpherson, 1996), 자세 제어의 주된 연구방법 중 하나는 지면반력기를 통해 인체의 압력 중심(center of pressure [COP])의 변화를 측정하는 것이다 (Stergiou & Decker, 2011; Winter, 2005). 측정된 압력중심은 지면에 작용하는 수직힘의 결과로 생기는 인체질량

중심의 작용점으로, 자세균형에 대한 인체시스템의 근신경적 반응을 나타낸다(Winter, 2005). 지면반력기를 통해 측정된 압력중심에 대한 전통적인 분석법으로 전후와 좌우 각각의 방향에서 압력중심의 변위, 속도, 면적 (95% ellipse area) 등의 가변성(variability)을 측정하는 방법이 주로 사용되어 왔으나, 최근의 연구에서는 이러한 선형적인(linear) 측정방법과 더불어, 노화나 질병 등의 진행 상태와 밀접한 관련이 있는 것으로 여겨지는 생체신호의 파동(fluctuation)속에 내포된 인체제어시스템(human control system)의 고유한 정보 특성들 (즉, 복잡성[complexity] 혹은 자기유사성[fractal] 등)을 비선형적 동역학 분석법(nonlinear dynamic analysis)을 통해 분석하고 있다 (Lipsitz & Goldberger, 1992; Goldberger et al, 2002; Harbourne & Stergiou, 2009).

압력중심의 생체신호로서의 특성은 연령, 질병, 부상, 정신상태, 과제 특성 등 다양한 원인들에 의하여 변화될 수

본 논문은 중소기업청 미래선도과제사업의 지원에 의한 논문임. [WSN과 연계한 M2M 기반의 실버케어 Vitality Index 시스템개발]
Corresponding Author: Sunghoon Shin
Department of Biomedical Engineering, College of Electronics and Information, Kyung Hee University, 1 Seochun-dong, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea
Tel : +82-10-8940-2406
E-mail: gangmule@gmail.com

있음이 알려져 있다(Stergiou & Decker, 2011). 특히 연령에 따른 자세제어의 변화는 자세제어 연구의 주된 주제가 되어왔는데, 선행연구들은 고령자의 직업자세에서 저하된 균형감각은 증가된 좌우방향의 가변성 (Piirtola & Era, 2006)과 낮아진 복잡성을 나타내고(Manor et al, 2010), 직업자세에서의 좌우 방향 동요(sway)가 노인들의 실내에서의 낙상위험에 중요한 요인들 중 하나임을 밝혔으며, 좌우 하중/비하중(load/unload)현상에 의한 좌우 수직힘의 비대칭성(asymmetry)은 노인들의 자세제어능력 저하를 진단하는 척도가 될 수 있음을 보고하였다(Maki, Whitelaw, & McIlroy, 1993). 이러한 비대칭성은 노인들의 시각차단시보다 명확하였다(Blaszczyk, Prince, Raiche, & Hbert, 2000).

한편, 자세제어연구에서 실제 생활과 비슷한 상황을 재현하기위한 고민은 연구자들에게 이중과제 패러다임에 관심을 기울이게 하였다(Damos, 1991). 최근의 연구는 ‘중추자원들의 경쟁으로 인한 수행력의 변화에 대한 아이디어’인 이중과제 수행이 인간의 자세제어(postural control)에 중요한 변수중 하나임을 밝히고 있다(Prado, Stoffregen, & Duarte, 2007). 예를 들면, Lacour, Bernard-Demanze와 Dumitrescu (2008)은 청년과 노인 그룹 모두에게서 이중과제 수행 시 가변성이 커지는 것을 발견하였고, 특히 노년자의 경우 전후좌우 자세변화에서 청년자보다 더 많은 동요를 보여주었다고 보고하였다. 또한 Huxhold, Li, Schmiedek와 Lindenberger (2006)은 청년과 노인 모두에게서 이중과제의 종류에 따라 낮은 수준의 인지적 과제에서는 공통되게 동요가 줄어드는 긍정적 효과를 보이지만, 높은 수준의 인지적 과제에서는 노인에게서만 압력중심의 움직임변위가 증가하는 부정적 효과를 나타냄을 주장하였다.

하지만 몇몇 선행연구에도 불구하고, 이중과제 수행 시 연령에 따른 자세제어전략의 차이는 아직도 명확하지 않다. 우선, 노인의 낙상과 관련되어 가장 중요시 여겨지는 좌우 불균형성에 대한 연구에서 단지 좌우 수직힘의 차이만 고려되었기 때문에, 실제 압력중심에서 좌우 움직임의 패턴에 어떠한 차이가 있는지는 밝혀지지 않았다. 다시 말해서, 노인의 자세제어에서의 저하된 수행력이 단순히 좌우 수직힘의 불균형한 분포에서 기인한 것인지 아니면, 두 연령 그룹에서 전혀 다른 움직임 패턴에 의한 것인지가 아직도 명확하지 않다. 또한 일상의 생활이 끊임없는 상황에 대한 인식의 과정으로 여겨지기 때문에 중추자원들이 경쟁하는 상황의 재현을 아이디어로 하는 이중과제 패러다임은, 실생활에서와 비슷한 자세제어기전을 보다 명확히 이해하는데 중요한 단초를 제공할 수 있다. 이중과제 수행 시, 좌우 압력중심이 어떻게 결합하고 있으며, 전체 압력중심 움직임과 어떠한 상관관계를 가지는지에 대한 해답은 낙상의 위험도와 관련하여 연령에 따른 정적자세제어

전략이 어떻게 달라지는지에 대한 명확한 이해를 가능케 할 것으로 기대된다.

