

The influence of vibratory stimulus using stochastic resonance on static posture control ability of senior adults

Dong-Yeal Yoo¹, Seung-Min Lee^{2*}, & Jong-Seong An³

¹University of Houston, ²Chungnam National University, & ³Seoul National University

[Purpose] The purpose of the study was to investigate the effect of vibratory stimulus on the static postural control of 8 healthy senior adults. **[Methods]** To achieve this goal, all subjects participated in two different kinds of static postural control tasks. Task 1 was a static postural control task, where both-legs stand on the ground. Second task was an unstable static postural control task using only single leg stance. As they maintain their balance, 6 different vibratory stimulus were provided on the sole of their feet(personal threshold 0%, 80%, 90%, 100%, 110%, 120%). **[Results]** The results of the study were as follows: First, there was no significant differences in postural control ability according to different types of vibrator intensity. Second, there was a significant difference in single-leg postural control ability according to vibrator intensity. Third, there was a significant difference in antero-posterior stability according to the different types of vibrator intensity. **[Conclusion]** Stochastic resonance using vibratory stimulus was more effective in the single leg stance task, rather than the double leg stance task. Moreover, sub-threshold vibratory stimulus(80%, 90%) intensity were more effective than higher vibratory stimulus(100%, 110%, 120%).

Key words: Stochastic resonance, resonance, noise, posture, control, vibration stimulus

서론

여성의 출산율 감소와 의학 발달에 의한 평균 수명 연장은 노인 인구의 비율이 급격히 증가되는 결과를 가져왔다. 유엔의 분류에 따르면 전체 인구에 대한 65세 이상의 인구가 7% 이상일 때 '고령화 사회', 14% 이상일 때 '고령사회', 20% 이상일 때, '초 고령화 사회'라고 한다. 한국의 경우 2015년 우리나라의 65세 이상 인구비율은 12.8%로 2035년 28.7%, 2065년 42.5%로 지속적으로 증가할 전망이다(Statistics Korea, 2014). 특히 한국의 경우 고령화의 속도가 다른 어느 선진국보

다 빠르게 진행되고 있다는데 더 큰 문제점이 있다. 노인들은 노화로 인해서 많은 질병과 부상을 당하게 된다. 노인들이 많이 당하는 부상 중 하나는 바로 낙상이다. 미국의 경우 예상하지 못한 사고와 관련된 사망자 2만 2천5백 명 가운데 50.7%인 1만 1천4백 명이 65세 이상 노인이었고, 그 중 53.5%인 6천1백 명이 낙상으로 인한 사망이었다. 그리고 매년 65세 이상의 노인들 중, 대략 30%가 낙상을 경험하는 것으로 보고되고 있다(Shaffer & Harrison, 2007). 낙상은 직접적인 사망 원인 외에도 침상생활을 유발하여 기력 감퇴, 영양섭취 곤란, 폐렴 등 생명에 위협적인 합병증을 발생시킨다. 또한 낙상의 경험에 따른 노인의 심리적 위축은 자신감을 저하하고 운동 수행력을 떨어뜨린다(Mulder et al., 1993).

이처럼 낙상은 건강한 노화(healthy aging)를 위한 노년기 삶의 질에 부정적인 영향을 주는 요인이다. 운동

논문 투고일 : 2017. 01. 10.

논문 수정일 : 2017. 03. 07.

게재 확정일 : 2017. 03. 20.

* 교신저자 : 이승민(seungmin@cnu.ac.kr).

생리학, 운동역학, 스포츠심리학 등의 체육학 분야에서는 낙상을 예방하기 위한 다양한 연구가 진행 중에 있다. 예를 들어, Hong(2012)의 비만 노인여성을 대상으로 한 연구에서 12주간의 유산소 및 저항 복합 운동이 낙상 예방에 효과가 있는 것으로 제시하였다. 저항운동을 통해서 근력, 근지구력, 평형성이 개선되고, 특히 신체활동 낙상 효능 감을 높이는 것으로 나타났다. 여성 노인을 대상으로 한 Bang(2008)의 연구에서도 저항운동과 걷기운동은 유연성, 반사기능, 평형성, 최대산소섭취량, 근력, 낙상관련 체력 향상에 효과가 있는 것으로 나타났다.

낙상사고를 유발하는 요인으로는 노인 스스로가 가지고 있는 위험 요인인 내적요인과 환경적 특성인 외적 요인으로 나눌 수 있다(American Geriatrics Society, 2001). 내적인 요인으로는 환자의 연령, 성별, 장애정도, 보유질병 등이 있으며(Rynanen, 1994), 연령과 관계된 신체적 변화는 시력상실, 청력상실, 정신 기능의 상실, 자극에 대한 반응 지연 등이 있으며 이는 우발적 낙상사고를 증가시키는 요인이 된다(Wold, 1999). 이처럼 낙상관련 사고는 여러 가지 복합적인 원인에 의해서 발생하게 되지만, 우리는 낙상이 감각 시스템의 기능적 수준과 밀접한 관계가 있다는 점에 주목할 필요가 있다.

