

선자세에서 가벼운 무게로 팔 흔들기가 선행적 자세조절과 자세안정성에 미치는 영향

남혜선¹, 김종휘²

¹대구가톨릭대학교 대학원 물리치료학과, ²대구가톨릭대학교 바이오메디대학 물리치료학과

Effects of Arm Swing with a Light Weight on Anticipatory Postural Adjustment and Postural Stability in Standing

Hye-Sun Nam¹, Joong-Hwi Kim^{*2}

¹Department of Physical Therapy, Graduate School, Daegu Catholic University,

^{*2}Department of Physical Therapy, College of Biomed, Daegu Catholic University

Purpose The Aim of this study was to investigate the activation time of trunk muscles and characteristics of the movement of center of pressure (COP) during arm swing with a light weight in standing. **Methods** Thirty health subjects (14 males, 16 females) participated in this study. Arm swing was performed for 10 trials without and with a weight at 1.2Hz frequency toward anterior and posterior direction. Electromyography (EMG) was used to determine muscle activation time and Biorescue was used to measure characteristics of the movement of COP. Surface bipolar electrodes were applied over the right anterior deltoid, the right latissimus dorsi, both rectus abdominis, both internal oblique, and both erector spinae. The data were analyzed by repeated one-way ANOVA and Duncan's post hoc. **Results** The results were as follows: There were significant differences with muscle activation time in all muscles except the ipsilateral internal oblique between conditions of arm swing without and with a weight ($p < 0.01$). There were significant differences with characteristics of the COP (sway area, length, and speed) between conditions of arm swing without and with a weight ($p < 0.01$). **Conclusion** The arm swing with a light weight evokes the more rapid EMG activity of ipsilateral trunk muscles and the increasing movement of COP. The findings highlight the importance of investigating the role of the light weight during arm swing in anticipatory postural adjustment and posture stability in maintaining control of vertical posture.

Key words Arm swing, Weight, Anticipatory postural adjustment, Postural stability, Standing posture

Corresponding author Joong-Hwi Kim (charmpt@cu.ac.kr)

Received date 9 May 2017

Revised date 3 June 2017

Accepted date 19 June 2017

1. 서론

인간의 선 자세는 높은 인체 중심(center of mass; COM), 좁은 지지면 그리고 발과 인체 중심 사이의 많은 관절의 작용으로 인해 유전적으로 불안정하다. 서있는 사람이 빠르게 움직이거나 외부 물체와 상호작용 할 때, 신체 분절의 기계적인 작용은 자세의 동요(perturbation)를 유발하며 균형을 위협한다. 우리의 중추신경계는 두 가지 주된 자세 전략을 사용한다. 선행적 자세조절(anticipatory postural adjustments)은 예측된

신체 흔들림 이전에 몸통과 다리 근육을 활성화시켜 인체 중심의 위치를 조절하고 이로 인해 평형의 위협을 최소화 한다.¹⁾ 보상적 자세 조절(compensatory postural adjustments)은 감각피드백의 신호에 의해 시작되고 자세 흔들림이 이미 발생한 후에야 COM을 복구하는 기전으로 작용한다.^{2,3)}

선행적 자세조절은 무의식적인 근육의 활동이며, 과제 수행을 위한 일차적인 움직임에 의해 야기되는 예측된 흔들림에 대해 균형을 맞추기 위한 방법으로 여겨져 왔다.^{1,4)} 그러나 여러 연구들을 통해 선행적 자세조절은 예측된 과제에 대한 선행적인 안정성을 위해 수의적인 움직임일 일어나기 전에 이루어지는 것이 아니라 실제로는 과제 수행의 과정에서 동시에 이

doi : <http://dx.doi.org/10.17817/2017.05.31.111149>

This paper was supported by the research grant of Daegu Catholic University in 2014.

