

자세동요에 있어 선행적 자세적응이 균형수행력에 미치는 영향

광주보건대학 물리치료과
채 윤 원 · 김 명 훈
한려대학교 물리치료학과
조 병 모

The effect of Anticipatory Postural Adjustment on Balance Performance in Postural Disturbance

Chae, Yun-Won, P.T., M.S. • Kim, Myung-Hoon, P.T., M.S.

Department of Physical Therapy, Kwangju Health College

Cho, Byeong-Mo

Department of Physical Therapy, Hanlyo University

<Abstract>

This study investigated the effect of anticipatory postural adjustment on balance performance in postural disturbance. Any action performed by standing subject is generally accompanied by compensatory postural activities, which reduce or abolish the postural disturbance generated by the movement and keep the subjects' center of gravity within the supporting base. These postural activities are triggered by either anticipatory and feedback postural control. We studied the difference of anticipatory and feedback postural control in postural disturbance. The subjects were standing on a foot plate with eyes closed, holding a load of 5% of their own body weight in their hands. The condition of anticipatory postural adjustment was applied voluntarily releases the a load. The condition of feedback postural control was applied that the load was unpredictably removed. We concluded that anticipatory postural adjustment becomes more efficient to postural performance in postural disturbance.

I. 서 론

특정한 목적을 수행하기 위해 시작되며 의적인 사건에 의해서도 유발될 수 있는 수의적 움직임(voluntary movement)은 신체를 방해하는 환경적 장애를 수정하고 미리 신체를 준비시킴으로써 움직임을 증진시킨다

(Kandel 등, 2000). 인간은 외부의 동요에 대한 수의적 움직임을 수정하기 위해 감각신호를 감지하여 자기 자체에 대해 바로 작용하는 정보를 사용하는 피드백 조절(feedback control)과 긴박한 동요를 감지하고 경험에 근거한 순향적 전략(proactive strategies)을 시작하는 선행적 형태(anticipatory mode)인 피드포워드 조절(feed-forward control)을 사용한다(Cordo와 Nashner, 1982 ;

Brown & Frank, 1987; Crenna 등, 1987; Massion, 1992; Aruin, 1995a,b; Kandal 등, 2000).

피드백 조절은 출력(output)을 조절하기 위해 감각기로부터의 신호와 기준신호(reference signal)를 비교하여 오차신호(error signal)를 만들어내는데 이러한 오차는 즉시 출력에서의 보상적 변화를 만들어낸다. 이러한 시스템은 닫힌고리(closed loop)를 형성하기 때문에 피드백 시스템 자체의 출력은 기준신호를 변화시킴으로서 변경될 수 있다. 피드포워드 조절은 어떤 동요에 앞서 작용하는데 피드포워드 감각신호가 반응의 타이밍에 직접적으로 영향을 미치지 않는다는 것을 강조하기 위해 흔히 이러한 형태의 조절을 열린고리(open loop)로서 언급된다(강두희, 1992; Kandal 등, 2000). 그러나 이러한 방법으로 조절된 동작이 감각신호에 독립적이라고 제안하기 때문에 용어가 다소 오해될 수 있다. 사실 피드포워드 조절은 정확하게 작동하기 위해 경험은 물론 감각기로부터의 정보에 크게 의존해야 하며 이러한 반응은 예상되는 동요에 앞서 중추신경계에 의해 생성되므로 선행적 자세적응(anticipatory postural adjustment)으로 명명되어진다(Aruin, 1995a).