일반적으로, 감각기능과 자극에 대한 민감성은 40세부터 꾸준히 감소하게 되며, 70세 이상부터는 급격하게 감소하게 된다. 감각기능과 자극에 대한 민감성 감소는 감각운동 처리에 있어서 문제를 야기할 수 있다(Sturnieks et al., 2008). 특히 체성감각 피드백은 자세 조절 시스템에 매우 중요한 영향을 미치는 요소 중 하나이다. 노인, 당뇨병 신경장애 환자, 그리고 뇌졸중 환자들은 자극에 대한 피부수용기와 고유수용기의 지각능력이 떨어지게 된다. 이러한 체성감각의 변화는 자극에 대한 각 수용기의 역치 값을 높이기 때문에 주어진 자극에 대해서 적절한 반응을 하기 어렵게 만든다(Kim & Choi-Kwon, 1996; Leo & Soderberg, 1981; Robertson & Jones, 1994). 본 연구에서는 노인의 체성감각체계의 자극을 통해 자세조절 능력의 변화를 살펴보고자 한다.

최근, 확률공명(stochastic resonance)의 매커니즘과 같은 비선형 시스템에서 노이즈(noise)가 약한 신호의 탐지 및 전달을 개선할 수 있다고 보고되고 있다. 확률 공명 기법이란 감각 수용기의 역치 수준에 도달하지

않는 정보를 제공하였을 경우, 감각계의 민감도를 증가시켜 운동 시스템의 지각-인지 과정이 최적화 되는 이론이다. 일반적으로는 노이즈의 강도가 높아짐에 따라 감각 시스템의 민감도는 증가하게 되는 것으로 알려져 있다. 그러나 역치이하 수준의 적절한 노이즈가 주어질 때, 시스템에서의 정보의 탐지와 흐름은 최적화 된다고 보고되고 있다(Fauve & Heslot, 1983; Jung, 1993; Hänggi, 2002; Moss et al., 2004).

확률공명은 물리학, 생물학 등 다양한 분야에서 설명되어 지고 있다. 뉴런 시스템에서 확률공명의 효과를 알아보기 위한 첫 번째 실험은 1993년에 진행되었다(Douglass et al., 1993). Douglass에 따르면 바다가재는 꼬리 끝에 미세한 털을 가지고 있고 털로 물결의 흐름을 감지해서 포식자의 접근을 알아낸다고 한다. 그러나 물살의 요동이 없는 민물인 상황에서는 포식자가 만든 물의 파동이 꼬리에 위치한 감각시스템의 역치값에 미치지 못해서 바다가재는 포식자의 접근을 알아차릴 수가 없지만 '물살의 요동'이라는 소음으로 가득 찬 바닷물 속에서는 다소 못 미쳤던 포식자의 신호가 역치값 위로 떠밀려서 포식자의 접근을 알아차릴 수 있다. 이처럼, 적당한 소음이 있을 때 미약한 원신호가 더 잘 들리는 현상을 확률공명이라고 부른다(Jung, 2003). 뉴런 시스템에서 확률공명은 그 효과성 입증과 함께 인간의 뉴런 시스템으로까지 확대 되었고 인간의 자세조절 능력을 개선하는데 긍정적인 효과를 줄 것으로 기대 되고 있다(Priplata, 2006).

공학과 재활의학 분야에서는 발바닥에 노이즈를 적용함으로써 자세조절을 개선 할 수 있다는 연구가 진행되었다. 건강한 성인과 노인을 대상으로 한 연구에서 발바닥에 노이즈 적용 유무에 따라 자세조절 능력에 차이가 있는 것으로 나타났다(Priplata, 2006). 건강한 성인들이나 노인뿐만 아니라 당뇨병로 인해서 감각기능이 저하된 환자들을 대상으로 한 연구에서도 노이즈를 적용하였을 때 높은 자세안정성을 보이는 것으로 나타났다(Khaodhiar et al., 2003). 또한 Liu et al.(2002)의 연구에서는 노이즈를 역치의 90%로 적용할 때 촉각 민감성이 최상으로 개선되었다. 이에 노이즈를 적용한 대부분의 앞선 선행연구에서는 역치의 90%로 노이즈를 적용하였으나 다른 몇몇 연구에서는 다양한 자극 유형

(시각, 청각, 촉각)과 강도 수준에 따라서 최적의 수행이 다르게 나타나고 있다(Ward et al., 2001; Wells et al., 2001). 이러한 선행 연구결과를 기반으로 노이즈의 적용 수준을 좀 더 세분화해서 살펴볼 필요성이 있다.

본 연구에서는 노이즈 자극강도에 따라 자세조절능력에 어떠한 영향을 주는지 살펴보고자 하였으며, 역치 이하 자극강도에서 실제로 자세조절 능력에 긍정적인 결과를 나타내는지 확인하고자 하였다. 이를 위해 다음과 같은 연구문제를 설정하였다. 첫째, 한발서기 과제에서 역치 이하 자극강도가 자세조절 능력에 긍정적인 영향을 주는가? 둘째, 노이즈 자극강도에 따라 자세조절 능력에 차이가 있는가? 본 연구를 통해서 노인들의 자세조절에 대한 노이즈의 효과성을 입증 하고 노이즈를 활용한 자세조절 훈련 프로그램 제작을 위한 후속 연구의 정보를 제공해 줄 것이다. 또한 신체활동이 아닌 감각 시스템의 개선을 통해서 낙상을 예방하는데 도움을 줄 수 있다는 점에서 본 연구의 의미가 있다.