루어진다는 것이 밝혀져 왔다.⁵⁻⁹⁾

선행적 자세조절에 대한 연구는 건강한 성인들을 대상으로 다양한 움직임 과제와 조건을 이용해 광범위하게 진행되어 왔다.^{4,10)} 건강한 성인을 대상으로 한 연구들에서 선행적 자세조절은 흔들림과 동작,^{11,12)} 흔들림의 크기,¹³⁻¹⁵⁾ 기저면에 따른 과제의 상태,^{16,17,18)} 인지된 안정성,¹⁹⁾ 그리고 시간의 제한²⁰⁾ 등에 따라 예상된 흔들림의 특성에 근거해 다양하게 수정된다고 보고되고 있다. 기존 선행적 자세조절에 대한 연구는 근전도(electromyography; EMG)를 이용해 팔 들기,²¹⁾ 앞쪽과 뒤쪽으로 몸통 구부리기,²²⁾ 그리고 팔뻗기 과제 시^{6,23)}에 일차적인 움직임에 선행해서 나타나는 몸통과 다리의 자세근 활동 특성의 분석을 통해 연구되어 왔으며,^{24,25)} 압력중심(center of pressure; COP)의 이동 특성을 통해 흔들리거나 고정된 기저면에서 수행되는 과제에 대해 일차적인 움직임에 대한 반작용 반응력으로서 COP를 안정화시키기는 특성에 대해 연구가 진행되어 왔다.^{1,26)}

인간은 일상생활에서 다양한 무게를 가진 외부 과제와 상호작용을 통해 일상생활을 수행하며, 다양한 무게의 도구를 활용해 스포츠 및 여가 생활을 한다. 기존의 연구들이 고정되거나 움직이는 다양한 기저면의 특성을 이용해 여러 팔 과제 상황에서 선행적 자세조절을 연구해 왔지만 일상생활에 주로 사용되는 무게로 팔 과제 활동이 자세조절의 특성에 어떠한 영향을 미치는 지에 대한 연구는 미흡하다. 따라서 본 연구는 실생활에 주로 사용되는 가벼운 무게를 들고 팔의 움직임을 할 때 발생하는 자세 근육의 활성화와 COP의 특성을 분석함으로써 가벼운 무게 흔들기가 선행적 자세조절과 자세 안정성에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보는데 그 목적이 있다.

II. 연구 방법

1. 연구대상자

본 연구는 경상북도에 소재한 C대학에 재학 중인 최근 1년 동안 요통이 없었으며 팔에 병변이 없고, 오른쪽 손과 다리가 우세한 건강한 성인 30명을 대상으로 실시하였다. 남녀의 비율은 각각 남자 14명, 여자 16명으로 하며, 실험에 참여하기 전에 본 연구의 목적과 방법에 대하여 충분히 설명을 듣고 실험참여에 자발적인 동의를 한 자를 대상으로 하였다. 실험자의 일반적 특성은 다음과 같다(Table 1).

2. 실험기기 및 측정도구

몸통의 근 수축 개시시간의 측정을 위해 표면근전도 (WEMG-8, Laxtha, USA)를 사용하였다. 이 장비는 송신기와 수신기로 구성되어 있다. COP의 이동특성은 컴퓨터화된 힘판으로서 균형

Table 1. General characteristic of subjects (n=30)

Characteristic	Mean ± SD
Age (yrs)	24.07 ± 1.34
Height (cm)	168.63 ± 7.01
Weight (kg)	59.97 ± 9.03
Feet (mm)	248.17 ± 14.41

SD, Standard deviation

능력 측정 및 훈련 시스템으로 활용되고 있는 Biorescue (AP1153, RM Ingenierie, France)을 사용하였다. 이 장비는 환자 및 일반인을 대상으로 균형 능력을 정적 및 동적으로 측정하고, 특정한 움직임 동안 COP의 이동 경로를 관찰하여 이동경로선의 면적(cm)과 길이(cm), 평균속도(cm/s)를 알 수 있다.

3. 실험방법

1) 실험 절차

오른쪽 어깨를 굽혔다 펴는 동작에서 몸통의 근육 활성도를 측정하였고 팔꿈치와 손목은 펴도록 하였다. 연구 대상은 Tettamanti 등²⁷⁾의 연구에서 몸통근육의 선행적 자세조절의 요구가 가장 높은 팔 굽힘과 펴 주기였던 1.2Hz 주기로 메트로놈을 사용하여 각각 팔의 굽힘과 펴를 충분히 연습한 후 실험에 임하였고, 5초와 8초의 소리자극에는 정지자세를 유지하여 이때의 근활성도를 기준선으로 설정하였다. 실험자는 10초, 12초, 14초중 무작위로 설정된 소리자극을 인식할 시 곧바로 팔 과제를 수행하였고 소리자극은 1.2Hz로 10회간 설정하였다.

