

3 차원 동적 자세균형 훈련기기의 능동/수동 체간 기울임에 따른 근 활성화도 비교

The Assessment on Electromyography of Trunk Muscle according to Passive and Active Trunk Tilt Exercise of 3-D Dynamic Postural Balance Training System

신선혜¹, 유미², 정구영³, 유창호³, 김경⁴, 정호춘⁵, 권대규^{3,✉}
Sun Hye Shin¹, Mi Yu², Gu Young Jeong³, Chang Ho Yu³, Kyung Kim⁴,
Ho Choon Jeong⁵, and Tae Kyu Kwon^{3,✉}

1 전북대학교 헬스케어공학과 (Department of Healthcare Engineering, Chonbuk National Univ.)

2 전북대학교 자동차부품·금형기술혁신센터 (Automobile-parts & Mold Technology Innovation Center, Chonbuk National Univ.)

3 전북대학교 바이오메디컬공학과 (Division of Biomedical Engineering, Chonbuk National Univ.)

4 국립재활원 재활연구소 (National Rehabilitation Research Institute, National Rehabilitation Center)

5 ㈜싸이버메딕 (CyberMedic Co.)

✉ Corresponding author: kwon10@jbnu.ac.kr, Tel: +82-63-270-2246

Manuscript received: 2012.10.5 / Revised: 2012.12.17 / Accepted: 2012.12.28

The Interest in disease prevention and rehabilitation is increasing depending on increase of patients with spinal. This is being developed using the spine stabilization device is being studied. So far studies have only evaluated the effect on trunk stabilization exercises but analysis of human movement patterns for active movement and passive movement did not. We assessed the muscle activity of trunk and leg muscle during passive and active tilt mode on eight tilt directions at tilt angle of 30° using 3-D dynamic postural balance training system. We performed experimental study on the muscular activities of trunk muscle about rectus abdominis, external obliques, latissimus dorsi, erector spinae, and leg muscle about rectus femoris, Biceps femoris, Tibialis Anterior, gastrocnemius. As a result, muscle activation was different depending on the direction of movement and pattern. The results indicate that various patterns of spinal stabilization exercise system could be applied to an effective training of chronic low back pain patients.

Key Words: Trunk Stabilization Exercise (체간 안정화 운동), Electromyography (근전도), Trunk Tilt (체간 기울기), Active Tilt (능동 기울기), Passive Tilt (수동 기울기)

1. 서론

현대인의 80%이상이 일생 중 한번 이상 허리통증을 경험하며, 이들 중 5~15%가 만성질환자로 발전된다. 이처럼 요통은 직업보행을 하는 인간에게 흔하게 나타나는 질병이며, 노동력 손실을 일으키는 원인 중에 하나이다.^{1,2} 요통은 근·골격 계통의 질환에서 가장 많이 호소되는 증상 중 하나로서, 12 번

째 갈비뼈와 아래쪽의 둔부 주름 사이의 국부적인 통증으로 정의되며, 다리 통증을 동반하기도 한다.³ 요통의 원인은 퇴행성 질환이나, 염증, 전염성 있는 종양, 대사성 골질환, 연관통, 심인성 통증, 외상 및 선천적 질환 등이 있지만, 인대나 근육의 손상으로 인한 요부 염좌가 대부분이다.^{3,4}

척추의 구조는 불안정성을 보완하기 위하여 많은 근육과 인대에 의해 좌우가 대칭적으로 고정되

어 있으며, 근육의 수축력과 장력은 정적 자세와 움직임 시에 척추의 운동성과 안정성을 조화롭게 유지시켜준다.⁵ 요추의 운동은 천추의 굴곡과 신전, 고관절의 회전운동에 의해 영향을 받으며, 과도한 운동은 척추 주위 인대의 제한으로 방지되지만 요추굴곡과 신전운동을 하는 동안 척추 주변근, 슬와부의 굴근, 둔근과 척추를 지지하는 인대에 긴장이 생기게 된다.^{6,7} 이때 긴장이 심해지면 요통을 느끼게 되는데, 만성 요통을 가지고 있는 사람들은 요추 심부에 위치한 근육들의 위축 정도가 그렇지 않은 사람에 비해 심하게 나타난다.^{8,9} 요추의 안정성과 고유수용성 감각 능력을 유지하는데 가장 중요한 근육이 다열근과 복횡근이다.¹⁰ 이 두 근육은 작고 깊숙한 곳에 위치한 고정근(local stabilization muscle)으로, 동시 수축 시 동적인 안정을 제공하여 중립자세 유지와 일상생활 활동 시 척추 분절의 안정성에 기여한다.^{11,12} 또한 표면 가까이에서 복부에 있는 내·외 복사근과 요추 주변을 둘러싸고 있는 요방형근은 안정화뿐만 아니라 운동을 일으키는 기능을 한다.¹¹⁻¹³