성인이 사람을 잘 다루는 것은 유년시절부터 신경계가 효율적으로 감각정보를 모니터하였기 때문에 습득된 운동 기술이다. 이러한 감각정보는 내적 신경 표상(internal neural representation)의 상태로 저장되고 통합되었다가 유사한 상황이 발생하게 되면 적절한 운동 프로그램으로 바뀌게 되어 특정한 과제를 수행하게 된다(Gordon, 1992; Schmitz 등, 1999). 따라서 수의적 움직임을 수행할 때 자세의 안정성을 확보할 수 있는 것은 다가오는 동요를 내적으로 나타내기 위한 능력의 발달을 통해 스스로 유발된 동요에 대한 반응으로 발생하는 피드백에 근거한 자세수정(feedback-based postural correction)이 선행적 자세수정(anticipatory postural correction)으로 변화함으로써 습득된다(Hass 등, 1989).

빠른 수의적 움직임을 수행하는 과제와 중력의 영역내에서 평형이나 자세를 유지해야 하는 과제가 동시에 수행될 때 특정 근육의 활성화는 물론 협응된 자세활동으로 예상되는 동요를 상쇄하기 위해 자세근육의 조절을 사용한다(Crenna 등, 1987; Aruin와 Latash, 1995a,b; Hay와 Redon, 1999; Wolf 등, 1999). 빠른 동작의 움직임은 자세동요를 유발한다. 특히 서있는 사람이 빠른 동작의 수의적 팔운동을 수행할 때 역동적 팔의 움직임을 통해 연계된 신체의 다른 관절로의 역동적 힘과 토크의 이동

을 유발하여 중력중심의 변화를 만들어 내기 때문에 자세평형의 변화에 의한 자세동요가 생기게 된다(Friedli 등, 1988; Aruin, 1995a). 그러나 느린 움직임은 대개 선행적 자세적응을 수반하지 않는다. 선행적 자세적응에서의 차이는 빨리 움직이는 능력과 선행적 자세적응의 중추기전에서의 차이를 반영한다(Massion, 1992; Rogers와 Pai, 1990; Aruin와 Latash, 1995a,b).

운동수행에 기초를 이루는 전반적인 전략에서 자세조절은 수의적 움직임으로부터 오는 균형의 동요를 최소화하기 위한 것이다(Crenna 등, 1987; Biryukova 등, 1999; Wolf 등, 1999). 균형의 동요가 수의적 움직임에 의해 유발될 때 피드백 자세수정과 선행적 자세수정을 사용하여 균형은 조절된다(Biryukova 등, 1999). 피드백 자세조절은 예측할 수 없는 상황에서 외적으로 유발된 자세동요에 대해 균형을 유지하는데 유용하다(Hay와 Redon, 1999). 그러나 대상자가 예측할 수 있는 상황에서 외적으로 유발된 자세동요를 대처할 때 피드포워드 조절은 부족하나 방해가 자기 자신의 움직임에 의해 직접적으로 유발될 때는 분명하게 작용한다고 보고하였다(Dufosse 등, 1985; Struppler 등, 1993; Aruin, 1995b). 이러한 경우 피드포워드 조절이 스스로 유발된 동요(self-induced disturbance) 이전에 발생하므로 선행적 자세적응이라고 부르며 이러한 피드포워드 조절은 피드백조절을 배제하지는 않는다(Crenna 등, 1987).

이전의 연구자들은 국소 부위의 움직임에 대한 선행적 자세적응의 연구를 위해 양손의 부하 들어올리기 과제(bimanual load-lifting task)를 수행하였을 때 자세전완(postural forearm)의 변화를 보았다(Cordo & Nashner, 1982; Hugon 등, 1982; Dufosse 등, 1985; Massion 등, 1999; Biryukova 등, 1999; Schmitz 등, 1999). Hugon 등(1982)은 수동적 부하제거와 능동적 부하제거시 자세전완의 근전도 활성을 비교하였는데 능동적 부하제거가 역학적 동요(mechanical perturbation)에 대해 전완을 안정시키는 선행적 적응을 만들어 냈다고 보고하였다. 이러한 선행적 적응은 부하를 들어올리는 전완의 굴곡근 활성화시 자세전완 굴곡근의 선행적 비활성(anticipatory deactivation)이 동시에 작용하기 때문에 자세전완의 부하제거에 의한 역학적 동요는 발생하지 않는다고 하였다. 그러나 Dufosse 등(1985)은 부하제거의 시점을 미리 예측할 수 있는 상황이라도 선행적 자세적응은 나타나지 않으며 반대측 손에 의한 직접적인 자세전완의 수의적 부하제거만이 선행적 자세적응을 보인다고 하였다.