따라서 본 연구는 노인그룹과 청년그룹간의 이중과제 시 인체신호의 가변성, 복잡성, 결합성(coupling), 대칭성 지수(symmetry index [SI]) 등의 자세제어 주요 변인을 비교함으로써 노화와 이중과제수행에 따른 노인들의 자세제어 전략이 젊은 성인들과 어떠한 차이점을 가지는지를 다각적으로 규명하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 연령과 과제특성에 따라 나이든 성인집단과 젊은 성인집단 간의 압력중심의 가변성, 복잡성, 결합성, 대칭성에는 차이가 있을 것이라는 연구가설을 설정하였다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자

본 연구는 최근 6개월간 신체적 정신적 질환이 없는 성인 60명(젊은 성인그룹 35명[남:12명, 여:23명]과 노인그룹 25명[남:10명, 여:15명])을 대상으로 실시하였다. 피험자들의 신체적 특성은 다음과 같다. 두 그룹 간에 나이를 제외하키와 몸무게에서 통계적인 차이가 없었다($p>0.05$).

Table 1. Subject demographics

	Age (yr)	Height (cm)	Weight (Kg)
Young adults	22.85*	166.34	67.48
Older adults	72.00	165.36	73.44

Note. Values are mean±SD. * indicates significant difference ($p<0.05$)

2. 실험장비

본 연구에서는 두 대의 지면반력기(AMTI, Watertown, MA, US), 증폭기(MSA-6, Watertown, MA, US)와 1대의 PC(Dell, Round Rock, Texas, US)가 데이터수집에 각각 사용되었다.

3. 실험절차

피험자들은 30초간 2회에 걸쳐서 정적직립 자세를 유지하였다. 보폭은 어깨 넓이 정도의 편안하고도 자연스런 자세를 취하게 하였고, 좌우 하지가 각각의 지면반력기를 디디고 서게 하였다. 과제수행 중 시선은 전방 2m에 눈높이의 고정된 목표점을 응시하게 하였고, 단일과제 중에는 피험자는 자연스런 직업자세로 30초를 두 번 서있게 하였다. 이중과제 시에는 피험자로 하여금 첫 번째 시행에서는 100부터 3씩 건너뛰어서 숫자를 세게 하고, 두 번째 시행에서

는 7씩 건너뛰어서 숫자를 세게 하는 수정된 스트룹(stroop) 검사를 실시하였다(Kang & Lipsitz, 2010). 스트룹 검사는 이중과제수행에서 가장 보편적으로 사용되는 방법으로서, 두 과제사이의 간섭정도를 평가할 때 쓰인다. 검사 중에 피험자는 자동적인 반응과 불명확한 상황을 억제시키고 전두엽의 선택적인 주의집중을 유도한다 (Kapoula, Matheron, Demule, Fauvel, & Bucci, 2011). 일반적인 정적자세제어가 자동화된 제어기전을 주로 사용하는데 반해서 Stroop test는 노인들에게 이중과제 시 단순과제와 구별된 주의집중 유도함으로서 이중과제 수행에 적절한 검사방법으로 시도되었다.

직립 자세 시 개인 간 좌우 발 정렬 차이로부터의 편차를 줄이기 위해서 압력중심을 Y축에 수평되게 회전시키는 방법을 사용하였다 (Myklebust et al., 2009).