연구 대상은 균형 능력 측정 및 훈련 시스템에서 어깨넓이로의 서도록 하였으며 아령을 잡지 않고 팔 전방 들기 (Shoulder flexion; SF), 1kg 아령을 잡고 팔 전방 들기 (Shoulder flexion with weight; SF-W), 아령을 잡지 않고 팔 후방들기(Shoulder extension; SE), 1kg 아령을 잡고 팔 후방들기(Shoulder extension with weight; SE-W)를 각각 수행하였다. 근피로를 최소화 하기 위하여 각 자세 측정 후 5분간의 충분한 휴식을 주었다. 각각의 실험은 모두 컴퓨터화된 힘판(force plate) 위에서 진행되었으며 각 흔들기 조건시 COP의 이동특성은 팔의 움직임이 일어나는 30초동안의 COP의 이동면적, 이동길이, 평균속도를 측정하였다(Figure 1).

2) 근전도 전극 부착

근전도 장치의 전극 부착부위는 다음과 같다(Figure 2). 근전도의 표면전극(surface electrode)과 접지전극(ground electrode)은 부착 부위의 피부저항 감소를 위해 털을 제거하였으며 사포로 각질층을 제거하였다. 표면전극은 오른쪽 어깨세모근

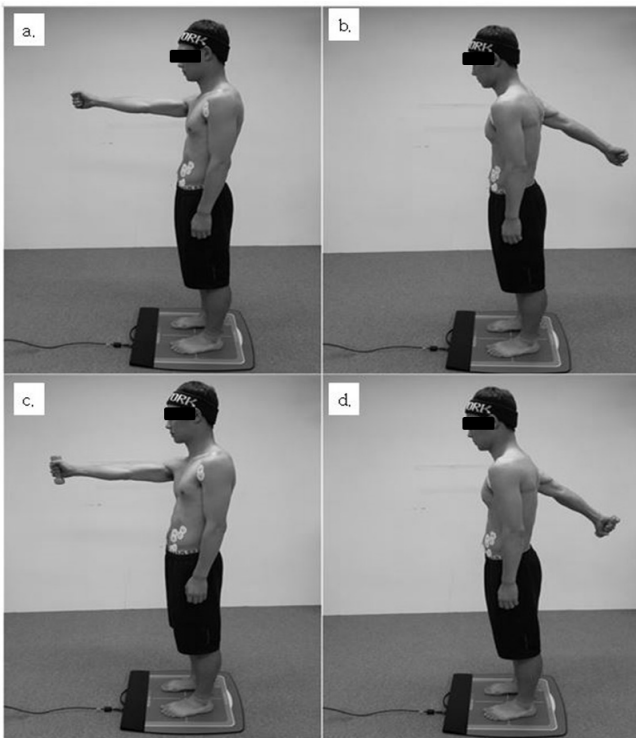


Figure 1. Experimental setup
a. Shoulder flexion (SF); b. Shoulder flexion with weight (SF-W); c. Shoulder extension (SE); d. Shoulder extension with weight (SE-W)

(anterior deltoid; AD), 오른쪽 넓은등근(latissimus dorsi; LD), 양쪽 배곧은근(rectus abdominis; RA), 양측 배속빗근(internal oblique IO), 양측 척주세움근(erector spinae; ES)에 부착하였다. 접지전극은 7번 목뼈 가시돌기(C7)에 부착하였다. 전극의 부착부위는 SANIAM의 지침을 따랐다.^{28,29)}