Schmitz 등(1999)은 이러한 자세적용이 3-5세의 유아기 동안에 습득된다고 하였다.

Lee 등(1987) 그리고 Aruin과 Latash(1995a)는 전완보다 좀더 큰 분절인 전관절의 움직임에 의하여 자세근육의 근전도 활성을 연구하였다. 전관절의 빠른 수의적 움직임에 의해 신체의 무게중심이 지지면 내에서 이동하게 되므로 자세동요가 발생하게 되는데 이러한 자세동요에 대해 자세근육들은 선행적 자세적용을 통해 균형을 유지하게 된다고 하였다.

이제까지의 연구에서 고찰해보면 선행적 자세적용을 연구하기 위해 양손의 부하 들어올리기 과제를 수행하여 자세전완의 선행적 적응을 보았으며 좀더 나아가 자세근육의 선행적 적응을 보기 위해 수의적인 빠른 팔운동을 이용하여 연구하였다. 수의적인 빠른 팔 운동에 의해 유발된 자세동요의 연구는 자세근육의 근전도 활성의 시간 차이나 동원순서에 그 의미가 있었으며 스스로 유발된 자세동요에 대해서만 언급하였을 뿐 외적으로 유발된 자세동요와는 비교하지 않은 단점이 있었다. 따라서 본 연구에서는 스스로 시작된 부하제거와 외적으로 강요된 부하제거에 의한 자세동요가 균형수행력의 변화에 미치는 영향을 연구하기 위해 90도 굴곡된 전완자세에서 체중의 5%가 되는 부하를 떨어뜨리는 실험을 실시하였으며 부하의 제거에 의해 유발된 자세 동요에 대해 신체는 균형을 유지하려고 한다. 자세방해를 유발하기 위해 대상자 스스로 시작된 부하제거(self-initiated unloading)와 검사자에 의해 외적으로 강요된 부하제거(externally imposed unloading) 방법을 사용한다. 대상자에 의해 시작된 부하제거는 앞으로 있을 자세방해에 대해 신체가 미리 자세근육을 준비시키는 선행적 자세조절을 유발하게 된다. 그리고 선행적 자세조절의 기여를 배제하기 위해 검사자에 의해 외적으로 강요된 부하제거는 사전 예고 없이 실시하여 피드백 조절에 의한 자세조절을 수행하게 된다. 실험의 순서는 외적으로 유발된 부하제거 후에 스스로 시작된 부하제거의 순으로 하였다. 이는 외적으로 강요된 자세동요에 대해 피드백에 근거한 자세수정을 유발하게 되어 스스로 시작된 부하제거시 선행적 자세수정으로 변화시키기 위해서이다. 대상자가 부하를 제거함으로써 중력중심은 뒤쪽으로 이동하게 되며 이러한 중력중심의 이동에 따른 자세 불균형을 막기 위해 자세 근육들은 빠르게 수축하게 된다.

본 연구의 목적은 정상 성인을 대상으로 스스로 시작된 부하제거와 외적으로 강요된 부하제거의 효과 차이를

연구하기 위한 것이다. 따라서 선행적 자세적용과 피드백 조절은 균형 중심(center of balance, COB)의 변화를 비교함으로써 검사된다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

광주보건대학 물리치료과에 다니는 여학생 24명을 대상으로 실시하였다. 대상자들은 신경학적 손상과 정형외과적 손상에 대한 병력이 없으며 실험을 실시하기 전 1개월 이내에 무리한 운동을 하지 않은 정상 성인을 대상으로 하였다. 대상자의 일반적 특성은 Table 1에 제시되었다.

