한국전문물리치료학회지 제 15권 제 1호
PTK Vol. 15 No. 1 2008

바로 선 자세에서 발목과 무릎관절의 고정이 자세안정성에 미치는 영향

황수진
연세대학교 대학원 재활학과
우영근
안동과학대학 물리치료과
전혜선
연세대학교 보건과학대학 물리치료학과

Abstract

Effects of Immobilization of the Ankle and Knee Joints on Postural Stability in Standing

Su-jin Hwang, M.Sc., P.T.
Dept. of Rehabilitation Therapy, The Graduate School, Yonsei University
Young-keun Woo, M.Sc., P.T.
Dept. of Physical Therapy, Andong Science College
Hye-seon Jeon, Ph.D., P.T.
Dept. of Physical Therapy, College of Health Science, Yonsei University

This study was designed to examine the effects of temporary immobilization of the ankle and knee joints on standing in healthy young adults with the use of a postural control mechanism. The subjects were twenty-four college students (12 males and 12 females, aged between 20 and 28). A Biodex balance system SD 950-302 and its software were used to measure indirect balance parameters in standing. Each subject underwent postural stability tests in 4-different joint conditions: free joints, ankle immobilization only, knee immobilization only, and ankle and knee immobilization. In addition, the postural stability test was conducted once with the subject's eyes open and once with the eyes closed conditions. For data analysis of the postural stability tests, the overall stability index, antero-posterior stability index, and medio-lateral stability index were recorded. The overall stability index (p=.000) and medial-lateral index (p=.003) were significantly greater different conditions with eyes closed in postural stability. Therefore, the eyes closed condition is expected to be used as an effective postural stability training for treatment planning in patients with unstable postures. In addition, training based on the dynamic multi-segment model can improve postural stability and is available to therapeutic programs, helping people with unstable balance to reduce their risk of falling.

Key Words: Biomechanical constraint; Immobilization; Postural stability.

Ⅰ. 서론

일반적으로 자세(posture)란 정상적인 균형을 위한 필수적인 요소이며, 인체의 각 부분들의 인체역학적 정렬(alignment) 또는 환경 내에서 인체의 위치(orientation)를 뜻한다(Shumway-Cook과 Woollacoot, 2006). 균형(balance)이란 정지되어있거나 움직이는 동안 기저면(base of support)에 대해 인체의 무게중심(center of mass)을 유지하도록 조절하는 과정을 의미한다(Rose, 2003). 예를 들어 정지된 바로 선 자세를 유지하는 동안 인체의 무게중심

통신저자: 전혜선 hyeseonj@yonsei.ac.kr

을 기저면 범위 내에 유지하기 위해서는 여러 근육군의 적절한 수축뿐만 아니라 중추·말초 신경계의 조절이 필요하다. 또한, 갑작스런 균형상실로부터 넘어짐과 그로 인해 유발되는 손상들을 방지하기 위해서는 균형을 회복할 수 있는 능력이 필요하다. 균형회복은 주위환경에 대한 적절한 자세반응의 선택여부에 달려있으며(Jacobs과 Horak, 2007), 인체(individual), 주어지는 과제(task), 그리고 자세에 대한 환경적인 제한(environmental constraints)의 복잡한 상호작용으로 이루어진다(Shumway-Cook과 Woollacoot, 2006). 이러한 균형에 영향을 주는 요인은 근골격계 요소(musculoskeletal components), 신경근 연접(neuromuscular synergies), 개개의 감각계(individual sensory systems), 감각 전략(sensory strategies), 선행기전(anticipatory mechanisms), 적응기전(adaptive mechanisms), 그리고 내적 재현(internal representation)등이 있다(Shumway-Cook과 Woollacoot, 2006).