안정성은 외부의 자극에 의해 평형이나 균형이 깨졌을 때 원래의 상태로 되돌아오려는 힘으로, 요추 안정화 운동의 목적은 근육과 움직임 조절 능력을 회복시키기 위한 것이며, 척추 안정화 근육의 동시 수축능력과 체간 근육을 강화시켜 척추에 가해지는 부하를 잘 적응할 수 있는 자세인 척추 중립자세에서 안정성을 유지할 수 있게 하는 운동이다.^{14,15} 최근에는 척추 주변 근육들을 활성화 시켜 통증 감소와 질환 예방을 위한 3 차원 척추 안정화 운동 장비들이 개발되고 있으며, 이를 이용한 척추 근력 강화 훈련과 척추 재활 치료 운동이 이루어지고 있다. 권원안 등¹⁶은 만성요통환자를 대상으로 3 차원 척추 안정화 운동 기기인 Centaur (BMFC GmbH., Germany)를 이용한 4 주간의 운동치료를 통해 요추 안정화 운동이 요추 불안정성 근력 증가와 통증을 감소시키는 효과가 있음을 확인하였으며, 김성호 등¹⁷은 Centaur를 이용한 3 차원 척추 안정화 운동이 일반적인 척추 강화 운동보다 퇴행성 변성 디스크 환자들의 통증 및 기능개선, 척추주변근력 증가에 더 효과적이며, 다열근의 근단면적 증가에도 효과적임을 확인하였다. 또한, 송유익¹⁸은 만성 요통환자를 대상으로 3 차원 경사 및 회전 운동기구인 Air Balance 3-D(SNS Co., Korea)을 이용한 6 주간의 훈련이 통증 감소와 체간 기능 향상에 효과적임을

확인하였다. 이처럼 척추 안정화 운동의 통증 감소와 근력 강화 효과에 대한 연구는 다양하게 진행되고 있으며, 이에 따라 척추 안정화 운동기기의 기울임에 따른 근 활성화 패턴 분석에 대한 관심도 높아지고 있다. Christoph Anders 등¹⁹은 Centaur를 이용하여 수평 수직 방향의 기울임 시 남녀 성별 차이에 따른 근육의 활성도를 측정 비교하였으며, 김송준²⁰은 전-후, 좌-우 4 가지 방향과 다양한 기울임 각도의 변화에 따른 체간과 하지를 구성하는 근육들의 수축양상을 밝혔다. 또한, 김솔비 등²¹은 전후방 기울임 시 축회전 유무에 따른 근 활성도를 측정 및 분석하여 효과적인 척추안정화 운동방법을 제시하고자 하였다. 척추 안정화 운동 기기들은 모터에 의해 구동되는 수동(Passive)방식과 사람의 의지에 따른 능동(Active)방식으로 구분된다. 하지만 최근까지의 연구들은 단순 통증 감소와 근력 강화 효과나 기울임 방향으로의 근 활성화를 평가하였을 뿐, 사용자의 의지가 반영된 운동과 반영되지 않는 운동의 차이에 따른 근육패턴에 대한 규명은 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 능동과 수동 움직임이 가능한 3 차원 동적 자세균형 훈련기기를 이용하여 수동과 능동 방식의 체간 기울임에 따른 체간 및 하지 근육의 활성화 및 수축 양상을 분석하고자 하였다.

2. 시스템 구성 및 실험방법

2.1 시스템 구성

본 연구에서는 3 차원 동적 자세균형 훈련기기를 이용하여 전-후, 좌-우, 사선 방향의 체간 기울임 시 체간 및 하지 근육의 활성도를 측정하였다.

Fig. 1은 다양한 운동프로그램을 통하여 평형성 확보와 체간 운동이 가능한 3 차원 동적 자세균형 훈련기기(CyberMedic Co., Korea)를 나타내고 있다. 본 기기는 100°의 전·후방 기울임과 180°의 좌·우 기울임으로 3 차원 공간상에서의 회전운동이 가능하기 때문에 전-후 운동, 좌-우 운동, 사선운동이 가능하다. 또한, 각도 고정 플랜저를 통해 10~50°까지 각도를 제한시킬 수 있어 특정방향으로의 편측된 체중이동을 교정시킬 수 있게 하였다.