Table 1. Characteristics of subjects (n = 24)

Age(yrs)	Weight(kg)	Height(cm)
20.08±0.72	50.29±3.63	159.24±3.05

2. 연구재료

균형 중심의 변화는 평형력 측정장치(Dynamic Balance System, Chattanooga Group, Inc, P.N. 53348 Rev. B 12/96)를 이용하여 측정하였다. 이 장치는 전후 직선 이동과 전후 기울림이 가능한 힙판과 중족골두와 발뒤꿈치에 수직으로 작용하는 힘을 측정할 수 있는 2개의 발판이 있으며 화면으로 처리되는 컴퓨터와 연결되어 있다. 균형 중심은 중족골두와 발뒤꿈치 사이의 지점으로 체중의 25%인 곳으로 표시되며 균형 중심의 좌우 이동에 따라 COBX의 값이 변하고 전후 이동에 따라 COBY의 값이 변하게 되어 있다. 무게중심점이 좌우와 전후로 이동한 거리는 흔들림 거리(sway distance)로 표시하며 왼쪽으로 이동한 최대 이동 거리와 오른쪽으로 이동한 최대 거리를 합하여 계산하고 발가락과 발뒤꿈치 쪽으로 최대로 이동한 거리를 측정하였다. 무게중심점의 변화는 1msec 단위로 측정된다.

3. 연구방법

연구대상자는 평형력 측정장치의 힙판 위에 있는 발판에 올라선다. 실험을 하는 동안 기립자세를 취해야 하며 발을 떼는 일이 없도록 주의를 주었다. 눈을 감은채 똑바

로 서있고 전원은 시상면 내에서 90도 굴곡된 상태에 위치시킨다. 체중의 5%에 해당하는 무게를 손잡이가 달린 줄에 연결하여 대상자가 잡고 있게 한다. 스스로 시작된 부하제거를 위해 양손에 잡고 있는 손잡이를 놓게 되며, 외적으로 강요된 부하제거를 위해 검사자가 가위로 손잡이 밑의 줄을 자르게 된다. 떨어지는 무게에 의한 진동이 균형중심의 측정에 영향을 치밀 수 있으므로 손잡이 밑에 또 다른 줄을 연결하여 기계 옆에 있는 기둥에 고정함으로써 힘판의 부가적 진동을 제거하였다. 실험은 500msec 동안 실시하였고 부하제거 100msec 전과 부하제거 후 2msec 동안인 300msec 동안 자료를 수집하였다.

4. 자료처리

자료처리는 SPSS 7.5 for Win을 이용하여 대상자의 일반적 특성은 평균을 제시하였고 스스로 시작된 부하제거와 외적으로 강요된 부하제거로 나타난 균형중심의 수치를 비교하기 위해 t-test를 이용하였으며 각대상자의 균형중심의 변화를 평균화하여 그래프로 제시하였다.

III. 결 과

1. 좌·우측 발가락과 발뒤꿈치에서의 힘의 이동

각각의 대상자는 발판의 발가락판(toe plate)과 발뒤꿈치판(heel plate)에 있는 중앙선에 맞추어 선다. 부하제거 전 100msec를 기준선으로 제시하였고 부하제거 후 200msec 동안의 힘의 이동을 파악하였다. 24명에 대한 힘의 이동은 평균화하여 그림 1, 그림 2, 그림 3, 그리고 그림 4에 제시하였다. 그림 1과 그림 3은 외적으로 강요된 부하제거에 의한 피드백 자세조절시 발가락과 발뒤꿈치에서 받게 되는 힘의 이동을 보여주고 있다. 그림 2와 그림 4는 스스로 시작된 부하제거에 의한 선행적 자세적응시 발가락과 발뒤꿈치에서 받게 되는 힘의 이동을 보여주고 있다. 그림 2와 그림 4에서 보여주듯이 선행적 자세적응시에 발가락과 발뒤꿈치에서 받는 힘의 이동이 적다는 것을 알 수 있다. 그림 1과 그림 3에서 보여주듯이 피드백 자세조절시 발가락과 발뒤꿈치에서 받는 힘의 이동이 큰 것을 알 수 있다. 이것은 스스로 시작된 부하제거시에 유발된 선행적 자세적응이 외적으로 강요된 부하제거시에 나타난 피드백 자세조절보다 균형유지에 더 크게 기여하고 있음을 알 수 있다.