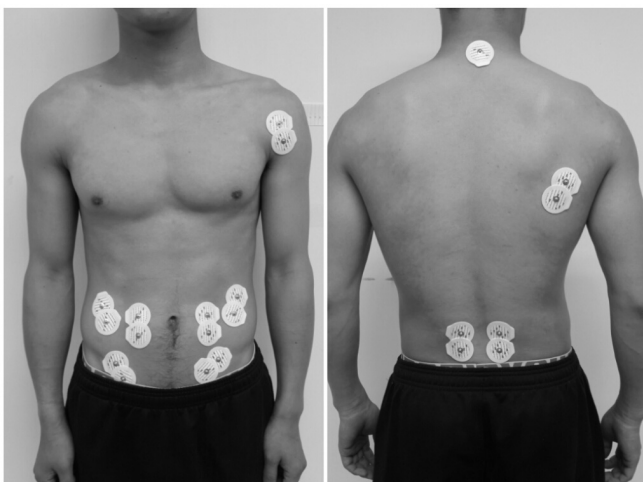


Figure 2. Electromyogram position

3) 근전도 신호의 기록 및 신호처리

근전도 신호의 표본추출(sampling data)은 1024Hz였고, 대역통과필터(band pass filter)는 10~500Hz를 적용한다. 60Hz, 120Hz, 180Hz의 노치필터(notch filter)를 적용하여 잡음을 제거하였다. 각 근육의 개시시간 측정은 기준선 동안의 평균과 표준편차의 3배를 초과하며, 초과 지속시간이 500ms에 도달하는 것으로 설정하였다.³⁰⁾ 팔 굽힘 시 오른쪽 앞어깨 세모근(right anterior deltoid)이 활성화 되는 시점을 개시시점으로 설정하여 각 팔 들기 조건에 따른 각 몸통 근육들의 개시시간 차이를 비교하였고, 팔 펴기 시 오른쪽 넓은등근(right latissimus dorsi)이 활성화 되는 시점을 개시시점으로 설정하여 각 몸통 근육들의 개시시간 차이를 비교하였다.³¹⁾ 오른쪽 앞어깨세모근과 오른쪽 넓은등근의 개시시간을 기준으로 100ms전과 50ms후 사이에 수축이 일어나는 것을 선행적 자세조절에 의한 근수축이라고 간주하였다.³²⁾

4. 통계분석

팔 동작시 무게가 선행적 자세조절과 COP 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 전후방 각 들기 조건에서 팔의 전후방 들기 시 측정된 몸통근의 개시시간과 각 실험 조건에서 동시에 측정된 COP의 이동면적, 이동길이, 평균속도에 대한 자료들을 이용하여 통계 분석하였다.

본 연구의 통계적 처리는 SPSS(PASW Statistics) version 19.0을 사용하였다. 대상자의 일반적인 특성은 기술통계를 이용하여 분석하였으며, 어깨 전방들기 시와 후방들기 시 무게 유무에 따른 몸통 근육 수축의 개시시간 및 COP의 이동특성에 대하여 일원분산분석법(one-way ANOVA)를 사용하였다. 통계적으로 유의할 경우 세부적인 분석을 위하여 사후검정(post hoc test)으로 Duncan 방법을 이용하였다. 통계적 유의성을 검정하기 위하여 유의수준 α 값을 0.05로 정하였다.

III. 결과

1. 팔 동작시 무게에 따른 몸통근 개시시간 특성 비교

무게를 다르게 적용하여 팔 동작을 하였을 때 자세동요에 따른 몸통근육 간의 개시시간에는 오른쪽 배속빗근을 제외한 모든 근육에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 사후검정에서 무게를 들고 전방 들기를 하였을 때 오른쪽 배곧은근에서 맨손으로 전방 들기를 하였을 때 보다 유의하게 개시시간이 빠른 것으로 나타났고, 무게를 들고 후방 들기를 하였을 때 왼쪽 배속빗근과 양측 척주세움근에서 맨손으로 후방들기를 하였을 때 보다 유의하게 개시시간이 빠른 것으로 나타났다 (Table 2).

Table 2. Muscle activation time of the trunk muscles according to weight at the right shoulder flexion, extension

(Unit: sec)