다양한 말초입력은 자세조절을 위한 기준(frame of reference)을 제공하며, 중추신경계는 서로 다른 말초입력들을 통합하여 자세를 조절한다(Horak 2006; Shumway-Cook과 Woollacoot, 2006). 시각(visual), 체성감각 (somatosensory), 그리고 전정계(vestibular systems)에서 들어오는 말초입력은 중력과 환경에 대한 신체의 위치와 움직임을 감지하여, 자세조절을 위해 가장 필수적인 정보들을 중추신경계에 제공한다. 건강한 성인의 경우, 지지면과 기타 환경적 요소들이 안정적인 상황에서 자세조절을 위한 체성감각정보, 시각정보, 전정계정보의 의존율은 각각 70%, 10%, 20%이다(Peterka, 2002). 그러나 불안정한 지지면 위에 서 있으면, 자세안정성 조절을 위한 체성감각입력에 대한 의존율은 감소하고 전정계와 시각정보에 의존율은 증가하게 된다. 따라서 안정적인 자세를 유지하기 위해서 중추신경계는 말초입력을 통합하여 수행하고자 하는 동작과 자세의 목적과 환경적인 제한에 적합한 운동전략을 선택하여 실행하게 된다(Shumway-Cook과 Woollacoot, 2006; Horak 등, 1997).

건강한 성인은 외부자극에 동요(perturbations)되기 전에 먼저 적절한 자세반응전략(postural response strategy)을 선택한다(Jacobs과 Horak, 2007). 바로 선 자세를 안정적으로 유지하기 위해서는 전후안정성(anteroposterior stability), 내외안정성(mediolateral stability), 그리고 다방향안정성(multidirectional stability)이 요구된다. 전후안정성을 유지하기 위한 운동전략은 크게 발목관절전략(ankle strategy), 엉덩관절전략(hip strategy), 그리고 발디딤전략(stepping strategy)으로 구분된다(Shumway-Cook과 Woollacoot, 2006). 발목관절전략은 균형에 대한 동요가 작고 지지면이 안정되었을 때 사용되는 전략으로 발목관절로부터 발생된 움직임이 근위로 이동하면서 자세안정성 유지에 기여한다. 엉덩관절전략은 발목관절전략에 비해 더 크고 빠른 동요가 주어지거나 지지면이 불안정하거나, 지지면과 기저면의 면적이 발바닥보다 작을 때 주로 사용되어지는데, 엉덩관절의 보다 크고 빠른 움직임을 통해 무게중심점을 조절하는 전략이다. 그리고 발디딤 전략은 발목관절전략이나 엉덩관절전략을 통해 자세안정성을 유지할 수 없을 정도로 심한 동요 상황에서 사용하는 전략으로 발걸음을 옮겨 기저면을 변화시켜 무게중심점을 기저면 내로 재배열시키는 전략이다(Horak과 Nashner, 1986; Runge 등, 1999).

바로 선 자세에서 지지하고 있는 발판(platform)이 뒤로 기울어지면, 이 때 비교적 동요가 작은 경우에는 넙치근, 슬괵근, 그리고 척추기립근의 순으로 근육이 수축하여 몸을 앞으로 기울이게 되는 발목관절전략을 사용한다. 발목관절전략에서 넙치근은 저측굴곡(plantarflexion) 토크를 생산하여 몸을 앞으로 기울이고 슬괵근과 척추기립근은 신전된 자세를 유지한다. 지지하고 있는 발판이 후방으로 좀더 기울어지거나 기저면의 면적이 발바닥보다 작으면 복근(abdominalis)에서 대퇴사두근(quadriceps)으로 이어지는 근수축에 의해 몸을 앞으로 기울이는 엉덩관절전략을 사용하는데, 이때 발목관절에서는 뚜렷한 근활성이 나타나지 않는다(Horak과 Nashner, 1986; Shumway-Cook과 Woollacoot, 2006). 전정계 기능부전 환자들의 경우 좁은 지지면 위에서 균형을 유지할 때 효과적인 평형조절을 위하여 요구되는 엉덩관절전략을 효과적으로 사용하지 못한다. 또한, 말초신경병(peripheral neuropathy) 혹은 하지 허혈(ischemic leg cuffs)이 있는 환자들은 하지로부터 들어오는 체성감각이 손상되어 효과적으로 발목관절전략을 사용하지 못하고 엉덩관절전략 혹은 발디딤 전략을 사용한다(Horak 등, 1997).