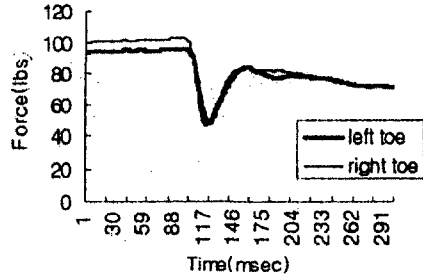


Fig 1. Changes in the force of toe during externally imposed unloading.

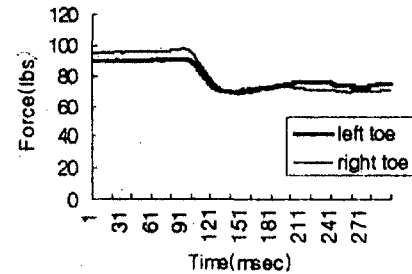


Fig 2. Changes in the force of toe during self-initiated unloading.

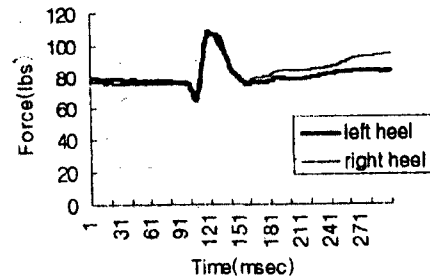


Fig 3. Changes in the force of heel during externally imposed unloading.

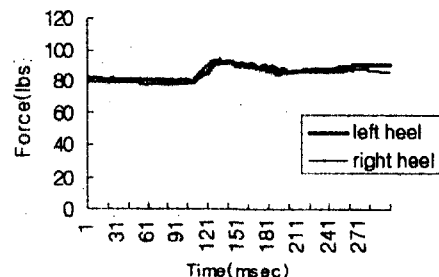


Fig 4. Changes in the force of hell during self-initiated unloading.

Table 2. Comparison of externally imposed unloading and self-initiated unloading on COB and Sway Index (n = 24)

	Externally imposed unloading	self-initiated unloading	t-value
COBX(%)	1.60±6.55	-0.89±6.46	-2.39*
COBY(%)	-0.97±18.69	-6.29±19.47	-2.08*
COBX(cm)	0.15±0.72	-0.16±0.71	-2.41*
COBY(cm)	-0.10±1.21	-0.39±1.27	-2.23*
sway index(%)	18.96±5.68	12.92±5.37	-3.98*
sway index(cm)	1.32±0.40	0.93±0.45	-3.25*

Values are given as mean and standard deviation
*p<0.05,

Table 3. Comparison of externally imposed unloading and self-initiated unloading on Anterior-Posterior Sway Index (n = 24)

	Externally imposed unloading	self-initiated unloading	t-value
ant-post sway(cm)	5.25±1.64	2.99±1.07	-6.12*
max ant. sway(cm)	2.02±1.55	1.11±1.33	-3.01*
max post. sway(cm)	3.19±1.39	1.88±1.53	-4.89*

Values are given as mean and standard deviation
*p<0.05

Table 4. Comparison of externally imposed unloading and self-initiated unloading on Left-Right Sway Index (n = 24)