연구방법

연구대상

본 연구에서 피험자는 D광역시에 거주하는 65세 이상의 건강한 노인 8명을 대상으로 하였다. 실험에 참여하기 이전, 모든 피험자는 본 연구의 목적과 절차에 대한 설명을 전달 받았으며 서면으로 동의서를 작성하였다. 실험을 진행하기 위해서는 피험자 스스로 자세를 조절 할 수 있는 능력을 갖추어야 하므로 berg balance test에서 46점 이상자만을 대상으로 선정 하였다. berg balance test는 일반적으로 45점을 기준으로 낙상의 위험도를 예측하며 45점 미만인 경우 낙상률이 2배 이상 높아지는 것으로 보고되고 있다(Muir et al., 2008). 또한 하지 근력의 영향을 최소화 하고자 운동 횟수는 일주일에 3일 미만인 노인들을 대상으로 선정하였고 낙상 경험자는 제외하였다. 또한 연구자와 피험자의 원활한 의사소통을 위해 MMSE 인지검사를 통해 25점 이상인 대상자를 선정 하였다(Table 1).

Table 1. Participants

Subject(N)	Age	Height	Weight
8	68.5±4.2	157.1±2.9	56.5±7.2

실험기구

본 연구에서는 피험자들의 압력중심(COP)값을 측정하기 위해 지면과 수평하게 지면반력기를 설치하였다. 지면 반력기는 x,y,z의 세 가지 축에 대한 힘의 성분인 F_x, F_y, F_z 와 모멘트 성분인 M_x, M_y, M_z 가 아날로그 신호로 동시에 측정할 수 있는 장비이며 이 신호를 계산하여 압력중심 값과 압력중심 분포정도를 산출해 낼 수 있다.

피험자들의 발바닥에 노이즈자극을 주기위해 진동 발생 장치를 사용하였다(Fig. 1). 진동 발생 장치는 진동 발생용 모터와 진동 발생기로 구성되어있다. 휴대폰 진동에 사용되는 초소형 모터는 모터 축에 비대칭형 진동 추를 장착하여 모터 회전 시 진동을 발생 시키는 구조이며 크기가 매우 작고(진동용 추 포함 길이 20 mm 미만) 저 전력으로 작동이 가능한 특징을 가지고 있다. 초소형 모터에서 발생하는 진동을 손실 없이 피험자의 발에 전달하기 위해서 슬리퍼 바닥에 모터를 매립 할 수 있는 공간을 만든 후, 초소형 모터의 몸체와 슬리퍼 바닥을 탄성이 있는 테이프로 연결하는 구조를 이용 하였다. 초소형 모터의 제어에 사용되는 진동 발생기에는 최근 다양한 분야에서 널리 사용되고 있는 아두이노(Arduino) UNO R3 제어기를 이용하였다. UNO R3 제어기의 PWM 출력단에 MOSFET(IRF 520)을 연결하여 초소형 모터를 구동하는 방식을 이용 하였으며, 진동 발생기에는 LCD, 가변저항 및 스위치를 장착하여 피험자에게 가해지는 진동의 강도, 총 진동 시간 등을 조절 할 수 있도록 하였다.



Fig. 1. Noise inductor (vibrator machine)

실험과제

본 연구에 참여한 연구 대상자들은 지면반력기 위에서 서서 두 가지 과제를 실시하였다.

안정적인 정적 자세조절 (과제 1)

안정적인 정적 과제는 노이즈가 제공되는 신발 착용 후 지면반력기 위에서 양팔은 아래로 내리고 양발로 제자리에 서 있는 안정적인 자세에서 20초간 균형을 유지하는 과제를 실시하였다. 이 때, 노이즈는 역치의 0%, 80%, 90%, 100%, 110%, 120% 수준으로 2회씩 무선적으로 제공하였다(Fig. 2).



Fig. 2. stable both leg stance test

불안정적인 정적 자세조절 (과제 2)

불안정적인 정적 과제는 노이즈 장비 착용 후 지면반력기 위에서 피험자가 주로 사용하는 다리만을 사용해서 20초 동안 외발로 서있는 과제를 실시하였다. 이 때, 노이즈는 역치의 0%, 80%, 90%, 100%, 110%, 120% 수준으로 2회씩 무선적으로 발바닥에 적용하였다(Fig. 2).