Freeman과 Wyke (1967)에 의하면 발목관절 인대와 관절낭 안에 존재하는 기계수용기(mechanoreceptors)로부터 들어오는 구심성 입력의 결함은 자세조절 이상을 초래할 수 있다. 이러한 운동감각(kinesthesia)과 관절위치감각(joint position sense) 등의 고유수용성 정보 지각의 어려움은 만성 발목관절불안정(chronic ankle instability, CAI) 환자들에서 나타나는 특징 중 하나이다. Riemann (2002)은 CAI 환자의 경우는 자세안정성을 유지하기 위하여, 정상인에 비해 엉덩관절전략에 대

한 의존도가 높은 변경된 자세전략을 사용한다고 하였다. 또한 전십자인대손상(ACL injury) 환자(Fitzgerald, 1997)나 뇌졸중(stroke) 환자(Brunt 등, 1995)의 기능적 재활프로그램에서는 무릎관절의 동적안정성(dynamic stability)을 개선하는데 중점을 두고 있다(Madhavan과 Shields, 2007). 그러나 선행연구들은 정상인과 기능제한, 활동제한 등의 다양한 장애를 가진 대상자에게 갑자기 가해지는 지지면의 경사나 움직임 등의 외부 동요에 대한 반응 유형의 차이를 알아보기 위한 것이 대부분이다. 뻣뻣함(stiffness), 강직, 기타 정형외과적 관절고정 등으로 인한 하지 관절가동범위 제한이 바로 선 자세의 유지를 위한 자세전략에 어떤 영향을 미치는지에 관한 연구는 미비한 상황이다.

따라서 본 연구는 향후 다양한 원인으로 인해 하지 관절의 관절가동범위의 제한을 가진 환자들에게 적절한 자세조절전략 훈련의 모델을 제시하고자 발목과 무릎관절의 인위적 고정(immobilization)이 시각정보가 차단된 조건과 시각정보가 허용된 조건에서 역동적인 발판 위에서 정적 기립 자세를 유지하는 동안 자세안정성(postural stability)에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구대상자

본 연구는 실험 전에 본 연구의 목적과 방법에 대하여 설명을 듣고 실험에 동의한 정상 성인 24명(남자 12명, 여자 12명)을 대상으로 2006년 10월 16일부터 12월 8일까지 실시하였다. 연구 대상자들의 평균 연령은 22.3±2.3세, 신장은 166.5±8.4 ㎝, 체중은 62.1±10.5 ㎏이었다. 연구대상자의 선정기준으로는 전정계 질환이나, 균형능력에 영향을 줄 수 있는 신경학적·정형외과적 질환의 병력이 없고 균형조절에 영향을 주는 약물을 복용하지 않는 20세 이상의 정상 성인으로 본 실험의 연구 방법과 유사한 자세안정성 관련 연구에 참여한 경험이 없는 자로 하였다.

2. 실험도구

가. Biodex 균형시스템(Balance system)

자세조절능력을 측정하기 위하여 Biodex균형시스템 SD 950-302[1)]를 사용하였다(Schmitz와 Arnold, 1998). 이 기구는 안정적인 바닥 위에서 동시에 전-후축(anterior-posterior axis)과 내-외축(medial-lateral axis)으로 자유롭게 움직이는 회전식 원형발판(circular platform), 대상자의 안전을 위한 손잡이용 난간(handrail), 그리고 화면으로 구성되어 있다. 이 기구는 조이스틱(joystick)을 사용하는 비디오게임과 유사한 원리로, 원형발판 위의 대상자의 위치와 움직임 정보를 원형발판에 연결된 센서를 통해 화면으로 볼 수 있도록 구성되어 있다. 이 기기는 넘어짐 위험(fall risk), 편측 하지 안정성(athletic single leg stability), 자세안정성(postural stability), 그리고 안정성한계(limits of stability)를 포함한 4가지 검사프로토콜을 가지고 있다(Testerman과 Griend, 1999). 본 연구에서는 자세안정성 검사를 위한 프로토콜을 사용하였다. 자세안정성검사란 대상자의 균형중심(center of balance)유지능력을 평가하는 것으로, 자세안정성검사의 결과로 제시되는 안정성지수는 중심으로부터 편위를 뜻하며, 점수가 낮을수록 자세가 안정적이다.

나. 관절움직임 고정을 위한 도구

발목관절의 움직임을 고정하기 위하여 Nichiban C형 비탄력 고정형 테이프[2)]를 이용하였다. 무릎관절의 움직임을 고정하기 위해서는 무릎관절 고정보조기(knee immobilizer)(그림 1)[3)]을 이용하였다.