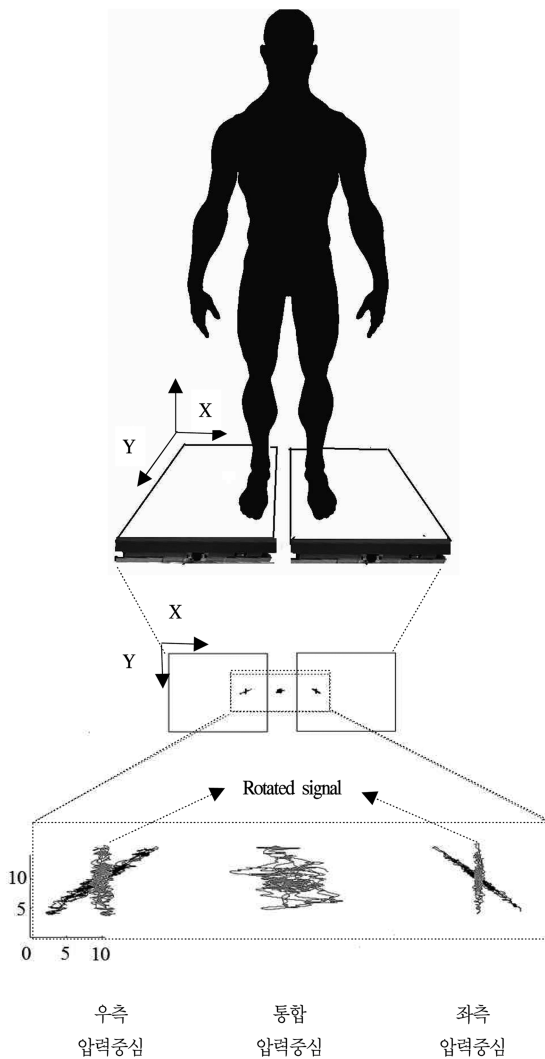


Figure 1. Diagram of experiment

4. 자료분석

좌우 각각의 지면반력기를 이용하여 수직(Fz), 전후(Fy), 좌우(Fx) 3방향의 힘과 토크값을 측정하였고, 샘플링 주파수는 100 Hz로 설정하였으며, 얻어진 힘과 토크값으로부터 좌우 각각의 압력중심과 통합압력중심을 산출하였다 (Lafond, Corriveau, & Prince, 2004). 피험자의 발디딤 시 양발 정렬의 차이에서 오는 압력중심의 편차를 줄이기 위해서 좌우 각각의 압력중심을 회전시켜 Y축에 정렬시키는 방법을 사용하였다 (Myklebust et al., 2009). 먼저, 피험자의 통합 압력중심을 이용하여 가변성변인과 복잡성변인, 좌우측 압력중심을 이용하여 결합성 변인, 일관성 (coherence) 변인을 측정하였으며, 피험자의 좌우측 Fz값을 이용하여 대칭성지수를 측정하였다. 측정된 압력중심의 샘플링주파수(sampling frequency)는 100 Hz로 설정하였고, 가변성 변인은 버터워스 저역통과필터(Butterworth low-pass filter)방법으로 10 Hz에서 필터링하였다. 하지만 복잡성변인과 결합성변인 XApEn에서는 계산과정에서 필터요소(r)가 쓰여지기 때문에 원자료의 고유특성을 유지하는 차원에서 별도의 필터링을 시도하지 않았다(Pincus, 1991). 결합성변인은 무게중심의 안정화의 개인차에서 오는 측정 오차를 줄이기 위하여 각 trial에서 총 30초간의 데이터의 전후 5초간을 잘라낸 20초간 2,000 데이터 점을 분석에 사용하였다. 각 과제는 2회 실시 후 평균값을 사용하였다. 각 변수에 대한 정의는 다음과 같다.

통합압력중심의 가변성 변인인 평균속도(Mean velocity [MV]), 제곱평균(Root mean Square [RMS]), 그리고 95%신뢰타원면적(95% ellipse area [EA])은 다음과 같이 산출되었다.

$$MV = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} |r_{cop_T(i)}|$$

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} |r_{cop_T(i)}|^2}$$

이때 r은 압력중심의 궤적

$$EA = 2\pi F_{.0.5[2, n-2]} \sqrt{s_{AP}^2 s_{ML}^2 - s_{APML}^2}$$

이때 $F_{.0.5[2, n-2]}$ 는 n개의 데이터 수를 갖는 95% 신뢰수준 이변량분포의 F 통계량으로 n이 120보다 클 경우, F는 3이고, s_{AP} 와 s_{ML} 은 각각 AP와 ML방향의 표준편차를 의미한다(Prieto, Myklebust, Hoffmann, Lovett, & Myklebust, 1996).

좌우 압력중심의 일관성변인인 magnitude squared coherence (MSC) 값은 다음과 같이 산출되었다(Myklebust et

al., 2009).

$$MSC(f) = \frac{|P_{xy}(f)|^2}{P_{xx}(f)P_{yy}(f)}$$

MSC값이 1에 가까울수록 일관성이 크다는 것을 의미한다.

통합 압력중심의 복잡성을 나타내는 Approximate entropy (ApEn) 값은 다음과 같이 산출되었다(Pincus, 1991).

먼저, $u_i = (u_i, u_{i+1}, \dots, u_{i+m-1}), i=1,2,\dots,N-m+1$

이때, m은 매립차원, N은 측정된 압력중심의 총 data 점이 된다.

이때 벡터들 사이의 거리는,

$$d[(u_i, u_j)] = \max(|u(i+k-1)-u(j+k-1)|),$$

이때, $C_i^m(r)$ 는 $d[(u_i, u_j)] \leq r$ 을 만족하는 u_j 의 개수를 (N-m+1)로 나눈 값이 되고,

$$\Phi^m(r) = \frac{1}{N-m+1} \sum_{j=1}^{N-m+1} \ln C_j^m(r)$$

Approximate entropy는 다음과 같이 정의된다.

$$ApEn(m, r, N) = \Phi^m(r) - \Phi^{m+1}(r)$$

N, r, m은 각각 총 data 개수, 비교되는 벡터의 길이, 매립차원을 나타낸다. 선행연구에서 m은 2, r은 표준편차

(SD)의 20%로 설정되었다 (Pincus, 1991). ApEn 값이 0 부터 2에 가까울수록 복잡성이 크다는 것을 의미한다.

유사한 방법으로 자세제어의 좌우 결합성을 나타내는 좌우 압력중심의 Cross-Approximate entropy (XApEn) 값은 다음과 같이 산출되었다.

$$XApEn(m, r, N)(x \| y) = \Phi^m(r)(x \| y) - (\Phi^{m+1}(r)(x \| y))$$

이때 $\Phi^m(r)(x \| y)$ 는 $\ln(C_i^m(x \| y))$ 의 평균이고, $C_i^m(x \| y)$ 는 대칭된 크기의 x와 y 성분의 C_i^m , N은 총 data 개수, 비교되는 벡터의 길이, 매립차원을 나타낸다. 선행연구로부터 m은 1, r은 SD값의 20%로 설정되었다 (Pincus et al., 1996). XApEn값이 0에 가까울수록 결합성이 크다는 것을 의미한다.