연구절차

본 연구를 진행하기에 앞서 모든 피험자들은 실험 참여 동의서를 자발적으로 작성하였으며, 수행하게 될 과제에 대한 설명과 충분한 시범을 보여주었다. 피험자들은 진동자극의 기대효과에 대해서는 알지 못하도록 하였다. 연구에 참여한 피험자들이 진동자극의 감각을 경험



Fig. 3. unstable single leg stance test

해 볼 수 있도록 본 실험이 진행되기 전에 5분 동안 진동자극 슬리퍼를 착용해보도록 하였다. 다음으로 피험자별로 발바닥에 제공되는 진동자극의 최소 역치 수준을 설정하였다. 자극역치는 진동자극 슬리퍼를 착용한 후 역치상 자극강도로 자극하기 시작하여 1%씩 자극 강도를 줄여가면서 피험자가 자극을 느끼지 못하는 시점의 강도로 설정하였다. 자극역치는 총 3회 측정하여 오차를 최소화하였다. 피험자들이 피로감을 느끼지 않도록 시간별로 2명씩 나누어서 실험을 진행하였으며, 휴식시간을 요구할 시에는 충분한 휴식시간을 제공하였다. 먼저, 지면반력기 위에서 진동자극 슬리퍼를 착용하지 않고, 안정적 자세에서 20초동안 자세를 유지하도록 하였으며, 5분 휴식 후에 불안정적 자세에서는 최대한 자세를 유지하도록 하였으며 20초가 초과되면 그만하도록 하였다. 각 과제당 2회씩 측정하였으며, 순서를 피험자별로 무선적으로 실시하였다.

다음으로는 진동자극 슬리퍼를 착용하고 2가지 과제를 수행하였다. 과제진행 순서는 피험자별로 무선적으로 실시하였으며, 수행과제는 앞서 측정한 과제와 동일한 방법으로 진행하였으며, 피험자 한명 당 40분의 전체 실험시간이 소요되었다. 진동자극은 발바닥이 지면에 닿는 종자골(sesamoid), 기절골(proximal phalanx), 그리고 발뒤꿈치 종골(calcaneus) 영역에 자극이 가해지도록 하였다.

자료 분석

본 연구에서는 종속변인을 측정하기 위해서 지면반력

기를 이용해 산출된 압력중심(COP)값을 사용하였다. 압력중심값은 2차원 평면상에서 x값과 y값을 나타내며, x좌표에 나타난 값의 변화는 좌,우 움직임을 나타내며 (+)값은 오른쪽,(-)값은 왼쪽으로 이동한 것을 의미한다. y좌표에 나타난 값의 변화는 전,후 움직임을 나타내며, (+)값인 경우 앞쪽으로, (-)값인 경우는 뒤쪽으로 이동하는 것을 의미한다. 지면반력기를 이용해 산출된 값을 표준화 하기 위해 각 시도별 처음 측정된 위치의 값을 0을 기준으로 하여 산출되었다. 이때, 전-후 방향 자세 안정성은 y축의 최대값에서 최소값을 뺀 값으로 산출하였고, 좌-우 방향 자세안정성은 x축의 최대값에서 최소값을 뺀 값으로 산출하였다.

$$Dispersion = \sqrt{(\max_X - \min_X)^2}$$

지면반력기를 통해서 얻어진 값은 SPSS 21.0 프로그램을 이용하여 통계 분석을 실시하였다. 과제(양발서기 과제, 외발서기 과제)와 진동자극(0%, 80%, 90%, 100%, 110%, 120%)을 독립변인으로 하여 전-후 방향 자세안정성, 좌-우 방향 자세안정성을 분석하기 위해 이원분산분석(two-way ANOVA)을 실시하였다. 그리고 각 독립변인 간 상호작용이 발생할 경우, 각 독립변인에 대한 주효과(main effect)를 알아보기 위해 일원분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 이때 통계적 유의수준은 .05로 하였다.

연구결과

전-후 방향 자세안정성

먼저 과제와 자극강도에 따른 전-후 방향 자세안정성 차이를 살펴보기 위해서 이원분산분석을 통해 살펴보았다. 그 결과, 진동자극 강도에 따라서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($F(5,11)=7.086, p < .001$). 그리고 과제에 따라서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($F(5,11)=1530.4, p < .001$). 또한 진동 강도와 과제의 상호작용 효과도 유의한 차이가 있는 것으로 나타

났다($F(5,11)=416.1, p < .001$).

세부적으로, 자극강도에 따른 주효과 검증을 위해서 일원분산분석을 실시하였다. 그 결과 양발서기 과제의 경우 진동자극 수준에 따른 전-후 방향 자세안정성의 차이가 유의하지 않은 것으로 나타났다($p > .05$). 반면, 외발서기 과제의 경우 진동자극 수준에 따라 전-후 방향의 자세안정성의 차이가 유의한 것으로 나타났다($F(5,42)=7.03, p < .001$). 차이가 유의하게 나타남에 따라 사후 분석을 실시한 결과(주효과를 분석한 결과?)진동자극 90%, 80%, 100%가 110%보다 높은 안정성을 나타냈으며, 0%에서 가장 낮은 자세 안정성을 나타냈다. 그러나 평균값을 살펴보면 90%, 80%, 100%, 110%, 120%, 0%순서로 전-후 방향 자세안정성이 높은 것으로 나타났다(Table 2).

Table 2. Antero-posterior COP movement dispersion

Noise intensity	Both leg stance	single leg stance
0%	3.51±.80	18.38±5.62
80%	2.96±.95	8.34±4.69
90%	3.11±.87	6.99±3.62
100%	4.01±1.13	8.48±3.23
110%	3.71±.67	10.65±2.63
120%	3.54±1.04	15.94±7.89

좌-우 방향 자세안정성

먼저 과제와 자극강도에 따른 좌-우 방향 자세안정성 차이를 살펴보기 위해서 이원분산분석을 통해 살펴보았다. 그 결과, 진동자극 강도에 따라서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($F(5,11)=462.219, p < .001$). 그리고 과제에 따라서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($F(5,11)=2970.375, p < .001$). 또한 진동 강도와 과제의 상호작용 효과도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($F(5,11)=386.223, p < .001$).