3. 실험방법

본 연구는 하지 관절고정의 영향이 시각정보의 유무에 따라 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위해 눈을 뜨고, 감은 2가지 시각차단 조건에서 '발목고정', '무릎고정', '발목+무릎고정', 그리고 '고정안함'의 4가지 하지관절제한조건에서 자세조절능력을 평가하였다(그림 2). '발목고정'조건이란 Nichiban C형 비탄력 고정형 테이프를 이용하여 대상자의 양쪽 발목관절의 움직임을 제한한 상태이며, '무릎고정' 조건이란 무릎관절 고정보조기(knee

1) Biodex Medical Systems, NY, U.S.A.
2) NICHIBAN Co., Ltd., Japan.
3) Orthomedic, Inc., MIAMI, FL, U.S.A.

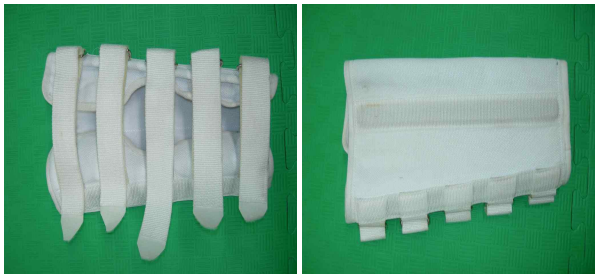

그림 1. 무릎관절 고정장치(knee immobilizer).

A. '발목고정'조건 B. '발목+무릎고정'조건

그림 2. 하지관절고정조건.

A. 발등에서 본 모습 B. 발바닥에서 본 모습

그림 3. '고정안함'조건.

immobilizer)를 이용하여 대상자의 양쪽 무릎관절의 움직임을 제한한 상태이다. '발목+무릎고정' 조건에서는 양쪽 발목관절과 무릎관절의 움직임을 제한한 상태를 뜻한다. '고정안함' 조건은 발목과 무릎관절의 움직임에 아무런 제한을 주지 않은 조건을 뜻한다. 발목고정 조건 시 발목관절의 움직임을 위해 적용된 테이핑이 발바닥을 둘러 부착되었음으로 발바닥으로부터 들어오는 체성감각에의 변화가 실험 결과에 미치는 영향을 배제하기 위하여 무릎고정조건과 고정안함 조건에서도 발목고정 조건에서와 같은 넓이의 테이핑을 발바닥에 적용하였다(그림 3).

검사자는 대상자를 눈을 뜬 상태에서 Biodex균형시스템의 원형발판에서 두 팔을 체간 옆에 붙이고 양발사이의 너비를 10 ㎝로 벌리고 바르게 선 자세를 취하게 한 후 양발의 전-후축과 내-외축이 교차하는 기준점(reference point, zero point)을 시스템에 입력하였다. 그 후, 대상자가 전-후축과 좌-우축으로 움직이도록 작동되는 원형 발판 위에 서서 모니터 상에 나타나는 기준점에 커서를 맞추어 균형을 유지하도록 하였다. 그리고 눈을 감은 상태에서의 균형 측정은 먼저 대상자가 원형발판에 선 후 모니터 상에서 제시하는 점에 중심을 맞추도록 한 후, 원형발판을 고정하고, 전-후축과 내-외축이 교차하는 기준점을 입력하였다. 검사자는 대상자에게 눈 감은 상태에서 바르게 선 자세를 유지하도록 하였다. 대상자의 균형지수는 눈뜨고 선 자세와 눈감고 선 자세를 교대로 반복하면서 각각 3회씩 측정하였다. 검사시간은 매회 20초가 소요되었고, 각각의 실험조건 사이에는 대상자의 신체적 및 심리적 안정을 위하여 3분 동안 침대에 누워 휴식을 취하도록 하였다. 검사는 각각 3회 측정하여 평균값을 이용하였다.

4. 분석방법

자세안정성검사는 원형발판의 전-후축과 내-외축에 대한 경사도(degree of tilt)를 측정하여, 경사도로부터 전체안정성지수(overall stability index, OSI), 전-후안정성지수(anterior-posterior stability index, APSI), 내-외안정성지수(medial-lateral stability index, MLSI)로 계산되었다. 이 지수들은 기준점(reference point)을 중심으로 동요되는 표준편차를 평가하는 것으로, 인체의 중력중심점으로부터 각편위(angular excursion)를 계산하는 것이다. 이때 기준점은 검사 시작자세에서 전-후축과 내-외축이 교차하는 원점을 의미한다. 전체안정성지수는 시상면(sagittal plane)과 전두면(frontal plane), 전후안정성지수는 시상면, 그리고 내외안정성지수는 전두면에서의 편위를 계산한 값이다. 이 지수가 클수록 균형유지능력은 감소하여 신체동요가 증가했음을 의미한다. 자세안정성 지수의 측정자내 신뢰도는 MLSI가 .43, APSI가 .80, 그리고 OSI는 .82로 알려져 있다(Arnold와 Schmitz, 1998; Schmitz와 Arnold, 1998).