Cross-Correlation coefficient 값은 다음과 같이 산출되었다(Kreuzer et al, 2010).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

대칭성지수는 피험자의 좌우측 수직힘(Fz)으로 계산하였고, 다음의 공식으로부터 산출되었다(Anker et al., 2008).

$$SI = ((2*(Fz_{high} - Fz_{low})) / (Fz_{high} + Fz_{low})) * 10$$

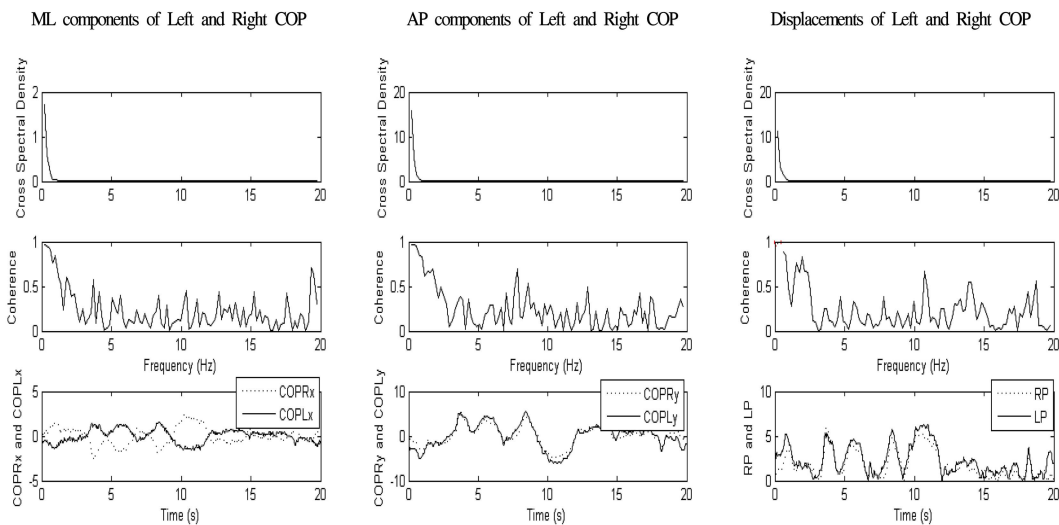


Figure 2. Cross spectrum density, Magnitude squared coherence(MSC) and COPx(ML direction) and COPy(AP direction) from each force plate. For example, COPRx; Right COP x component(ML direction sway)

이때 Fz_{high} 는 최대 수직힘, Fz_{low} 는 최소 수직힘을 의미하며, SI값 0은 좌우의 완전한 대칭을 의미한다.

5. 자료처리

독립변인은 나이와 과제특성, 종속변인은 가변성 변인에 평균속도 MV, RMS, EA, 복잡성변인은 ApEn, 결합성 변인은 XApEn, correlation coefficient, MSC, 좌우 대칭성은 대칭성지수로 수치화하였다. 모든 변인의 계산은 Matlab (R2012a)으로 코딩하여 산출하였으며(Figure 2), 통계적 분석은 이원 반복측정 분산분석(two way repeated measured ANOVA with one between factor [Group], and one within factor [Task])으로 평균차이를, 변인들 간의 상관관계는 Spearman 상관분석으로 .05의 유의수준에서 검증하였다. 모든 통계처리는 SPSS 20을 사용하였다.

III. 결 과

좌우 두 개의 지면반력기로부터 구해진 좌우 각각의 압력중심과 통합 압력중심으로부터 산출된 가변성 변인, 복잡성변인, 결합성변인, 대칭지수, 변인간의 상관관계에 대한 분석결과는 다음과 같다.

1. 가변성변인

가변성변인에 대한 분석결과는 <Table 2>와 같다. 압력 중심의 전후 방향 MV, 좌우 방향 MV, 통합 MV, 전후 방향 RMS, 좌우 방향 RMS, 통합 RMS, 95% EA에서 그룹 간에 주 효과가 있었다($p < 0.05$). 노인그룹은 MV, RMS, 95% EA에서 과제에 대한 주 효과가 나타나지 않았고, 집단과 과제와의 상호작용 효과도 나타나지 않았다($p > 0.05$).

2. 복잡성변인

복잡성변인에 대한 결과는 <Table 3>과 같다. 전후 방향 ApEn와 통합 ApEn에는 각각 집단과 과제에 주 효과가 없었으나($p > 0.05$), 좌우 방향 ApEn에서 주 효과가 나타났다($p < 0.05$). 상호작용 효과는 규칙성변인에서도 나타나지 않았다($p > 0.05$).