체간 및 하지 근육의 활성도를 분석하기 위하여 Bagnoli EMG System(Delsys, USA)을 사용하였고, 체간 근육들의 근전도 측정을 위한 표면 전극은

Double differential detection 방식인 DE-3.1 센서를 사용하였다. Sampling rate 는 1000 Hz 로 설정하였으며, 주파수 대역폭은 Bagnoli EMG System 의 측정 주파수 대역 필터인 6-400 Hz 로 하였다. 또한, 분석 방식으로는 RMS(root mean square)를 사용하였다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 요부와 하지 근육에 이상이 없는 20 대 남성 10 명(175±2.86, 68.3±3.2)을 대상으로 하였다. 실험에 앞서 피험자들에게 본 실험에 대한 목적과 위험에 대해 충분히 설명한 후 동의를 얻었다.

Fig. 1 은 3 차원 동적 자세균형 훈련기기의 구동 방식에 따른 차이를 나타내고 있다. 훈련기기가 각도 및 방향을 잡아주는 수동 기울임 모드와 피험자가 직접 각도와 방향을 유지하는 능동 기울임 모드로 나뉘어진다. Fig. 2 는 실험 블록선도로써 30° 에서 8 가지 방향으로의 수동 기울임과 능동 기울임 유지 시 체간 및 하지 근 활성도를 측정·분석하였다. 기울임 방향은 A(anterior), AR(anterior right), R(right), PR(posterior right), P(posterior), PL(posterior left), L(left), AL(anterior left)의 8 가지로 지정하였으며, 방향에 따라 10 초 동안 기울임을 유지하였고 2 회 반복 실행하였다. 기울임 동작 사이에는 20 초 휴식을 실시하였으며 능동 기울임과 수동 기울임의 실험 사이에는 근력회복을 위하여 20 분의 휴식시간을 제공하였다. 또한, 근 활성도 측정을 위하여 Fig. 3 과 같이 체간의 좌·우 복직근(Rectus Abdominis, RA), 외복사근(External Oblique, EO), 광배근(Latissimus Dorsi, LD), 척추기립근(Erector Spinae, ES)과 Fig. 4 의 하지 대퇴직근(Rectus Femoris, RF), 대퇴이두근(Biceps Femoris, BF), 전경골근(Tibialis Anterior, TA), 비복근(Gastrocnemius, Gn)에 근전도 전극을 부착하였다.



Fig. 1 Driving type of 3-D dynamic postural system (left; passive type, right; active type)

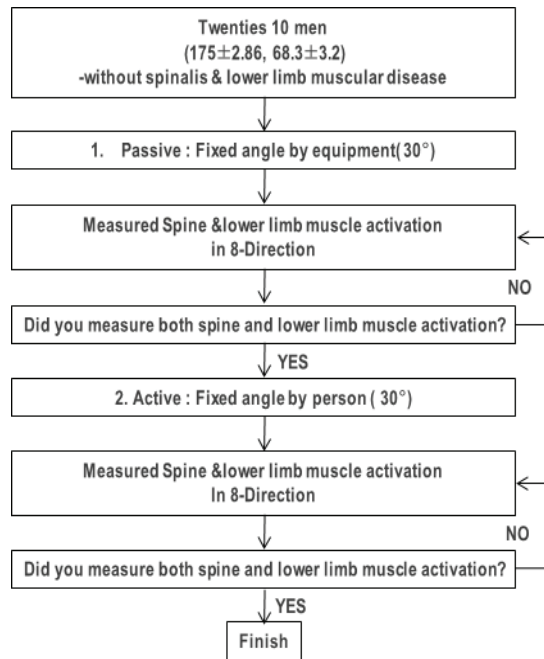


Fig. 2 Experimental block diagram

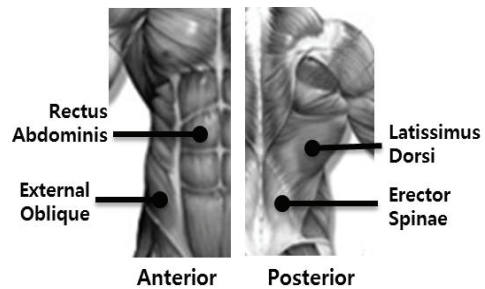


Fig. 3 Trunk muscle

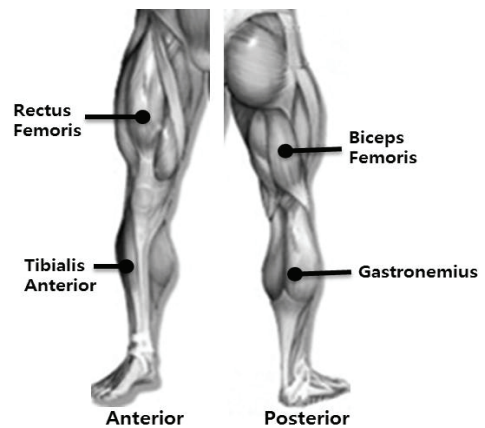


Fig. 4 Lower limb muscle

2.3 자료분석

본 연구의 통계처리는 SPSS PASW statistics 18(SPSS Inc., USA) 통계프로그램을 사용하였다. 모든 결과는 Kolmogorov-Smirnov 검정을 통해 정규성 검정을 하였으며, 능동 기울임과 수동 기울임의 근 활성도를 비교하기 위하여 대응표본 T 검정을 실시하였다. 유의성을 검증하기 위한 통계학적 유의수준은 $p < 0.05$ 로 하였다.