4가지 다른 하지관절제한조건에서 시각차단여부에 따른 자세조절능력의 변화를 알아보기 위하여, 눈 뜬 자세와 눈 감은 자세에서 자세안정성을 각각 3회씩 측정하였다. 4가지 다른 하지관절조건에서 시각차단에 따른 자세

안정성을 비교하기 위하여 반복측정에 의한 이요인 분산분석(two-way analysis of variance for repeated measures)을 사용하였다. 통계적 유의성을 검정하기 위해 유의수준 α=.05로 하였고, 수집된 자료는 상용통계프로그램인 윈도용 SPSS version 12.0을 이용하여 분석하였다.

Ⅲ. 결과

1. 시각 차단에 따른 안정성지수 변화

본 연구에서는 눈 뜨고 감은 2가지 시각차단조건에서 4가지 다른 하지관절제한조건이 자세 안정성에 미치는 영향을 평가하였다. 자세안정성검사는 전체안정성지수, 전후안정성지수, 내외안정성지수의 3가지 변수를 측정하였다. 눈 뜬 조건에서 4가지 다른 하지관절제한조건에 따른 자세안정성은 통계학적으로 유의한 차이가 없었다. 눈 감은 조건에서는 전체안정성지수가 '발목+무릎고정'조건에서 '고정안함'조건(p=.000), '발목고정'조건(p=.000), '무릎고정'조건(p=.000)과 비교하여 통계학적으로 유의하게 감소하였다. 또한 눈 감은 조건에서 내외안정성지수는 '발목+무릎고정'조건에서 '고정안함'조건(p=.000), '발목고정'조건(p=.001), '무릎고정'조건(p=.001)과 비교하여 통계학적으로 유의하게 감소하였다.

4가지 다른 하지관절제한조건에서 안정성지수가 시각차단여부에 따라 차이가 있는지 비교하였다. 전체안정성지수는 눈 뜬 조건보다 눈 감은 조건에서 통계학적으로 유의하게 컸으나, 4가지 다른 하지관절고정조건에서는 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 또한 두 요인간의 상호작용도 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(p>.05)(표 1).

그리고 전후안정성지수는 눈 뜬 조건보다 눈 감은 조건에서 유의하게 컸으나, 4가지 다른 하지관절고정조건에서는 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 두 요인간의 상호작용도 통계학적으로 유의한 차이가 나타내지 않았다(p>.05)(표 2). 하지만, 내외안정성지수는 4가지 다른 하지관절제한조건과 시각차단 모두에서 통계학적으로 유의한 차이가 있었으며, 두 요인간의 상호작용도 통계학적으로 유의하게 나타났다(p<.05)(표 3).

눈 감은 조건의 내외안정성지수는 '고정안함' 조건에서 눈 뜬 조건보다 3.9배 높았고, '발목고정' 조건 4.9배, '무릎고정' 조건 4.0배, 그리고 '발목+무릎고정' 조건에서 5.1배로 통계학적으로 유의한 차이가 있었다(p<.05)(그림 4).

표 1. 시각 차단에 따른 전체안정성지수 변화 비교

조건	평방합	자유도	F	p
고정조건	2.3	3	.9	.447
시각차단	208.8	1	245.5	.000
고정조건×시각차단	2.2	3	.9	.468

표 2. 시각 차단에 따른 전후안정성지수 변화비교

조건	평방합	자유도	F	p
고정조건	.4	3	.1	.940
시각차단	83.6	1	95.1	.000
고정조건×시각차단	.2	3	.1	.981

표 3. 시각 차단에 따른 내외안정성지수 변화비교

조건	평방합	자유도	F	p
고정조건	2.4	3	4.2	.006
시각차단	86.7	1	449.3	.000
고정조건×시각차단	1.9	3	3.4	.020