	Externally imposed unloading	self-initiated unloading	t-value
left-right sway(cm)	2.63±1.29	1.79±1.37	-2.45*
max left sway(cm)	1.74±2.58	1.06±1.12	-1.21
max right sway(cm)	1.42±1.15	0.85±1.12	-2.38*

Values are given as mean and standard deviation
*p<0.05

2. 균형 중심(COB)과 흔들림 지수(sway index)의 변화

균형 중심의 X축의 변화는 외적으로 강요된 부하제거 시와 스스로 시작된 부하제거에 각각 1.60±6.55%와 -0.89±6.46%, 그리고 0.15±0.72cm와 -0.16±0.71cm를 보였으며 Y축의 변화는 -0.97±18.69%와 -6.29±19.47% 그리고 -0.10±1.21cm와 -0.39±1.27cm를 보였다. 이들은 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(p<0.05). 흔들림 지수의 변화는 외적으로 강요된 부하제거시와 스스로 시작된 부하제거시에 각각 18.96±5.68%와 12.92±5.37%, 그리고 1.32±0.40cm와 0.93±0.45cm를 보였다. 이들은 통계학적으로 유의한 차이가 있었다(p<0.05). 위의 결과로 스스로 시작된 부하제거에 의한 선행적 자세적응에서

균형중심과 흔들림 지수의 변화가 적다는 것을 알 수 있다(Table 2).

3. 전후방 흔들림 변화

전후방 흔들림에 대한 외적으로 강요된 부하제거와 스스로 시작된 부하제거시의 전후방 흔들림 변화는 각각 5.25±1.64cm와 2.99±1.07cm로 통계학적으로 유의한 차이가 있으며(p<0.05), 최대 전방 흔들림은 2.02±1.55cm와 1.11±1.33cm이고 최대 후방 흔들림은 3.19±1.39cm와 1.88±1.53cm로 또한 통계학적 유의한 차이가 있다(p<0.05). 이는 피드백 자세조절보다 선행적 자세적응이 전후방 균형 흔들림에 미치는 영향이 적다는 것을 알 수 있다(Table 3).

4. 좌우측 흔들림

좌우측 흔들림에 대한 외적으로 강요된 부하제거와 스스로 시작된 부하제거는 각각 $2.63 \pm 1.29\text{cm}$ 와 $1.79 \pm 1.37\text{cm}$ 이 나왔으며 최대 좌측 흔들림은 $1.74 \pm 2.58\text{cm}$ 와 $1.06 \pm 1.12\text{cm}$ 이며 최대 우측 흔들림은 $1.42 \pm 1.15\text{cm}$ 와 $0.85 \pm 1.12\text{cm}$ 으로 나왔다. 이는 최대 좌측 흔들림을 제외하고는 통계학적으로 유의한 차이가 있으며($p < 0.05$), 피드백 자세조절보다 선행적 자세적용시 좌우측 흔들림이 더 적다는 것을 알 수 있다(Table 4).

IV. 고찰

본 연구의 결과에서 자세동요의 원인이 부하제거가 외적으로 강요되었을 때 보다 스스로 시작되었을 때가 더 적은 힘의 이동을 볼 수 있었으며 스스로 시작된 부하제거시에 선행적 자세적용이 관여한다는 것을 알 수 있었다.