3. 결과

3.1 체간 근활성도 분석

Fig. 5-8 은 8 가지 방향으로의 기울임 유지 시 능동과 수동 모드에 따른 체간 근 활성도를 나타내고 있다. 가로축은 8 가지 방향이며 세로축은 EMG 값을 RMS 변환시킨 값이다. Fig. 5 는 8 가지 방향으로의 기울임 시 능동과 수동모드에 따른 좌·우 복직근의 RMS 값을 나타내고 있다. 왼쪽 복직근의 경우, AR, L, AL 방향에서의 근활성도가 수동 기울임 시 유의하게 높았으며, 오른쪽 복직근의 경우, A 방향에서 높게 측정되었다. 반면, P, PR 방향에서는 능동 기울임 시 근 활성도가 유의하게 높게 측정되었다($p < 0.05$). 방향에 따른 능동/수동 기울임 시 복직근의 활성도를 비교해보면, 기울임 모드에 상관없이 A 방향보다 P 방향으로의 기울임 시 복직근의 근 활성도가 높음을 알 수 있다. 또한, PR 과 PL 방향의 좌·우 복직근을 살펴보면, PR 방향으로의 기울임 시 왼쪽 복직근의 활성도가 높았으며, 오른쪽 기울임을 유지했을 때 PL 방향의 근 활성도가 높게 측정되었다.

Fig. 6 은 좌·우 외복사근의 RMS 값으로, 왼쪽 외복사근의 경우 A, AR, L, AL 방향에서 수동 기울임 시 유의하게 높았으며, 오른쪽 외복사근의 경우 A, AR, PL 방향에서 높게 측정되었다($p < 0.05$). 방향에 따른 능동/수동 기울임 시 외복사근의 근 활성도를 보면, 왼쪽근육의 경우 PR 과 R 방향에서 PL 과 L 방향의 근활성보다 더 높게 나타났다. 반면, 오른쪽 근육의 경우 위와 반대의 경향을 보였다. Fig. 7 은 좌·우 광배근의 RMS 값으로, 왼쪽 광배근의 경우 A, R 방향을 제외한 방향에서, 오른쪽 광배근은 모든 방향에서 수동적 기울임 시 근 활성도가 높게 측정되었다($p < 0.05$). 광배근의 경우 기울임 모드에 상관없이 방향에 따른 근 활성도 차이가 나타나지 않았다.

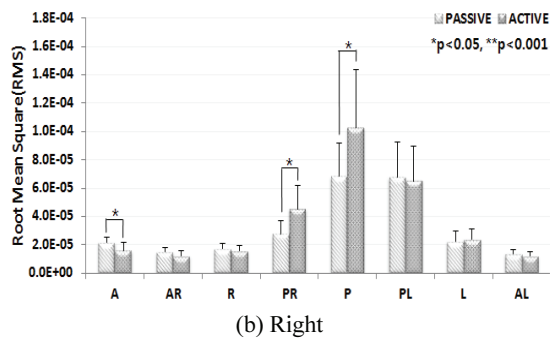
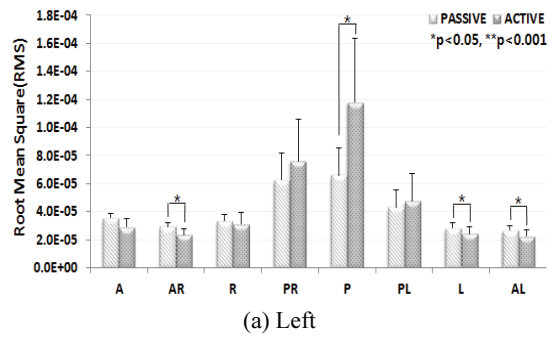


Fig. 5 Rectus abdominis of RMS in passive and active tilt training in eight directions