	SF(a)	SF-W(b)	SE(c)	SE-W(d)	F	p	post hoc
R.RA	0.47 ± 0.27	0.08 ± 0.57	0.35 ± 0.34	0.11 ± 0.35	6.611	<0.001	a,c>b,d
L.RA	0.45 ± 0.26	0.24 ± 0.41	0.30 ± 0.30	0.09 ± 0.30	6.302	<0.001	a,b,c>d
R.IO	0.38 ± 0.27	0.35 ± 0.25	0.34 ± 0.40	0.16 ± 0.39	2.683	0.051	
L.IO	0.40 ± 0.29	0.25 ± 0.26	0.40 ± 0.45	0.15 ± 0.19	4.596	<0.001	a,b,c>d
R.ES	0.30 ± 0.32	0.10 ± 0.42	0.14 ± 0.25	-0.18 ± 0.45	8.670	<0.001	a,b,c>d
L.ES	0.17 ± 0.42	0.14 ± 0.33	0.22 ± 0.28	-0.22 ± 0.46	8.540	<0.001	a,b,c>d

Values are mean ± standard deviation

SF, Shoulder flexion; SF-W, Shoulder flexion with weigh; SE, Shoulder extension; SE-W, Shoulder extension with weight; R.RA, Right rectus abdominis; L.RA, Left rectus abdominis; R.IO, Right internal oblique; L.IO, Left internal oblique; R.ES, Right erector spinae; L.ES, Left erector spinae

Table 3 Movement characteristics of the center of pressure (COP) according to weight at the right shoulder flexion, extension.

	SF(a)	SF-W(b)	SE(c)	SE-W(d)	F	p	post hoc
Ellipse (mm ²)	128.85 ± 68.53	162.85 ± 62.20	113.65 ± 61.06	169.18 ± 67.43	5.078	0.002	a,c<b,d
Length (cm)	28.42 ± 6.34	39.08 ± 9.13	28.91 ± 8.13	39.67 ± 11.97	13.827	<0.001	a,c<b,d
Ave.speed (cm/s)	0.93 ± 0.21	1.29 ± 0.30	0.96 ± 0.27	1.32 ± 0.39	14.405	<0.001	a,c<b,d

Values are mean ± standard deviation

SF, Shoulder flexion; SF-W, Shoulder flexion with weight; SE, Shoulder extension; SE-W, Shoulder extension with weight; Ave.speed, Average of speed

2. 팔 동작시 무게에 따른 COP 이동 특성 비교

팔 운동시 서로 다른 무게에 따른 COP의 이동 특성 모두에서 유의한 차이가 있었으며(p<0.05). COP의 이동면적(ellipse), 이동길이(length), 그리고 평균속도(average of speed)의 값은 무게를 들고 전방 들기와 후방 들기를 하였을 때가 맨손으로 전방 들기와 후방 들기를 하였을 때와 비교에 각각 유의한 큰 것으로 나타냈다(Table 3).

IV. 고 찰

본 연구는 정상 성인 남녀를 대상으로 무게 유무의 변수에 따라 전방과 후상으로의 팔 들기 동작을 통해 자세동요를 유도하여 무게에 따른 각 동작에서 자세조절 및 균형유지에 반응하는 몸통근의 개시시간과 압력중심(COP)의 운동학적 이동특성을 비교하였다.

자세 조절은 안정성과 가동성의 이중목적을 달성해야 하며, 자세가 불안정해지면 신체를 안정화시키기 위해 기저면 내에

COP을 이동시켜 균형을 제어하고자 하는 자세조절 반응이 나타난다. 자세조절 반응은 예측된 흔들림에 대해서 다리와 몸통 근육의 선행적 자세조절을 통해 안정성을 유지되거나,¹⁾ 예측되지 못한 흔들림이 발생했을 때 감각정보에 의존한 반응적 자세 조절을 통해 불안정성의 위험으로부터 안정성을 회복한다.^{2,3,33)} 자세조절은 감각정보통합, 신경계처리, 생체역학적 요인과 함께 근골격계와의 통합적 조절을 요구한다.³⁴⁾ 수직적인 움직임에 따른 인체중심의 불안정 상태는 복잡한 자세 조절 기전을 사용하게 되어 많은 근육들의 사용하게 되고 자세근은 높은 근활성을 나타낸다.³⁵⁾ Commissaris와 Toussaint는³⁶⁾ 물체 들기 시 신체에 주어진 추가적인 질량은 선행적 자세조절과 COP의 특성에 영향을 미치며, 이는 기립 자세에서 질량을 추가한 무게 들기 시 증가된 자세 동요와 이에 따른 불안정성에 대비하여 몸통근에서의 보다 빠른 개시시간과 이에 따른 추가적인 COP의 이동특성을 나타낸다고 하였다.