구체적으로, 자극강도에 따른 주효과 검증을 위해서 일원분산분석을 실시하였다. 그 결과 양발서기 과제의 경우 진동자극 수준에 따른 좌-우 방향 자세안정성의 차이가 유의하지 않은 것으로 나타났다($p > .05$). 반면, 외

발서기 과제의 경우 진동자극 수준에 따라 좌-우 방향의 자세안정성의 차이가 유의한 것으로 나타났다($F(5,42) = 5.64, p < .001$). 차이가 유의하게 나타남에 따라 사후분석을 실시한 결과 진동자극 90%이 80%와 100%보다 높은 자세안정성을 나타냈으며, 0%에서 가장 낮은 자세안정성을 나타냈다. 하지만 평균값을 살펴보면 90%, 80%, 100%, 110%, 120%, 0%순서로 좌-우 방향 자세안정성이 높은 것으로 나타났다(Table 3). 과제에 따른 좌-우 방향 자세안정성의 주 효과를 살펴본 결과, 모든 진동자극 강도에서 두 과제간의 차이가 유의하게 나타났으며, 역치이하의 자극강도인 90%에서 다른 자극강도에 비해 유의수준이 조금 낮게 나타났다($p < .05$).

Table 3. Medio-lateral COP movement dispersion

Noise intensity	Both leg stance	single leg stance
0%	3.18±.74	20.74±6.79
80%	2.26±.56	10.40±5.71
90%	2.68±.93	8.39±4.98
100%	3.30±1.43	12.29±5.85
110%	2.99±.98	14.76±4.01
120%	2.89±.75	10.18±5.06

압력 중심(COP)의 위치변화

다음 (Fig. 4)는 실험에 참여한 8명중 압력 중심(COP)의 위치변화를 대표할 수 있는 그래프를 제시한 것이다. 외발서기 과제의 경우 역치이하 강도인 90%와 80%일 경우 다른 자극강도에 비해서 압력 중심의 위치변화가 비교적 안정적인 것을 알 수 있다. 역치이하 강도에서 압력 중심이 원점에 모여 있고, 전-후, 좌-우의 폭도 다른 자극 강도에 비해서 확연히 좁은 것을 알 수 있다.

논 의

본 연구는 발바닥에 위치한 피부수용기에 진동 노이즈

자극을 적용하여 자세안정성을 높이는 최적의 진동 노이즈 자극강도를 밝히는데 목적이 있다. 이를 위하여 진동자극 장비를 착용 후 지면반력기 위에서 양발서기 과제와 외발서기 과제를 진행하였고, 과제별로 자극강도에 따른 전-후 방향 자세 안정, 좌-우 방향 자세안정성, 그리고 압력 중심(COP)의 위치변화에 대해서 살펴보았다.

두 과제 모두 역치이하 강도 80%와 90%에서 자세안정성이 높은 것으로 나타났다. 양발서기 과제에서 자극강도에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았지만, 선행 연구와 같이 역치이하 강도에서 자세안정성이 가장 높은 것으로 나타났다. 압력 중심의 위치변화는 90%보다 80%에서 더욱 안정적인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 개인의 연령이나 신체적 기능 수준에 따라서 감각계의 최적 민감도 수치에 차이가 나타날 수도 있으나, 양발서기 과제가 자세안정성이 높은 자세이므로 역치이하 강도에 따라 큰 차이를 보이지 않은 것으로 사료된다. 그러나 양발서기 과제에서 80%와 90% 강도에서 유의한 차이를 보이지는 않았지만 자세안정성이 높은 양발서기 과제에서도 역치이하 강도에서 자세안정성이 가장 높은 것으로 나타났다.

낙상이란 갑작스럽게 의도하지 않은 자세의 변화로 인해서 자세안정성이 감소되는 것과 관련이 있다. 이러한 자세안정성은 과제 난이도의 증가에 따라 감소된다고 알려져 있다(Riemann et al., 1999; Era et al., 2006). 양발서기 과제의 경우 외발서기 과제와는 달리 양발을 지지하고 있어 비교적 안정성이 높다. 이는 과제 난이도가 낮기 때문에 자극강도와는 관계없이 비교적 안정적인 자세를 유지할 수 있는 것으로 보인다. 반면 외발서기 과제에서는 자극강도간의 유의한 차이가 나타났다. 자세안정성은 90%에서 가장 높게 나타났으며, 0%에서 가장 낮게 나타났다. 압력 중심의 위치변화 또한 90%에서 자세안정성이 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 역치 90%에서 가장 높은 인지력을 나타내고, 0%에서 가장 낮은 수행력을 보인 Liu et al.(2002)의 연구 결과와 일치하며, 양발서기 과제와는 달리 과제의 난이도가 증가함에 따라 자세안정성을 유지하는데 역치 이하의 자극강도가 효과적으로 작용한 것으로 사료된다. 그리고 역치를 나타내는 100%와 역치 이상을 나타내는 110%, 120%에서 진동자극을 주지 않은 0%보다 자세