스스로 시작된 부하제거시에 수행된 동작은 단지 손가락을 펴는 움직임만이 있었다. 이러한 최소한의 동작을 수행할 때도 선행적 자세조절이 관여한다면 균형수행력에 대한 자세동요를 최소화시킬 수 있었다. 반대측 손가락으로 제동장치를 누름으로써 부하가 제거될 때 자세과제(postural task)를 수행하는 팔에서의 선행적 자세적용은 관찰되는 않는다는 Dufosse 등(1985)에 의한 결론과는 반대된다. Struppler 등(1993)은 자세동요가 대상자에 의한 어떠한 운동 동작 없이 실험자에 의해 자세동요가 유발되고 부하제거의 시점을 대상자가 예측 할 수 있는 상황에서도 선행적 자세적용은 불충분하다고 제안했고 자세동요와 관계되지 않는 부위의 국소 움직임과 실험자의 외부 신호(external cue)가 동시에 주어진다면 선행적 자세적용은 발생한다고 하였다. 그러나 본 연구에서 대상자의 국소 움직임에 의해 스스로 시작된 부하제거와 국소 움직임 없이 실험자에 의해 외적으로 강요된 부하제거 두가지만 실험하였기 때문에 Struppler 등(1993)과의 비교는 할 수 없다는 단점이 있다. Aruin과 Latash(1995b)는 기립자세에서 견관절을 90도 굽곡시킨 상태에서 양손 사이에 고무풍선을 위치시키고 그 풍선에 2.2kg의 부하를 연결하여 대상자의 빠른 외전 동작에 의한 부하제거와 실험자가 풍선을 터뜨림으로 생기는 부하가 제거되는 방법을 이용하여 선행적 자세적용에 있어 운동 동작의 역할을 연구하였다. 대상자의 빠른 외전에 의한 부하제거는 대상자로 하여금 선행적 자세적용을 유발하

기 때문에 더 적은 자세동요를 일으켰다는 보고하였다. Aruin과 Latash(1995b)의 연구결과는 본 연구의 결과와 유사하였다. 그러나 본 연구에서는 손가락의 국소 움직임을 이용하였고 Aruin과 Latash(1995b)는 견관절의 외전을 위해 큰 근육이 사용되었다는 차이점이 있다.

수의적 움직임을 수행할 때 신체는 균형을 위해 지면 내에서 무게중심을 유지하고 있어야 한다. 서있는 사람이 빠른 동작의 수의적 팔운동을 수행할 때 역동적 팔의 움직임을 통해 연체된 신체의 다른 관절로의 역동적 힘과 토크의 이동을 유발하여 무게중심의 변화를 만들어 내기 때문에 자세평형의 변화에 의한 자세방해가 생기게 된다(Friedli 등, 1988; Aruin과 Larash, 1995a). Toussaint 등(1998)은 근수행과 피드백 사이에는 지연된 긴시간이 필요하므로 빠르고 부드러운 정확한 움직임의 실행은 운동 출력의 선행적 적용에 의존한다고 생각했다. 본 연구에서처럼 들고 있던 부하를 갑자기 실험자에 의해 외부에서 제거되었을 때 주관절에서는 각운동을 유발하게 된다. 이런 각운동에 의해 유발되는 무게중심의 변화에 의해 자세동요가 발생하게 된다. 그러나 스스로 부하를 제거하였을 때에는 선행적 자세적용에 의해 주관절에서의 각운동이 일어나지 않기 때문에 무게중심의 변화가 그다지 크게 일어나지 않았다. 이러한 결과는 Hugon 등(1982), Dufosse 등(1985), Aruin과 Latash(1995b), 그리고 Hay와 Redon(1999)의 연구와 유사했다.

V. 결론

정상 성인 24명을 대상으로 자세동요에 대한 선행적 자세적용이 균형수행력에 미치는 영향을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 좌·우측 발가락과 발뒤꿈에서의 힘의 이동은 스스로 시작된 부하제거시에 더 적었다.
2. 균형 중심과 흔들림 지수의 변화는 스스로 시작된 부하제거시에 더 적었다($p < 0.05$).
3. 전후방 흔들림 변화는 스스로 시작된 부하제거시에 더 적었다($p < 0.05$).
4. 좌우측 흔들림 변화는 스스로 시작된 부하제거시에 더 적었다($p < 0.05$).

이상의 결과에서 부하제거에 의한 자세동요시 선행적 자세적용에 의한 스스로 시작된 부하제거가 피드백 자세조절에 의한 외적으로 강요된 부하제거시 보다 균형수행력이 더 좋았다는 것을 알 수 있었다.