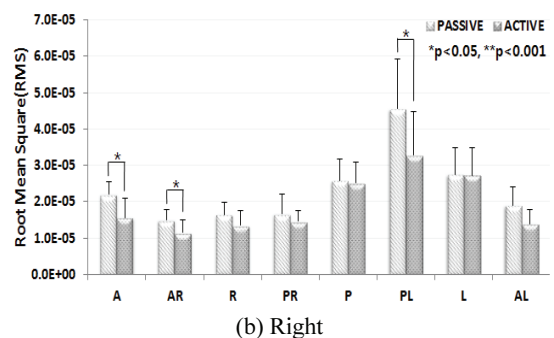
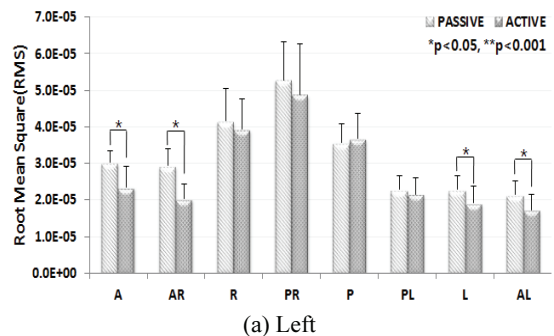


Fig. 6 External oblique of RMS in passive and active tilt training in eight directions

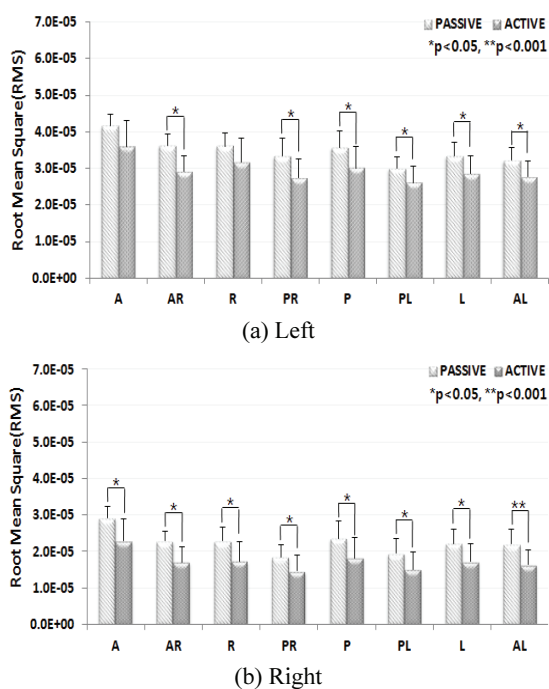


Fig. 7 Latissimus dorsi of RMS in passive and active tilt training in eight directions

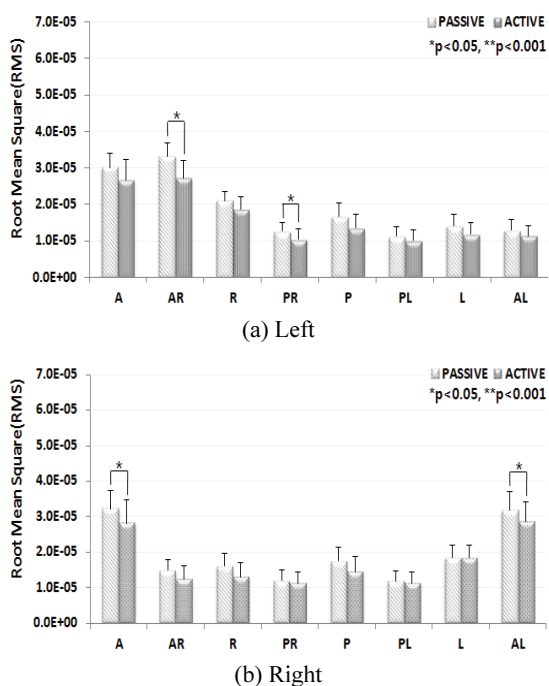


Fig. 8 Erector spinae of RMS in passive and active tilt training in eight directions

Fig. 8 은 좌·우 척추기립근의 RMS 값으로, 왼쪽 척추기립근은 AR, PR 방향에서 수동 기울임 시 근활성도가 유의하게 높게 측정되었으며, 오른쪽 척추기립근은 A, AL 방향에서 높게 측정되었다 ($p < 0.05$). 기울임 모드에 상관없이 방향에 따른 근 활성도의 차이는 왼쪽 기립근에서 AR 방향의 근 활성도가 AL 방향에 비해 높게 측정되었으며, 오른쪽 기립근은 AL 방향에서 높게 측정됨을 알 수 있다.