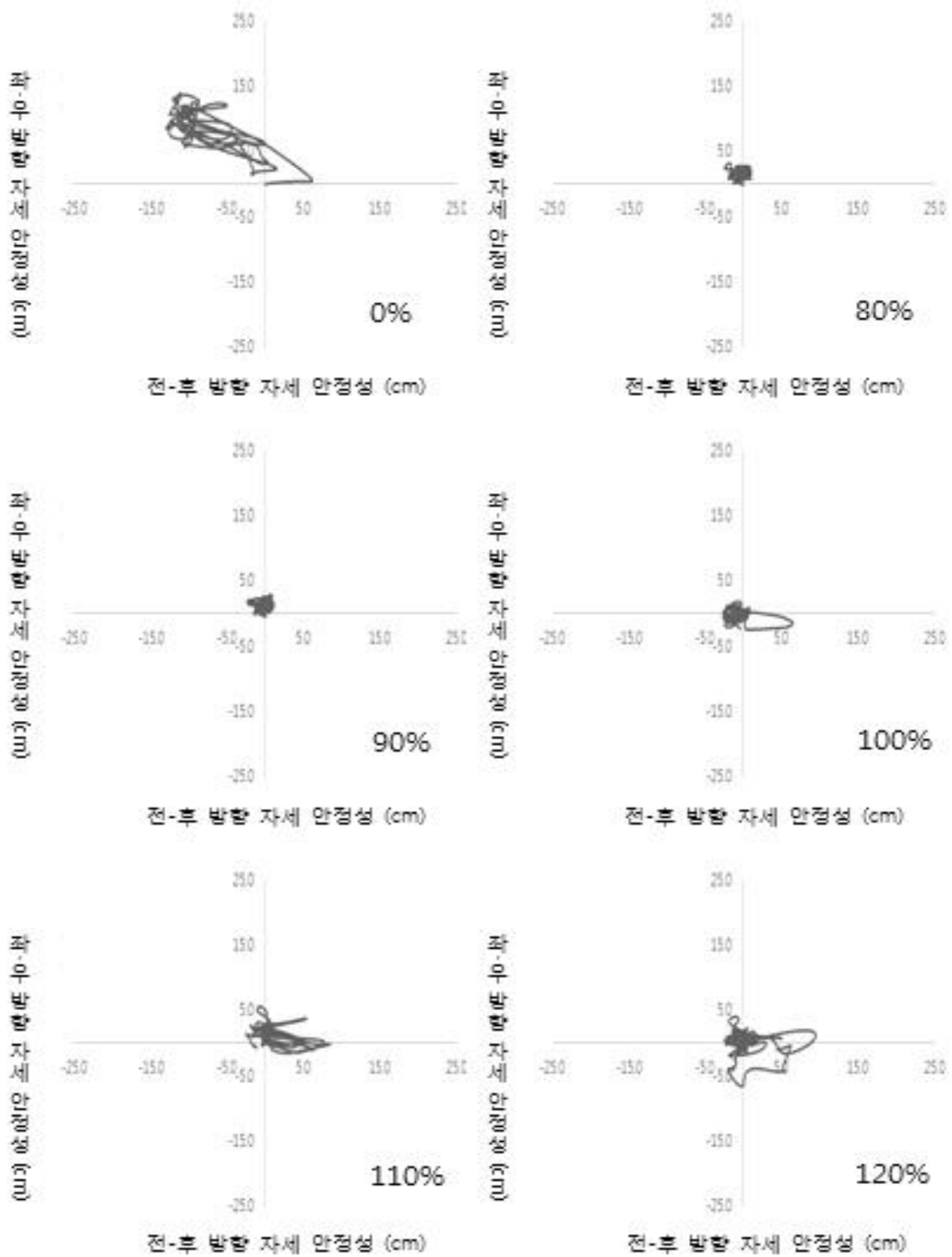


Fig. 4. COP dispersion on different noise intensity (single leg stance)

안정성에 효과적인 것으로 나타났다. 이는 역치 이상의 진동자극이 체성감각을 증가시킨다는 선행연구들과 일맥상통하며, 진동자극이 주어졌을 경우 주어지지 않은 경우보다 자세 안정성이 높아진다는 Eun(2008)의 연구와도 일치한다.

또한 진동자극 수준에 따른 과제와 자세안정성의 결과들을 살펴보면 모든 진동자극에서 두 과제간의 자세안정성 차이가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 그러나 80%와 90%에서 다른 자극강도에 비해서 유의한 차이가 더 작게 나타났다. 이는 양발서기 과제에서는 진동자극 수준에 관계없이 비교적 안정적인 자세를 유지할 수 있는 반면, 외발서기 과제에서 역치 이하 강도인 80%와 90%에서 자세안정성의 개선정도가 다른 자극강도에 비해 높게 나타났기 때문에 유의한 차이가 더 작게 나타난 것으로 생각된다.