<참 고 문 헌>

- 강두희 : 생리학. ed 4, 서울, 신광출판사, 1992.
- Aruin AS, Latash ML : Directional specificity of postural muscle in feed-forward postural reactions during fast voluntary arm movement, *Exp Brain Res* 103 : 323-332. 1995a.
- Aruin AS, Latash ML : The role of motor action in anticipatory postural adjustments studied with self-induced and externally triggered perturbations, *Exp Brain Res* 106 : 291-300. 1995b.
- Biryukova EV, Roschin VY, Frolov AA et al : Forearm postural control during unloading : anticipatory changes in elbow stiffness, *Exp Brain Res* 124 : 104-117, 1999.
- Brown JE, Frank FS : Influence of event anticipation of postural actions accompanying voluntary movement, *Exp Brain Res* 67 : 645-650, 1987.
- Cordo PJ, Nashner LM : Properties of postural adjustments associated with rapid arm movement, *J Neurophysiol* 47 : 287-302, 1982.
- Crenna P, Frigo C, Massion J et al : Forward and backward axial synergies in man, *Exp Brain Res* 65 : 538-548, 1987.
- Dufosse M, Hugon M, Massion J : Postural forearm changes induced by predictable in time or voluntary triggered unloading in man, *Exp Brain Res* 60 : 330-334, 1985.
- Friedli WG, Hallett M, Simon SR : Postural adjustments associated with rapid voluntary arm movement. II. Biomechanical data, *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 47 : 611-622, 1988.
- Gordon AM : Development of anticipatory control mechanisms for manipulation, *Med Sport Sci* 36 : 130-136, 1992.
- Hass G, Diener HC, Rapp H et al : Development of feedback and feedforward control of upright stance, *Dev Med Child Neurol* 31(4) : 481-488, 1989.
- Hay L, Redon C : Feedforward versus feedback control in children and adults subjected to a postural disturbance, *Exp Brain Res* 125 : 153-162, 1999.
- Hugon M, Massion J, Wiesendanger M : Anticipatory postural changes induced by active unloading and comparison with passive unloading in man, *Pflugers Arch* 393 : 292-296, 1982.
- Toussaint HM, Michies YM, Faber MN et al : Scaling anticipatory postural adjustments dependent on confidence of load estimation in a bi-manual whole-body lifting task, *Exp Brain Res* 120 : 85-94, 1998.
- Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM : Principles of Neural Science, ed 4, New York, McGraw-Hill, 2000, p 654-658.
- Lee WA, Buchanan TS, Rogers MW : Effects of acceleration and behavioral conditions on the organization of postural adjustments during arm flexion, *Exp Brain Res* 66 : 257-270, 1987.
- Massion J : Movement, posture and equilibrium : interaction and coordination, *Prog Neurobiol* 38 : 35-56, 1992.
- Massion J, Ioffe M, Schmitz C et al : Acquisition of anticipatory postural adjustments in a bimanual load-lifting task : normal and pathological aspects, *Exp Brain Res* 128 : 229-235, 1999.
- Rogers MW, Pai Y-C : Dynamic transitions in stance support accompanying leg flexion movements in man, *Exp Brain Res* 81 : 398-402, 1990.
- Schmitz C, Martin Nicolas, Assaiante C : Development of anticipatory postural adjustments in a bimanual load-lifting task in children, *Exp Brain Res* 126 : 200-204, 1999.
- Struppler A, Gerilovsky L, Jakob C : Self generated rapid taps directed to the opposite forearm in man : anticipatory reduction in the muscle activity of the target arm, *Neurosci Lett* 159 : 115-118, 1993.
- Wolf SD, Slijper H, Latash ML : Anticipatory postural adjustments during self-paced and reaction-time movements, *Exp Brain Res* 121 : 7-19, 1999.