3. 결합성변인

결합성변인에 대한 결과는 <Table 4>와 같다. 좌우 방향 XApEn, 전후 방향 상관계수, 통합 상관계수, 좌우 방향 MSC, 통합 MSC에서 집단의 주 효과가 나타났다($p < 0.05$),

Table 2. Variability parameters

		Young adults	Older adults	F-value	
MV (AP)	Nodual	6.61±1.17	8.68±2.51	G	19.35*
	Dual	6.24±1.04	8.37±3.04	T	2.67
				G×T	0.02
MV (ML)	Nodual	5.30±0.80	7.10±1.85	G	20.46*
	Dual	4.94±1.10	7.14±3.30	T	0.59
				G	0.88
MV (Disp)	Nodual	9.43±1.42	12.51±1.88	G	26.46*
	Dual	8.85±1.52	12.31±4.51	T	1.70
				G×T	0.38
RMS (AP)	Nodual	1.89±0.42	3.03±0.78	G	52.54*
	Dual	1.83±0.56	3.12±1.17	T	0.02
				G×T	0.55
RMS (ML)	Nodual	1.15±0.43	1.59±0.60	G	15.79*
	Dual	0.97±0.40	1.53±0.77	T	2.81
				G×T	0.60
RMS (Disp)	Nodual	2.24±0.51	3.48±0.88	G	49.02*
	Dual	2.11±0.60	3.51±1.33	T	0.20
				G×T	0.48
95%EA	Nodual	13.99±7.41	30.45±16.86	G	22.79*
	Dual	11.05±6.72	35.14±36.64	T	0.11
				G×T	2.06

Note. MV: mean velocity, RMS: root mean square, 95%EA: 95% ellipse area, AP; anetrio-posterior direction, ML: mediolateral direcitoin, Disp: displacement, G: Group, T: Task. * indicates significant difference ($p < 0.05$).

Table 3. Complexity parameters

		Young adults	Older adults	F-value	
ApEn (AP)	Nodual	0.13±0.04	0.13±0.05	G	0.18
	Dual	0.13±0.04	0.03±0.04	T	2.24
				G×T	0.07
ApEn (ML)	Nodual	0.33±0.10	0.23±0.09	G	22.24*
	Dual	0.37±0.11	0.24±0.09	T	3.90*
				G×T	2.00
ApEn (Disp)	Nodual	0.25±0.06	0.23±0.07	G	1.97
	Dual	0.26±0.08	0.24±0.06	T	0.40
				G×T	0.03

Note. ApEn: approximate entropy, AP; anetrio-posterior direction, ML: mediolateral direcitoin, Disp: displacement, G: Group, T: Task. * indicates significant difference($p < 0.05$).

Table 4. Coupling parameters

		Young adults	Older adults	F-value	
XApEn (AP)	nodual	0.20±0.05	0.19±0.05	G	1.40
	dual	0.20±0.06	0.18±0.05	T	0.10
				G×T	0.43
XApEn (ML)	nodual	1.16±0.23	0.88±0.30	G	28.56*
	dual	1.26±0.16	0.96±0.26	T	7.50*
				G×T	0.11
XApEn (Disp)	nodual	0.34±0.09	0.32±0.09	G	2.26
	dual	0.35±0.10	0.31±0.09	T	<0.01
				G×T	0.40
Correlation-coefficient (AP)	nodual	0.66±0.19	0.77±0.19	G	9.19*
	dual	0.75±0.22	0.87±0.06	T	9.55*
				G×T	0.00
Correlation coefficient (ML)	nodual	0.02±0.15	0.03±0.27	G	0.01
	dual	0.08±0.14	0.07±0.21	T	3.90*
				G×T	0.19
Correlation-coefficient (Disp)	nodual	0.46±0.19	0.65±0.15	G	14.39*
	dual	0.62±0.19	0.73±0.13	T	18.44*
				G×T	1.61
MSC (AP)	nodual	0.67±0.06	0.68±0.08	G	0.13
	dual	0.67±0.07	0.67±0.08	T	0.29
				G×T	0.04
MSC (ML)	nodual	0.85±0.06	0.94±0.03	G	37.67*
	dual	0.88±0.08	0.95±0.03	T	7.74*
				G×T	1.21
MSC (Disp)	nodual	0.73±0.07	0.85±0.06	G	49.34*
	dual	0.80±0.08	0.88±0.06	T	23.61*
				G×T	4.00*

Note. ApEn: approximate entropy, XApEn: Cross- approximate entropy, AP, MSC; Magnitude squared coherence, AP: anetrio-posterior direction, ML: mediolateral directoin, Disp: displacement, G: Group, T: Task. * indicates significant difference ($p<.05$).

좌후 방향 XApEen, 전후 방향 상관계수, 좌우 방향 상관 계수, 통합 상관계수, 좌후 방향 MSC, 통합 MSC에 과제 에 주 효과가 나타났으며($p<.05$), 통합 MSC에서 상호작용 효과가 나타났다($p<.05$).

4. 대칭성 지수

대칭성 지수에 대한 결과는 <Table 5>와 같다.

대칭성지수에 대한 집단 및 과제에 대한 주 효과와 집단과 과제에 대한 상호작용 효과는 나타나지 않았다 ($p>.05$).

Table 5. Weight symmetry index

		Young adults	Older adults	F-value	
SI	nodual	10.58±8.50	17.03±11.49	G	3.45
	dual	12.18±9.75	16.26±18.04	T	0.09
				G×T	0.77

Note. * indicates significant difference ($p<.05$), G: Group, T: Task ($p<.05$).