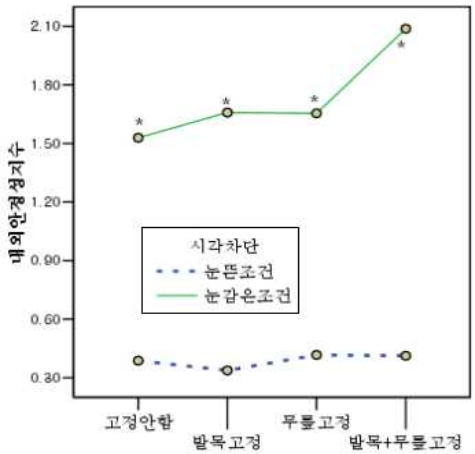

그림 4. 시각차단조건에 따른 내외안정성지수.

Ⅳ. 고찰

본 연구는 정적인 바로 선 자세에서 발목관절과 무릎관절에 주어진 4가지 다른 하지관절고정조건에서 시각차단여부에 따른 자세조절능력의 변화를 알아보기 위해 자세안정성을 실시하였다. 실험결과, 눈 뜬 조건에서 전체안정성지수, 전후안정성지수, 그리고 내외안정성지수는 4가지 다른 하지관절고정조건에 따른 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(p<.05). 또한 눈 감은 조건에

서 전후 안정성지수는 통계학적으로 유의한 차이가 없었지만, 눈 감은 조건에서 전체안정성지수와 내외안정성지수가 '고정안함' 조건, '무릎고정' 조건, '발목고정' 조건, 그리고 '발목+무릎고정' 조건 순으로 통계학적으로 유의하게 증가하였다($p<.05$). 전후안정성지수는 4가지 다른 하지관절고정조건과 시각차단여부에 따라 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만, 전체안정성지수와 내외안정성지수는 눈 감은 조건에서 4가지 다른 하지관절고정조건에 따라 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다. 이것은 전후안정성을 유지하려고 할 때 하지관절이 고정되어 발목관절전략을 사용할 수 없을 때 엉덩관절전략을 이용하기 때문에 4가지 다른 하지관절고정조건이 외부자극에 대한 동요에 영향을 주지 않은 것으로 생각된다. 그리고 하지관절이 고정되었을 때, 전후안정성보다 내외안정성이 더 감소하여 전체안정성에 영향을 주지만, 시각정보가 이를 보상하기 때문에 눈 뜬 조건에서는 4가지 다른 하지관절고정조건이 자세안정성을 위협하지 않는다는 것으로 사료된다. 또한 이 결과는 인체에 주어지는 외부자극으로 인한 동요가 하지관절이 고정되었을 때 더 크다는 것을 보여주며, 4가지 다른 하지관절고정조건에서 무릎관절이 고정되었을 때보다 발목관절이 고정되었을 때 자세안정성지수가 더 크게 나타났고, 발목+무릎관절이 모두 고정되었을 때 자세안정성지수가 가장 크게 나타났다.

자세안정성은 시야의 변화와 지지면의 특징에 영향을 받는데, 지지면이 고정되어 있을 때보다 지지면이 움직일 때 시각정보는 자세조절에 더 중요한 역할을 한다(Buchanan과 Horak, 1999). 본 연구에서 같은 고정조건 내에서도 시각차단여부에 따라 내외안정성지수는 작게는 3.9배에서 크게는 5.1배의 차이를 보여주었다. 하지관절에 어떠한 제한도 주지 않은 '고정안함' 조건에서 시각만을 차단했을 때의 내외안정성지수가 '발목+무릎고정' 조건에서 시각을 차단하지 않았을 때보다 3.7배나 높은 값을 보여주었다. 따라서 눈 뜬 조건에서 4가지 다른 하지관절고정조건에 따른 자세안정성에 유의한 차이가 없었던 것은 시각되먹임(feedback)을 이용한 대상작용이 이루어졌기 때문이며, 눈 감은 조건에서 4가지 다른 하지관절제한조건에 따라 전체안정성지수와 내외안정성지수가 통계학적으로 유의한 차이를 보인 것은 시각되먹임을 사용한 대상작용이 이루어지지 못했기 때문으로 사료된다.