3.2 하지 근활성도 분석

Fig. 9-12 는 8 가지 방향으로의 기울임 시 능동과 수동 모드에 따른 하지 근 활성도를 나타내고 있다. 가로축은 8 가지 방향이며 세로축은 EMG 값을 RMS 변환시킨 값이다. Fig. 9 는 좌·우 대퇴직근의 근 활성도를 나타낸 그래프로, A, AR 방향에서 수동 기울임의 근 활성도가 능동 기울임 시 보다 유의하게 높게 측정되었다($p < 0.05$). Fig. 10 은 좌·우 대퇴이두근의 RMS 값으로, 왼쪽 대퇴이두근은 PL 방향을 제외한 모든 방향에서, 오른쪽 대퇴이두근은 PR, PL, AL 을 제외한 방향에서 수동 기울임 시 근 활성도가 유의하게 높게 측정되었다($p < 0.05$).

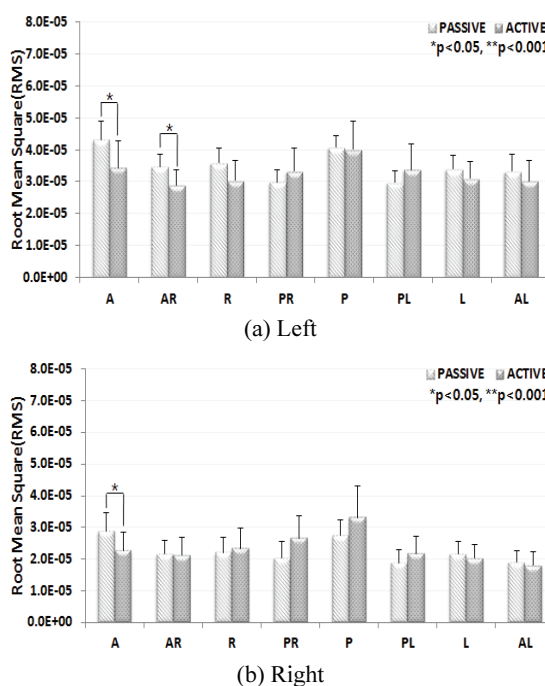


Fig. 9 Rectus femoris of RMS in passive and active tilt training in eight directions

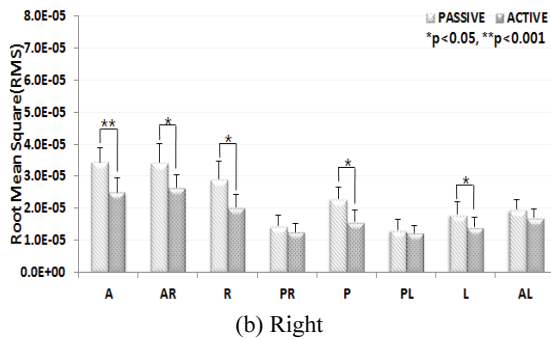
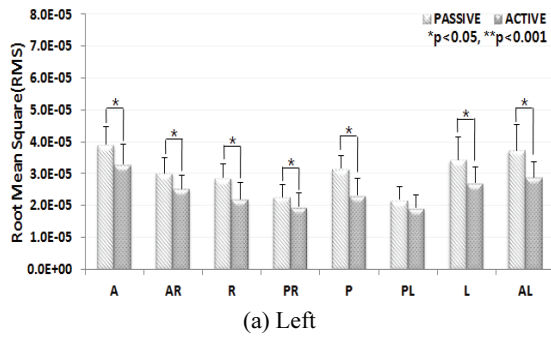


Fig. 10 Biceps femoris of RMS in passive and active tilt training in eight directions

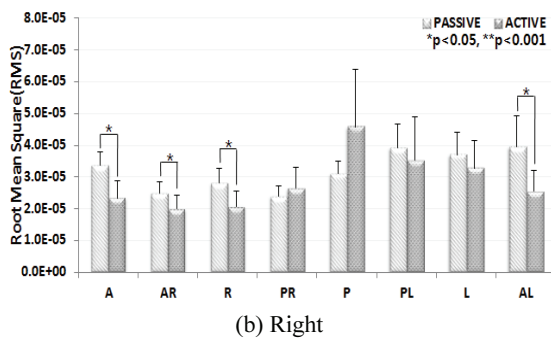
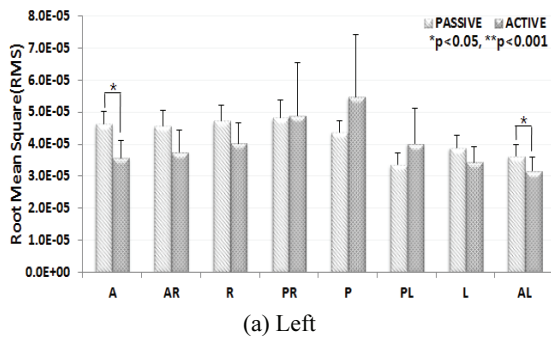