5. 변인들 간의 상관관계

변인들 간의 Spearman 상관분석 결과는 <Table 6>과 같다. 가변성 변인들과 복잡성 변인들 간에는 주로 약부터 강한 수준까지 역상관 관계(-0.30 ~ -0.87, $p<.05$)가 있었고, 가변성변인과 결합성변인 중 MSC에서 약중간 수준의 상관관계(0.25~0.46, $p<.05$)를 보였다. 복잡성 변인과 결합성변인과의 관계에서 ApEn변인들과 XApEn 변인들 간에 주로 약부터 강한 수준의 상관관계(0.32~0.92, $p<.05$)를 나타내었다.

IV. 논 의

본 연구는 60명의 성인들을 대상으로 노화와 이중과업 수행여부가 자세제어에 어떠한 영향을 미치는 지를 밝히는데 목적이 있었다. 이를 위하여 2개의 지면반력기로부터 측정된 좌우 각각의 압력중심과 통합압력중심으로부터 가 변성변인, 복잡성변인, 결합성변인, 대칭성지수를 산출하였다.

두 그룹 간 가변성변인에서 과제에서의 주 효과와, 그룹과 과제간의 상호작용 효과는 나타나지 않았으나, 노인의 자세제어움직임은 복잡성 변인인 ApEn과 결합성변인인 XApEn, Correlation coefficient, MSC 모두에서 청년들보다 낮은 값을 가지고, 단순하면서도 보다 높은 좌우 결합성을 나타냈다. 이러한 결과는 Bernard-Demanze, Dumitrescu, Jimeno, Borel과 Lacour (2009)이 노인과 청년에게서 이중과제 수행 시 가변성변인보다 비선형적 방법의 일종인 stabilogram-diffusion 분석법이 이중과제의 종류별 (cognitive test vs. mental-arithmetic vs. spatial-memory task)로 더 민감하게 두 그룹 간의 차이를 구별해냈다고 보고한 내용과 비슷한 의미의 시사점을 준다. 이는 비선형적 방법과 MSC에서 적용된 Frequency domain 분석법이 이중과제 수행과 관련된 연구에서 보다 효과적인 방법일 수 있음을 드러낸다.

흥미롭게도, 본 연구에서 노인들의 좌우 체중분포의 비대칭성이 두드러지지 않았음에도 불구하고, 복잡성변인 중 좌우 방향 ApEn값에서 노인이 청년보다 더 낮은 수치를 보였다는 것은 두 계층 간의 자세제어 전략에서의 차이가

Table 6. Spearman Correlation between parameters

Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1.SI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.MV_AP	.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.MV_ML	.26	.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.MV_disp	.21	.90	.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.RMS_AP	.18	.59	.55	.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.RMS_ML	.19	.53	.58	.59	.54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.RMS_disp	.21	.65	.59	.69	.94	.77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.EA	.22	.63	.62	.68	.85	.89	.97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9.ApEn_AP	.17	.26	.30	.31	-.36	.03	-.25	-.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10.ApEn_ML	-.15	-.38	-.31	-.37	-.53	-.87	-.74	-.81	.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.ApEn_disp	-.03	.08	.08	.11	-.36	-.06	-.30	-.24	.48	.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.XApEn_AP	.06	.16	.15	.19	-.50	-.12	-.42	-.33	.92	.22	.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13.XApEn_ML	-.17	-.43	-.39	-.46	-.47	-.61	-.59	-.62	-.07	.65	.03	.14	-	-	-	-	-	-	-	-
14.XApEn_disp	.07	.06	.09	.10	-.55	-.22	-.49	-.42	.85	.32	.49	.94	.21	-	-	-	-	-	-	-
15.Corrcoef_AP	.10	.02	.04	.06	.39	-.14	.23	.13	-.36	.09	-.26	-.26	.17	-.25	-	-	-	-	-	-
16.Corrcoef_ML	.15	.10	.03	.09	-.01	.21	.08	.10	.07	-.22	.22	.06	.05	.01	-.06	-	-	-	-	-
17.Corrcoef_disp	.18	.13	.18	.18	.52	.07	.39	.32	-.35	-.10	-.24	-.32	-.03	-.39	.85	.00	-	-	-	-
18.MSC_AP	.40	.25	.41	.41	.42	.10	.35	.28	.19	-.13	.03	.12	-.26	.08	.50	-.11	.53	-	-	-
19.MSC_ML	-.10	-.03	-.05	-.06	-.10	.11	-.03	.00	.09	-.10	.11	.10	-.09	.04	.02	.18	.07	.13	-	-
20.MSC_disp	.49	.27	.34	.36	.54	.16	.46	.39	-.06	-.21	-.21	-.13	-.23	-.17	.60	-.01	.68	.80	.10	-

Note. Bold and shaded Spearman's rho(ρ) indicate statistical significance. ($p < .05$). SI: symmetry index, MV: mean velocity, RMS: root mean square, EA: 95% ellipse area, ApEn: approximate entropy, XApEn: Cross- approximate entropy, MSC; Magnitude squared coherence, AP; antero-posterior direction, ML: mediolateral direction, Disp: displacement,

단순히 체중분포의 차이에 기인하지 않는다는 사실을 보여준다. 이중과제에 반응하는 두 그룹간의 자세제어전략의 차이로서 노인층이 압력중심의 움직임에서 보다 보수적이고 단순한 특성을 보인다고 할 수 있다(Newell, 1998). 특히 ApEn변인들과 XApEn변인들 간의 높은 상관관계는 노인들의 자세전략에서 노인들의 단순성이 높은 결합성과 내용적으로 연결되어 있음을 의미한다.