외적인 동요가 주어질 때 나타나는 자세반응은 많은 경우의 수에서 선택되어진 적절한 반응으로, 사전에 프로그램화된(preprgrammed) 근육활동이다(Park, 2004). 인체에 생체역학적 제한(biomechanical constraints)은 균형을 유지하기 위해 사용하는 움직임전략의 발달과 선택에 영향을 준다. 넙치근(gastrocnemius)과 가자미근(soleus)의 단축(shortening)으로 발생된 발목관절의 관절가동범위 제한과 같은 근골격계손상(musculoskeletal impairment)은 대상자가 무게중심점을 조절하기 위하여 지지면에 대해서 힘을 생성하는 능력은 감소하게 된다(Horak 등, 1997). '발목+무릎고정' 조건은 발목과 무릎관절의 가동범위를 고정하고 고유수용성감각을 변화시켜서 정상적인 체성감각이 입력될 때와는 다른 되먹임을 일으킨다. Kuo(1995)는 지속적인 되먹임은 사전에 프로그램화된 움직임과 비교하여 수많은 기능적인 이점들이 있다고 보고하였다. 되먹임반응은 근육활동유형의 저장을 위해 요구되는 저장회로와 비교하여 상대적으로 단순한 반사회로를 이용한다. 동요와 반응을 생성하는 되먹임 체계사이의 상호작용 때문에, 단일 되먹임기전이 다양한 동요에도 유연하게 반응할 수 있다. 대조적으로 사전에 프로그램화된 움직임 궤도는 동요이후에 바로 선 자세로 신체를 되돌릴 수 있지만, 바로 선 자세를 유지하는데 요구되는 동적 안정성을 생산하지 못한다(Park, 2004). 따라서 본 연구에서 하지관절고정조건을 달리한 생체역학적인 제한이 주어졌을 때보다 시각차단이 주어졌을 때 자세안정성이 더 높은 값을 보인 이유는 사전에 프로그램화된 움직임전략을 사용하는 회로보다 시각되먹임을 사용하는 회로가 더 단순하기 때문으로 생각된다.

바로 선 자세에서 자세조절능력은 발목관절, 무릎관절, 그리고 엉덩관절에서 발생되는 토크가 얼마나 잘 조절되는가에 따라 달라지며, 각 관절의 단단함(stiffness)과 되먹임이 자세안정성을 조절한다(Edwards, 2007). Winter 등(1998)은 자세안정성의 조절은 관절의 단단함만으로도 충분하며, 발목관절의 최소한의 단단함이 안정성을 위한 역치로 정의된다는 역진자모델(inverted pendulum model)을 제안하였다. 또한 Morasso와 Schieppati(1999)도 자세조절에 엉덩관절과 무릎관절의 영향은 고려하지 않고, 자세안정성에 발목관절의 단단함만이 관여한다는 단일-분절역진자모델을 제안하였다. 그러나 Edwards(2007)는 발목관절, 무릎관절, 그리고 엉덩관절의 효과적인 결합으로 자세안정성이 조절된다는 역동적 다분절모델(dynamic multi-segment model)을 제안하였다. 이러한 결과는 자세안정성을 조절하는 것이 단지 발목관절의 단단함이라는 단일-분절역진자모델이 아

니라, 발목관절, 무릎관절, 그리고 엉덩관절의 상호작용에 의한 것이라는 역동적 다분절모델에 부합되는 것이다. 또한 발목관절을 고정했을 때보다 무릎관절을 고정하였을 때 더욱 높은 안정성을 보여주었다. 그리고 관절의 단단함과 테이핑을 이용한 관절고정에는 고유수용성 감각에서 차이가 있겠지만, 바로 선자세의 안정성을 유지하는데 발목관절과 더불어 무릎관절의 안정성 또한 중요하다는 점을 알 수 있다. 그러므로 임상에서 바로 선 자세의 안정성을 훈련할 때는 발목관절뿐만 아니라 무릎관절의 안정성 또한 중요한 변수로 고려해야 할 것이다.

본 연구는 실험을 진행하는 동안에 하지관절에 주어진 고정을 보상하기 위하여 엉덩관절과 체간이 사용될 수 있는 가능성이 있음에도 불구하고 체간의 위치를 고려하지 않은 제한점을 가지고 있다.

Ⅴ. 결론

본 연구는 정적인 바로 선 자세에서 4가지 다른 하지관절고정조건이 시각차단여부에 따른 자세조절에 미치는 영향을 알아보고, 하지관절에 생체역학적인 제한을 가진 환자에게 적절한 자세조절전략훈련을 제시하기 위함이었다. 4가지 다른 하지관절고정조건은 '고정안함', '발목고정', '무릎고정', 그리고 '발목+무릎고정'이었다. 본 연구결과는 다음과 같았다.