Fitzpatrick et al.(1994)의 연구에 따르면 사람이 서있는 동안 체성감각 시스템은 균형을 통제하기 위해 상당한 감각 정보와 피드백을 제공한다고 하였으며, 특히 사람의 발바닥에 위치한 피부 물리적 자극수용기는 중추신경계에 구심성 감각 정보를 제공하고 이러한 정보들이 모여 몸의 기울기 정도나 방향을 감지하는데 도움을 준다고 하였다(Kavounoudias et al., 1998). 그러나 Sturnieks et al.(2008)에 따르면 인간은 노화로 인하여 감각기능과 자극에 대한 민감성은 꾸준히 감소하기 때문에 감각운동 처리에 있어서 문제를 야기한다고 하였다. 이러한 감각운동 처리 문제는 노인이 안정적인 자세를 유지하는데 있어서 큰 문제를 야기할 수 있고, 이러한 자세 조절의 불안정성은 낙상을 유발할 수 있다. 실험 결과들을 살펴보면 역치이하의 진동자극이 노인들의 체성감각 민감성을 증가시켜 보다 안정적인 자세를 유지하는데 도움을 주는 것으로 사료된다. 아직 확률공명을 활용한 선행연구가 많지 않으나, 지속적으로 자세 조절 향상과 관련된 주제로 국내외에서 연구가 지속적으로 이루어지고 있습니다. 노이즈와 자세조절에 관한 선행연구(Riemann et al., 1999; Liu et al., 2002)에서는 역치이하의 자극강도에서 자세조절 능력의 긍정적 향상 효과가 있는 것으로 보고하고 있습니다. 이러한 원인에 대해서는 아직 명확하게 규명되지는 못했으나, 역치이하의 자극강도가 체성 감각시스템의 민감도 수준을 증가시켜

자세조절 안정성을 높였을 가능성에 대해 논의하고 있습니다.

결론 및 제언

본 연구를 통하여 확률공명을 활용한 진동자극이 안정적인 양발서기 과제 보다는 불안정적인 외발서기 과제에서 효과가 있는 것으로 보이며, 이는 양발서기 과제가 외발서기 과제에 비해서 과제의 난이도가 낮기 때문에 노이즈 진동자극에 관계없이 비교적 일관성 있게 안정적인 자세를 유지할 수 있는 것으로 사료된다. 외발서기의 경우 역치이하의 진동자극이 주어질 경우 다른 진동자극 강도에 비해 자세안정성이 높았으며, 특히 역치 90%일 경우에 가장 높은 자세안정성을 나타냈으며, 이는 선행연구의 결과들과 일치하는 것으로 결론지을 수 있다. 또한 국내에 확률공명을 활용한 연구가 미비함에 따라 이러한 결과들은 확률공명 연구에 대한 기초적인 정보를 제공할 것으로 사료된다. 향후 연구에서는 본 연구에서 측정된 3개의 종속변수 외에 자세안정성을 측정할 수 있는 다양한 변수들을 측정할 필요성이 있다. 또한 정적인 과제에서 벗어나 동적인 과제에서도 확률공명을 활용한 진동자극의 효과를 검증할 필요가 있을 뿐만 아니라, 더 나아가 신경질환으로 인하여 자세조절능력이 감소된 당뇨환자나 뇌졸중환자에게도 도움이 될 것으로 사료된다.

참고문헌

- American Geriatric Society. (2001). Guideline for the prevention of falls in order persons. *Journal of the American Geriatric Society*, 29, 664-672.
- Bang, H. S. (2008). *The effects of gradual resistance exercise and walking and detraining on fall-related fitness and isokinetic muscular function in the female elderly*. Doctoral dissertation, Department physical education Graduate School Chang-won National University.
- Douglass, J. K., Wilkens, L., Pantazelou, E., & Moss, F. (1993). Noise enhancement of information transfer in crayfish mechanoreceptors by stochastic resonance. *Nature*, 365