기존 빠른 팔 들기에 따른 선행적 자세조절에 대한 EMG 연구에서 팔 들기의 개시기준은 앞어깨세모근(anterior deltoid)이었으며, 팔의 움직임이 시작될 때 몸통근과 다리 근육이 선행

적으로 수축하였음을 알 수 있었다.^{37,38,39)} Urquhart 등³¹⁾은 앉은 자세와 선 자세에서 팔 굽힘 시 반대편 몸통 근육에서의 근활성 개시시간을 연구하였는데, 그 결과 앉은 자세보다 선 자세에서 더 빠른 개시시간을 보고하였다. Jung과 Chung³⁹⁾은 수의적인 팔다리 움직임 동안 앉은 자세에서 몸통의 선행적 자세조절에 대해 연구하였는데, 그 결과 어깨 굽힘시 반대측 배속빋근(internal oblique)과 척주세움근(erector spinae)의 선행적 근수축을 확인하였으며, 팔과 다리의 수의적 움직임 시 모두 반대측 몸통 근육의 개시시간이 더 빠른 것으로 보고하였다. 본 연구에서는 무게의 적용 유무에 따라 선자세에서 빠른 팔의 굽힘시 자세근 개시시간을 분석하였으며, 그 결과 맨손으로 팔 전방들기 시 기존 연구와 유사하게 반대측 배곧은근(rectus abdominis)과 척주세움근에서 개시시간이 빠른 것으로 나타났으며, 무게를 가지고 팔 전방들기 시 동측 배곧은근의 개시시간에서 통계적으로 유의하게 빠른 것으로 나타났다. 또한 사지의 전방들기 에서 COP의 이동 특성은 무게를 이용한 들기 시에서 동요의 면적(ellipse), 길이(length), 평균 속도(average of speed) 모두 맨손 들기 시 보다 유의하게 큰 값을 나타냈다.

팔 후방들기에 대한 선행 연구들에서 개시시점은 넓은등근(latissimus dorsi)을 기준으로 하였으며,^{37,40)} 동측 척주세움근에서는 넓은등근보다 지연된 수축을 보였으나 반대측 척주세움근과 양측 배속빋근에서는 넓은등근보다 빠른 개시시간을 보고하였다.⁴¹⁾ 본 연구에서도 선행연구와 동일하게 선자세에서 빠른 팔의 펴기 자세근의 개시시간을 분석하였으며, 그 결과 맨손으로 팔 후방들기 시 반대측 배곧은근, 동측 배속빋근과 척주세움근에서 빠른 개시시간을 나타냈고, 무게를 가지고 팔 후방들기 시 반대측 배속빋근과 척주세움근, 동측 척주세움근에서 맨손 후방들기 보다 유의하게 빠른 개시시간을 보였다. 이는 선행연구에서 동측의 척주세움근의 개시시간이 지연되어 나타났다는 결과와 다르며, 본 연구에서 맨손과 무게 후방들기에서 동측 척주세움근의 개시시간이 상대적으로 빠르게 나타난 이유는 본 연구에서 사용한 팔 흔들기 속도가 Tettamanti 등²⁷⁾의 연구에서 팔을 드는 빠르기로 사용한 4가지 속도 중 가장 빠른 팔 흔들기 속도(1.2Hz)와 1kg의 무게와 함께 적용한 것이 동측 척주세움근의 선행적 안정성의 요구도를 보다 증가시켰기 때문이라 여겨진다. 팔 후방들기 시에도 COP의 이동 특성은 전방들기 시와 유사하게 무게를 이용한 들기 시에서 동요의 면적, 길이, 평균 속도 모두 맨손 들기 시 보다 유의하게 큰 값을 나타냈다.