가. 자세안정성은 눈 감은 조건에서 4가지 다른 하지관절고정조건에 따라 전체안정성지수와 내외안전성지수가 통계학적으로 유의하게 감소하였다($p<.05$).

나. 내외안정성지수는 같은 관절제한조건 내에서도 시각차단여부에 따라 작게는 3.9배('고정안함' 조건)에서 크게는 5.1배('발목+무릎고정' 조건)의 차이를 보여주었다.

따라서 본 연구결과를 바탕으로 우리는 향후 자세조절능력 향상을 위한 훈련을 실시할 때, 하지의 발목관절과 엉덩관절뿐만 아니라, 무릎관절에 대한 고려가 이루어져야 할 것이며, 시각차단을 이용한 훈련을 실시할 것을 제안할 수 있겠다.

인용문헌

Arnold BL, Schmitz RJ. Examination of balance measures produced by the biodex stability system. J Athl Train. 1998;33(4):323-327.

Brunt D, Vander Linden DW, Behrman AL. The relation between limb loading and control parameters of gait initiation in persons with stroke. Arch Phys Med Rehabil. 1995;76(7):627-634.

Buchanan JJ, Horak FB. Emergence of postural patterns as a function of vision and translation frequency. J Neurophysiol. 1999;81(5):2325-2339.

Edwards WT. Effect of joint stiffness on standing stability. Gait Posture. 2007;25(3):432-439.

Freeman MA, Wyke B. Articular reflexes at the ankle joint: An electromyographic study of normal and abnormal influences of ankle joint mechanoreceptors upon reflex activity in the leg muscles. Br J Surg. 1967;54(12):990-1001.

Fitzgerald GK. Open versus closed kinetic chain exercise: Issues in rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstructive surgery. Phys Ther. 1997;77(12):1747-1754.

Horak FB. Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? Age Ageing. 2006;35(Suppl 2):ii7-ii11.

Horak FB, Henry SM, Shumway-Cook A. Postural perturbations: New insights for treatment of balance disorders. Phys Ther. 1997;77(5):517-533.

Horak FB, Nashner LM. Central programming of postural movements: Adaptation to altered support-surface configurations. J Neurophysiol. 1986;55(6):1369-1381.

Jacobs JV, Horak FB. External postural perturbations induce multiple anticipatory postural adjustments when subjects cannot pre-select their stepping foot. Exp Brain Res. 2007;179(1):29-42.

Kuo AD. An optimal control model for analyzing human postural balance. IEEE Trans Biomed Eng. 1995;42(1):87-101.

Madhavan S, Shields R. Weight-bearing exercise ac-

curacy influences muscle activation strategies of the knee. J Neurol Phys Ther. 2007;31(1):15-19.

Morasso PG, Schieppati M. Can muscle stiffness alone stabilize upright standing? J Neurophysiol. 1999;82(3):1622-1626.

Park S, Horak FB, Kuo AD. Postural feedback responses scale with biomechanical constraints in human standing. Exp Brain Res. 2004;154(4):417-427.

Peterka RJ. Sensorimotor integration in human postural control. J Neurophysiol. 2002;88(3):1097-1118.

Riemann BL. Is there a link between chronic ankle instability and postural instability? J Athl Train. 2002;37(4):386-393.

Rose DJ. Fall Proof: A comprehensive balance and mobility training program. Human Kinetics, 2003.

Runge CF, Shupert CL, Horak FB, et al. Ankle and hip postural strategies defined by joint torques. Gait Posture. 1999;10(2):161-170.

Schmitz RJ, Arnold BL. Intertester and intratester reliability of a dynamic balance protocol using the Biodex Stability System. J Sport Rehabil. 1998;7(2):95-101.

Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor Control: Translating Research into Clinical Practice. 3rd ed. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2006.

Testerman C, Vander Griend R. Evaluation of ankle instability using the Biodex Stability System. Foot Ankle Int. 1999;20(5):317-321.

Winter DA, Patla AE, Prince F, et al. Stiffness control of balance in quiet standing. J Neurophysiol. 1998;80(3):1211-1121.

논 문 접 수 일	2007년 6월 9일
논문게재승인일	2007년 11월 26일