- (6444), 337-340.
- Era, P., Sainio, P., Koskinen, S., Haavisto, P., Vaara, M., & Aromaa, A. (2006). Postural balance in a random sample of 7,979 subjects aged 30 years and over. *Gerontology*, *52*(4), 204-213.
- Eun, H. I. (2008). *Development of Vibratory Stimulation System for Improving Postural Stability in Static and Dynamic Conditions*. Master's thesis, Dept. of Healthcare Eng. Graduate School of Chonbuk National University.
- Fauve, S., & Heslot, F. (1983). Stochastic resonance in a bistable system. *Physics Letters A*, *97*(1), 5-7.
- Fitzpatrick, R., Rogers, D. K., & McCloskey, D. I. (1994). Stable human standing with lower limb muscle afferent providing the only sensory input. *The Journal of Physiology*, *480*(2), 395-403.
- Gammaitoni, L., Hänggi, P., Jung, P., & Marchesoni, F. (1998). Stochastic resonance. *Reviews of modern physics*, *70*(1), 223.
- Hänggi, P. (2002). Stochastic resonance in biology how noise can enhance detection of weak signals and help improve biological information processing. *Chemical Physics and Physical Chemistry*, *3*(3), 285-290.
- Hong, J. Y. (2012). *Effects of 12 Weeks Aerobic · Resistance · Combined Exercise Training on Physiological and Psychological Factors In Obese Elderly Women*. Doctoral dissertation, Department of Physical Education Graduate School Dankook University.
- Jung, J. S. (2003). *Science concert*. Dong Asia, 206-214
- Jung, P. (1993). Periodically driven stochastic systems. *Physics Reports*, *234*(4), 175- 295.
- Kavounoudias, A., Roll, R., & Roll, J. P. (1998). The plantar sole is a 'dynamometric map' for human balance control. *Neuroreport*, *9*(14), 3247-3252.
- Khaodhiar, L., Niemi, J. B., Earnest, R., Lima, C., Harry, J. D., & Veves, A. (2003). Enhancing sensation in diabetic neuropathic foot with mechanical noise. *Diabetes Care*, *26*(12), 3280-3283.
- Kim, J. S., & Choi-Kwon, S. (1996). Discriminative sensory dysfunction after unilateral stroke. *Stroke*, *27*(4), 677-682.
- Leo, K. C., & Soderberg, G. L. (1981). Relationship between perception of joint position sense and limb synergies in patients with hemiplegia. *Physical therapy*, *61*(10), 1433-1437.
- Liu, W., Lipsitz, L. A., Montero-Odasso, M., Bean, J., Kerrigan, D. C., & Collins, J. J. (2002). Noise-enhanced vibrotactile sensitivity in older adults, patients with stroke, and patients with diabetic neuropathy. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, *83*(2), 171-176.
- Moss, F., Ward, L. M., & Sannita, W. G. (2004). Stochastic resonance and sensory information processing: a tutorial and review of application. *Clinical Neurophysiology*, *115*(2), 267-281.
- Mulder, T., Berndt, H., Pauwels, J., & Nienhuis, B. (1993). *Sensorimotor adaptability in the elderly and disabled*. Exercise and Aging. Hillsdale, NJ: Enslow.
- Muir, S. W., Berg, K., Chesworth, B., & Speechley, M. (2008). Use of the Berg Balance Scale for predicting multiple falls in community-dwelling elderly people: a prospective study. *Physical therapy*, *88*(4), 449.
- Priplata, A. A., Patrilli, B. L., Niemi, J. B., Hughes, R., Gravelle, D. C., Lipsitz, L. A., & Collins, J. J. (2006). Noise enhanced balance control in patients with diabetes and patients with stroke. *Annals of neurology*, *59*(1), 4-12.
- Riemann, B. L., Guskiewicz, K. M., & Shields, E. W. (1999). Relationship between clinical and forceplate measures of postural stability. *Journal of Sport Rehabilitation*, *8*, 71-82.
- Robertson, S. L., & Jones, L. A. (1994). Tactile sensory impairments and prehensile function in subjects with left-hemisphere cerebral lesions. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, *75*(10), 1108-1117.
- Rynanen O. P. (1994). Health, Functional capacity, health behavior, psychological factors and falling in old age. *Public Health*, *108*, 99-110.
- Shaffer, S.W., & Harrison, A.L. (2007). Aging of the somatosensory system: a translational perspective. *Physical Therapy*, *87*(2), 193-207.
- Statistics Korea (2014). 2014 Life Tables for Korea.
- Sturnieks, D.L., St George, R., & Lord, S. R. (2008). Balance disorders in the elderly. *Neurophysiology Clinique/Clinical Neurophysiology*, *38*(6), 467-78.
- Wold, G. H. (1999). *Factors Risk Protocol and Nursing Care Plan*. Geriatric Nursing, July/August, 205-206.

확률공명을 활용한 진동자극이 노인의 정적 자세조절 능력에 미치는 영향

유동열(휴스턴대학교), 이승민(충남대학교), 안종성(서울대학교)

【목적】 본 연구의 목적은 신체적으로 건강한 8명의 노인을 대상으로 확률공명을 활용한 진동자극이 정적 자세 조절에 어떠한 영향을 주는지 살펴보는 것이다. **【방법】** 이러한 연구목적을 달성하기 위해 피험자들은 두 가지 정적자세조절 과제에 참여하였다. 과제1은 양발을 지면에 붙인 안정적인 정적 자세조절 과제이며, 과제 2는 주로사용하지 않는 한쪽 발을 들고 자세를 유지하는 불안정적인 정적 자세조절 과제를 수행하였다. 이때 발바닥에 제공되는 진동자극은 역치이하 80%, 90%, 역치강도, 역치이상 110%, 120%의 자극을 제공하였다. **【결과】** 연구결과를 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 과제 1에서는 진동자극 강도에 관계없이 안정적인 자세조절 능력을 보이는 것으로 나타났다. 둘째, 과제 2에서 진동자극 강도에 따라 자세조절 능력에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 그리고 역치 이하의 80%와 90% 자극강도에서 자세조절의 안정성이 높은 것으로 나타났다. 셋째, 전-후 방향 안정성에 대한 결과에서도 자극강도에 따라 안정성에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. **【결론】** 진동자극을 활용한 확률공명 기법은 양발서기 과제 보다는 외발서기 과제에서 더욱 효과적이다. 더불어, 좌우 방향 안정성은 역치 이하 강도(80%, 90%)에서 다른 자극 강도(100%, 110%, 120%)보다 안정성이 높은 것으로 나타났다.

주요어 : 확률공명, 노이즈, 자세조절, 진동자극