두 지면반력기를 이용한 각각의 좌·우 압력중심신호를 분석하는 방법은 인체자세제어전략의 좌·우 움직임 특징을 보다 정확히 알아 볼 수 있다는 점에서 종종 사용되어지고 있다(Myklebust et al., 2009; Marigold & Eng, 2006). 좌·우방향의 XApEn에서 노인의 값이 더 낮게 나타난 것으로 보아, 그들의 자세제어가 청년들에 비해서 좌·우방향 움직임에서 더 많이 결합되어 있는 특성을 가진다는 것을 의미한다. 이는 인체의 신경생리학적측면에서 노인의 자세제어움직임이 연령에 따른 생체신호의 단순화 특성을 가짐과 동시에 낙상과 관련하여서는 좌·우 협응 구조에서 일관성 있는 움직임을 가짐으로써 외부자극에 느리게 반응하는 한계를 극복하는 효과적인 자세 전략을 취하고 있다고 이해되어 진다(Piirtola & Era, 2006). 반대로

, 젊은이의 보다 복잡한 압력중심변화 양상은 충분하고 다양한 움직임 전략을 사용하는 적극적이고 활동적인 자세 제어전략의 특성을 보여준다(Newell, 1998). 동시에 본 연구에서의 증가된 좌우 결합성은 이중과업으로부터의 노인의 대응이 전통적인 역진자 모델(Winter, 2005)로 이해되는 자세조절 메커니즘으로는 설명할 수 없는 좌·우 압력중심변화를 특징으로 함을 명확히 보여준다. 역진자 모델에서는 직립자세의 주요움직임이 전·후 방향에서만 이루어지는 것을 가정하고 있으나, 본 연구결과는 청년과 노인들의 움직임에서 좌·우 가변성, 복잡성, 결합성에서 보다 명확한 차이를 보여주고 있다. 따라서 노인들은 이중과제 수행 시 전·후 움직임을 주도하는 발목전략(ankle strategy) 보다는 좌우 움직임에서 상대적 제약이 덜한 고관절 전략(hip strategy)과 관련된 제어체계를 갖는 듯하다(Horak, Shupert, & Mirka, 1989). 본 연구에서 노인들의 압력중심에서의 낮아진 XApEn의 값으로 나타나는 증가된 결합성 특성은 주파수 영역 분석법인 MSC 수치에서도 보여지는데 좌·우 방향에서의 높아진 압력중심의 MSC값은 노인들의 자세제어에서 좌·우의 높아진 결합성 특성을 지지한다.

본 연구는 다음과 같은 제한점을 갖는다. 1) 피험자의 좌우 보간에 대한 기준을 미리 제시하지 않았다. 비록 분석 과정에서 선행연구에서 제시한 일반화 방법을 사용했지만, 이 부분에 대한 통제는 결과에 영향을 미칠 수 있을 것이다. 2) 피험자의 교육수준이나 지적발달수준이 이중과제 수행에 직간접적으로 영향을 미칠 수 있고 청년그룹의 교육과 지적발달수준이 더 높을 것으로 예상되나 이에 대한 영향은 고려되지 않았다. 3) 본 연구는 피험자의 외부 외력이 작용하지 않는 정적자세제어에 한정되었다. 보행상황에서의 동적자세제어나 외력의 영향을 고려한 후속 연구들이 다양한 상황에서의 자세제어의 이해를 위해 추가로 이루어져야 할 것이다.

V. 결 론

연령과 이중과업에 따른 노인의 자세제어는 인체자세조절의 체중분포 차이에서 오는 가변성의 변화보다는 압력 중심신호의 움직임 단순화, 높아진 좌우 결합성(XApEn), 혹은 일관성(MSC) 등을 더 두드러진 특징으로 하는 보수적 전략을 사용한다.

이중과업에 대한 노인층의 변화는 보다 수동적이고 제한적인 움직임 패턴을 나타낸 반면 젊은 층은 적극적이고 다양한 움직임전략을 가진 보다 복잡한 자세제어전략을 나타낸다.

이중과업으로부터의 양 연령 그룹에서 드러나는 압력 중심의 좌우 협응 체계의 차이는 인체의 자세제어가 역진자 모델로 이해되는 전통적인 자세조절 기제로는 설명하기 어려운 한계가 있음을 명확히 보여준다.