결론적으로 팔 들기 시 작은 무게의 적용은 COP의 면적, 거리, 속도를 증가시키며 이에 대한 흔들림을 조절하기 위한 선행적 자세 조절을 위한 근활성은 팔 전방들기 시 동측 배곧은근, 팔 후방들기시 동측 척주세움근을 선행적으로 동원하는

전략을 사용한다고 할 수 있다. 따라서 우세 팔 들기 시 무게의 적용은 동측 몸통의 선행적 자세조절의 요구도를 증가시키는 원인이 된다고 판단된다. 이러한 결론은 향후 선행적 자세 조절을 훈련시키기 위한 기능 훈련의 과정에서 수의 운동 과정에 무게를 효과적으로 적용할 필요가 있다는 근거를 제시한다. 본 연구는 선 자세에서 단지 1Kg 무게 적용과 빠른 속도의 팔 흔들림 시 선행적 자세조절의 특성을 알아보았기 때문에 본 연구의 결과가 일상생활에서 요구되는 다양한 팔 과제 활동 시 나타나는 선행적 자세조절의 특성을 일반화할 수 없으며, 향후 다양한 무게와 과제 적용이 선행적 자세조절에 어떠한 영향을 미치는 지에 대한 정량적 연구가 추가적으로 필요할 것이라 사료된다.

References

1. Massion J. Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. *Prog Neurobiol.* 1992; 38(1):35-56.
2. Nashner L, Cordo P. Relation of automatic postural responses and reaction-time voluntary movements of human leg muscles. *Exp Brain Res.* 1981;43(3):395-405.
3. Alexandrov AV, Frolov AA, Horak F, et al. Feedback equilibrium control during human standing. *Biol Cybern.* 2005;93(5):309-22.
4. Bouisset S, Do M. Posture, dynamic stability, and voluntary movement. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology.* 2008;38(6):345-62.
5. Lee W, Michaels C, Pai Y. The organization of torque and EMG activity during bilateral handle pulls by standing humans. *Experimental Brain Research.* 1990;82(2): 304-14.
6. Stapley PJ, Pozzo T, Cheron G, et al. Does the coordination between posture and movement during human whole-body reaching ensure center of mass stabilization? *Exp Brain Res.* 1999;129(1):134-46.
7. Commissaris DA, Toussaint HM, Hirschfeld H. Anticipatory postural adjustments in a bimanual, whole-body lifting task seem not only aimed at minimising anterior-posterior centre of mass displacements. *Gait Posture.* 2001;14(1):44-55.
8. Pozzo T, Ouamer M, Gentil C. Simulating mechanical consequences of voluntary movement upon whole-body equilibrium: the arm-raising paradigm revisited. *Biol Cybern.* 2001;85(1):39-49.
9. Leonard JA, Brown RH, Stapley PJ. Reaching to multiple targets when standing: the spatial organization of