Fig. 11 Tibialis anterior of RMS in passive and active tilt training in eight directions

Fig. 11 은 좌·우 전경골근의 RMS 값으로, 왼쪽 전경골근의 경우 A, AL 방향에서 수동 기울임 시 근 활성도가 높게 측정되었으며, 오른쪽 전경골근은 A, AR, R, AL 의 방향에서 유의하게 높게 측정되었다($p < 0.05$). Fig. 12 는 좌·우 비복근의 RMS 값으로, A, P 방향에서 수동 기울임 시 근 활성도가 유의하게 높게 측정되었다($p < 0.05$).

4. 고찰

본 연구는 척추 안정화 기기의 구동 방식에 따른 근활성도의 차이를 비교하기 위한 기초 연구로서 능동과 수동 움직임이 가능한 3 차원 동적 자세균형 훈련기기를 이용하여 수동과 능동 방식의 체간 기울임에 따른 체간 및 하지 근육의 수축 양상을 비교·분석하고자 하였다.

척추는 몸통을 지지하며 전, 후, 회전운동 및 외측운동을 가능하게 한다. 척추는 일련의 불규칙 뼈인 척추와 섬유성 연골인 Disc(추간판), 척추를 고정시켜주는 인대, 움직임을 유지하는 근육으로 구성되어 있으며, 그 중 척추를 움직이는 근육은 체간을 구부리고, 비틀고, 잡아당길 수 있도록 하

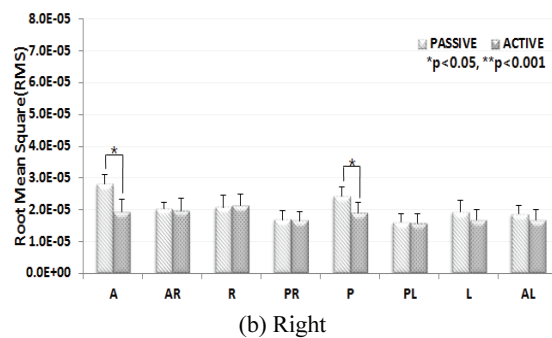
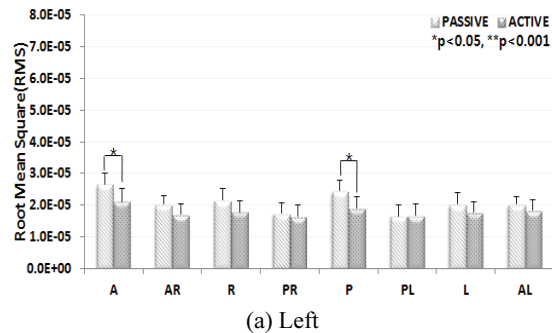


Fig. 12 Gastrocnemius of RMS in passive and active tilt training in eight directions

여 사람이 바로 서거나 앉을 때와 같은 자세를 강하게 지지하여 준다.²² 척추를 움직이며, 지지하는 근육은 관절을 움직일 때 주로 사용하는 움직임 근육(mover)과 어떤 움직임이 있을 때 신체 조끼끼리 충돌하지 않도록 보호해주는 안정화 근육(stabilizer)으로 나누어진다.¹¹ 척추 움직임은 주로 몸의 바깥쪽에 위치해 있는 척추기립근, 복직근, 내외복사근, 광배근 등이 관여하며, 안정화에는 몸의 가장 안쪽에 위치해 있는 다관절 근육으로 구성되는 다열근과 복횡근 등이 관여 한다.^{5,23,24} 이러한 근육을 강화시키는 체간 안정화 운동은 요통이나 척추 질환자들의 통증 예방 및 척추 주변의 근육을 강화시키는데 중요한 역할을 하며, 최근에는 척추안정화 운동 프로그램으로 공 운동, 슬링 운동, 3 차원 척추 안정화 기기 등이 도입되고 있다.²⁵ 척추 안정화 기기는 모터에 의해 구동되는 수동방식과 사람의 의지에 따른 능동방식으로 구분되며 본 연구에서는 능동과 수동모드의 체간 기울임 동작 시 체간과 하지 근육의 수축 양상을 비교하기 위하여 척추기립근, 복직근, 외복사근, 광배근의 체간근과 대퇴직근, 대퇴이두근, 전경골근, 비복근의 하지 근 활성도를 측정하였다.