본 연구는 노화와 관련된 기능저하가 자세제어연구와 낙상위험과 관련된 측정변인들 간의 관계성을 이해함으로써 추후 운동이나 재활을 통한 자세제어기능 향상도를 평가하거나 낙상방지를 위한 운동재활 프로그램을 설계하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

참고문헌

- Anker, L. C., Weerdesteyn, V., van Nes, I. J., Nienhuis, B., Straatman, H., & Geurts, A. C. (2008). The relation between postural stability and weight distribution in healthy subjects. *Gait & posture*, 27(3), 471-477.
- Blaszczyk, J. W., Prince, F., Raiche, M., & Hbert, R. (2000). Effect of ageing and vision on limb load asymmetry during quiet stance. *Journal of Biomechanics*, 33(10), 1243-1248.
- Bernard-Demanze, L., Dumitrescu, M., Jimeno, P., Borel, L., & Lacour, M. (2009). Age-related changes in posture control are differentially affected by postural and cognitive task complexity. *Current aging science*, 2(2), 139.
- Damos, D. L. (1991). *Multiple Task Performance*: Taylor & Francis.
- Goldberger, A. L., Amaral, L. A. N., Hausdorff, J. M., Ivanov, P. C., Peng, C.-K., & Stanley, H. E. (2002). *Fractal dynamics in physiology: Alterations with disease and aging*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 99(Suppl 1), 2466-2472.
- Harbourne, R. T., & Stergiou, N. (2009). Movement Variability and the Use of Nonlinear Tools: Principles to Guide Physical Therapist Practice. *Physical Therapy*, 89(3), 267-282.
- Horak, F. B., & Macpherson, J. M. (1996). Postural orientation and equilibrium. *Comprehensive Physiology*.
- Horak, F. B., Shupert, C. L., & Mirka, A. (1989). Components of postural dyscontrol in the elderly: A review. *Neurobiology of Aging*, 10(6), 727-738.
- Huxhold, O., Li, S.-C., Schmiedek, F., & Lindenberger, U. (2006). Dual-tasking postural control: aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain research bulletin*, 69(3), 294-305.
- Kang, H. G., & Lipsitz, L. A. (2010). Stiffness control of balance during quiet standing and dual task in older adults: The MOBILIZE Boston study. *Journal of Neurophysiology*, 104(6), 3510-3517.
- Kapoula, Z., Matheron, E., Demule, E., Fauvel, C., & Bucci, M.-P. (2011). Postural control during the Stroop Test in dyslexic and non dyslexic teenagers. *PLoS one*, 6(4), e19272.
- Kreuzer, M., Hentschke, H., Antkowiak, B., Schwarz, C., Kochs, E., & Schneider, G. (2010). Cross-approximate entropy of cortical local field potentials quantifies effects of anesthesia-a pilot study in rats. *BMC neuroscience*, 11(1), 122.
- Lacour, M., Bernard-Demanze, L., & Dumitrescu, M. (2008). Posture control, aging, and attention resources: Models and posture-analysis methods. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 38(6), 411-421.
- Lafond, D., Corriveau, H., & Prince, F. (2004). Postural control mechanisms during quiet standing in patients with diabetic sensory neuropathy. *Diabetes Care*, 27(1), 173-178.
- Lipsitz, L. A., & Goldberger, A. L. (1992). Loss of 'complexity' and aging: Potential applications of fractals and chaos theory to senescence. *Journal of the American Medical Association*, 267(13), 1806-1809.
- Manor, B., Costa, M. D., Hu, K., Newton, E., Starobinets, O., Kang, H. G., Peng C.-K., Novak, V., & Lipsitz, L. A. (2010). Physiological complexity and system adaptability: Evidence from postural control dynamics of older adults. *Journal of Applied Physiology*, 109(6), 1786-1791.
- Marigold, D. S., & Eng, J. J. (2006). The relationship of asymmetric weight-bearing with postural sway and visual reliance in stroke. *Gait & Posture*, 23(2), 249-255.
- Maki, B. E., Whitelaw, R. S., & McLroy, W. E. (1993). Does frontal-plane asymmetry in compensatory postural responses represent preparation for stepping? *Neuroscience Letters*, 149(1), 87-90.
- Myklebust, J. B., Lovett, E. G., Myklebust, B. M., Reynolds, N., Milkowski, L., & Prieto, T. E. (2009). Two-dimensional coherence for measurement of asymmetry in postural steadiness. *Gait & Posture*, 29(1), 1-5.
- Newell, K. M. (1998). Degrees of freedom and the development of postural center of pressure profiles. *Applications of nonlinear dynamics to developmental process modeling*, 63-84.

- Pincus, S. M. (1991). *Approximate entropy as a measure of system complexity*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 88(6), 2297-2301.
- Pincus, S. M., Mulligan, T., Iranmanesh, A., Gheorghiu, S., Godschalk, M., & Veldhuis, J. D. (1996). *Older males secrete luteinizing hormone and testosterone more irregularly, and jointly more asynchronously, than younger males*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 93(24), 14100-14105.
- Piirtola, M., & Era, P. (2006). Force platform measurements as predictors of falls among older people - A review. *Gerontology*, 52(1), 1-16.
- Prado, J. M., Stoffregen, T. A., & Duarte, M. (2007). Postural sway during dual tasks in young and elderly adults. *Gerontology*, 53(5), 274-281.
- Prieto, T., Myklebust, J., Hoffmann, R., Lovett, E., & Myklebust, B. (1996). Measures of postural steadiness: differences between healthy young and elderly adults. *IEEE Trans Biomed Eng*, 43, 956-966.
- Stergiou, N., & Decker, L. M. (2011). Human movement variability, nonlinear dynamics, and pathology: Is there a connection? *Human Movement Science*, 30(5), 869-888.
- Winter, D. A. (2005). *Biomechanics and motor control of human movement*. Hoboken, N.J.: Wiley.