- feedforward postural adjustments. *J Neurophysiol.* 2009;101(4):2120-33.
10. Aruin AS. The organization of anticipatory postural adjustments. *Journal of Automatic control.* 2002;12(1): 31-7.
 11. Aruin AS, Latash ML. Directional specificity of postural muscles in feed-forward postural reactions during fast voluntary arm movements. *Exp Brain Res.* 1995;103(2):323-32.
 12. Aruin AS, Shiratori T, Latash ML. The role of action in postural preparation for loading and unloading in standing subjects. *Exp Brain Res.* 2001;138(4):458-66.
 13. Horak FB, Esselman P, Anderson ME, et al. The effects of movement velocity, mass displaced, and task certainty on associated postural adjustments made by normal and hemiplegic individuals. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1984 Sep;47(9):1020-8.
 14. Bouisset S, Zattara M. Biomechanical study of the programming of anticipatory postural adjustments associated with voluntary movement. *J Biomech.* 1987;20(8):735-42.
 15. Aruin AS, Latash ML. Anticipatory postural adjustments during self-initiated perturbations of different magnitude triggered by a standard motor action. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Electromyography and Motor Control.* 1996;101(6):497-503.
 16. Gantchev GN, Dimitrova DM. Anticipatory postural adjustments associated with arm movements during balancing on unstable support surface. *Int J Psychophysiol.* 1996;22(1):117-22.
 17. Chen B, Lee Y, Aruin AS. Anticipatory and compensatory postural adjustments in conditions of body asymmetry induced by holding an object. *Exp Brain Res.* 2015;233(11):3087-96.
 18. Nam H. Effects of the base of support on anticipatory postural adjustment and postural stability. Dissertation of Master's Degree. 2015.
 19. Adkin AL, Frank JS, Carpenter MG, et al. Fear of falling modifies anticipatory postural control. *Exp Brain Res.* 2002;143(2):160-70.
 20. De Wolf S, Slijper H, Latash M. Anticipatory postural adjustments during self-paced and reaction-time movements. *Exp Brain Res.* 1998;121(1):7-19.
 21. Friedli WG, Hallett M, Simon SR. Postural adjustments associated with rapid voluntary arm movements 1. Electromyographic data. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1984;47(6):611-22.
 22. Crenna P, Frigo C, Massion J, et al. Forward and backward axial synergies in man. *Exp Brain Res.* 1987;65(3): 538-48.
 23. Stapley P, Pozzo T, Grishin A. The role of anticipatory postural adjustments during whole body forward reaching movements. *Neuroreport.* 1998;9(3):395-401.
 24. Oddsson L, Thorstensson A. Fast voluntary trunk flexion movements in standing: motor patterns. *Acta Physiol Scand.* 1987;129(1):93-106.
 25. Oddsson L. Motor patterns of a fast voluntary postural task in man: trunk extension in standing. *Acta Physiologica.* 1989;136(1):47-58.
 26. Massion J. Postural control system. *Curr Opin Neurobiol* 1994;4(6):877-87.
 27. Tettamanti A, Giordano M, Gatti R. Effects of coupled upper limbs movements on postural stabilisation. *J Electromyogr Kinesiol.* 2013;23(5):1222-8.
 28. Hermens HJ, Freriks B, Merletti R, et al. European recommendations for surface electromyography. *Roessingh research and development.* 1999;8(2):13-54.
 29. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, et al. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol.* 2000;10(5):361-74.
 30. Dickstein R, Shefi S, Marcovitz E, et al. Anticipatory postural adjustment in selected trunk muscles in poststroke hemiparetic patients. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85(2):261-7.
 31. Urquhart DM, Hodges PW, Story IH. Postural activity of the abdominal muscles varies between regions of these muscles and between body positions. *Gait Posture.* 2005;22(4):295-301.
 32. Hodges P, Cresswell A, Thorstensson A. Preparatory trunk motion accompanies rapid upper limb movement. *Exp Brain Res.* 1999;124(1):69-79.
 33. Park S, Horak FB, Kuo AD. Postural feedback responses scale with biomechanical constraints in human standing. *Experimental Brain Research.* 2004;154(4):417-27.
 34. Shumway-Cook A, Woollacott MH. *Motor control: theory and practical applications.* : Lippincott Williams & Wilkins;1995.
 35. Aruin AS, Kanekar N, Lee Y, et al. Enhancement of

- anticipatory postural adjustments in older adults as a result of a single session of ball throwing exercise. *Exp Brain Res.* 2015;233(2):649-655.
36. Commissaris DA, Toussaint HM. Anticipatory postural adjustments in a bimanual, whole body lifting task with an object of known weight. *Hum Mov Sci.* 1997; 16(4):407-31.
 37. Esposti R, Limonta E, Esposito F, et al. The role of anticipatory postural adjustments in interlimb coordination of coupled arm movements in the parasagittal plane: III. Difference in the energy cost of postural actions during cyclic flexion-extension arm movements, ISO-and ANTI-directionally coupled. *Hum Mov Sci.* 2013;231(3): 293-303.
 38. Lee W, Buchanan T, Rogers M. Effects of arm acceleration and behavioral conditions on the organization of postural adjustments during arm flexion. *Hum Mov Sci.* 1987; 66(2):257-70.
 39. Jung K, Chung Y. Anticipatory Postural Adjustment in Selected Trunk Muscles Associated With Voluntary Arm and Leg Movement in the Persons With Stroke. *J Korean Soc of Phys Ther.* 2009;16(2):1-8.
 40. Baldissera FG, Esposti R. The role of anticipatory postural adjustments in interlimb coordination of coupled arm movements in the parasagittal plane: II. Postural activities and coupling coordination during cyclic flexion-extension arm movements, ISO-and ANTI-directionally coupled. *Hum Mov Sci.* 2013;229(2):203-19.
 41. Esposti R, Bruttini C, Bolzoni F, et al. Anticipatory Postural Adjustments associated with reaching movements are programmed according to the availability of visual information. *Hum Mov Sci.* 2017:1-12.