그 결과 후방 기울임을 제외한 대부분의 방향에서 능동 기울임 운동보다 수동 기울임 운동 시 근 활성도가 높게 나타났다. 이는 능동 기울임의 경우 본인의 무게중심을 이동한 뒤 근육과의 협응 작용을 통해 기울임을 유지하기 때문에 근 활성도가 비교적 낮게 측정되는 반면, 수동 기울임의 경우 신체의 정렬과는 상관없이 불수의적으로 움직이며 이를 유지하기 위해 과도한 힘을 사용하기 때문에 근 활성도가 높은 것으로 판단된다. 또한 후방 기울임 시 수동모드보다 능동모드에서 복직근 활성도가 높았으며, 이는 능동모드의 후방 기울임 시 기기의 의지 없이 신체를 이동하는 것이 어려울 뿐만 아니라 기울임을 유지하는데 있어 과도한 힘을 사용하기 때문이라 사료된다. 또한, 기울임 모드에 상관없이 방향에 따른 체간 근 활성도의 결과에서 척추기립근은 전방 기울임 시 근 활성도가 높았으며, 복직근의 경우 후방 기울임 시 근 활성도가 높았으며, 이러한 결과는 기존의 연구와 유사하였다.^{19,21} 또한 우측 방향 기울임 시 좌측의 근육이 많이 사용되었으며, 반대로 좌측 기울임 시 우측 근육이 사용됨을 알 수 있다. 이는 체간 기울임 시 기울임 방향과 반대 쪽 근육이 활성화됨으로써, 인체의 위치와 움직임 수행 환경 사이의 상호작용이 이루어져 인체 평형 조절

이 가능한 것이라 판단된다. 반면 하지의 근육은 특정 방향의 기울임에 대해 영향을 받지 않았다. 이는 피험자가 기기에 선 상태에서 기울임을 유지하는 동안 불규칙적으로 하지의 자세를 교정하기 때문이라고 판단된다. 김송준²⁰은 요부와 하지를 구성하는 중요한 근육들의 협응 수축을 효과적으로 동시에 유발할 수 있는 각도와 방향을 제시하였으며, 기울임 운동이 체간의 균형적인 근 발달에 영향을 미치지 않음, 하지의 불균형을 개선하는 방법으로는 적절치 못하다고 밝혔다. 즉, 연구 결과 수동모드의 운동은 이미 각도와 방향이 기기에 의해 고정되어 있기 때문에 사용자에게 몸을 바르게 유지하는 능력만을 요구하게 되지만, 능동모드의 경우 사용자가 각도와 방향에 정확하게 도달하고자 하는 능력과 그 위치에 유지하고자 하는 능력을 요구하여 근육뿐만 아니라 시각과 전정계 등 감각신경계의 인체 협응이 일어나기 때문에 근육의 활성화는 수동모드에 비해 근육이 최적으로 사용되는 것이라 사료된다.²⁶ 또한 인체 기울임 시 기울임 방향과 반대 쪽 근육이 활성화됨으로써, 인체의 위치와 움직임 수행 환경 사이의 상호작용이 이루어져 인체 평형 조절이 가능함을 알 수 있었다. 하지만, 본 연구에서는 30°의 능동과 수동 기울임에 대한 근 활성도를 분석하였다는 제한이 있으며, 향후 연구에서는 능동과 수동모드에 따른 운동 시 체간 및 하지 근육의 불균형을 개선할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 능동과 수동 움직임을 가능한 3 차원 동적 자세균형 훈련기기를 이용하여 수동과 능동 방식의 체간 기울임에 따른 체간 및 하지 근육의 수축 양상을 비교·분석하고자 하였다.

그 결과 체간 근육의 경우, 복직근의 후방 기울임을 제외한 대부분의 방향과 근육에서 능동모드보다 수동모드의 기울임 유지 시 근 활성도가 높게 측정되었다. 반면 후방 기울임 시에는 능동모드에서 복직근의 근 활성도가 높게 측정되었다. 또한 전방 기울임 시 척추기립근의 근 활성도가 높았으며, 후방 기울임 시 복직근이 많이 사용되었고, 좌측 기울임 시 우측 근육이 사용되는 등 인체 기울임 시 기울임 방향과 반대 쪽 근육이 활성화되었다. 하지 근육의 경우 모든 방향과 근육에서 수동모드의 인체 기울임 시 근 활성도가 높았

으며, 방향에 따른 차이는 보이지 않았다.

본 연구 결과는 사용자에게 필요한 운동 형태에 따라 각기 다른 형태의 운동 패턴이 적용 가능함을 의미하며, 인체의 위치와 움직임 수행 환경 사이의 상호작용으로 평형 조절이 가능하여 인체 균형 조절의 향상에도 도움이 될 것이라 판단된다. 추후 다양한 척추 안정화 운동의 프로그램 개발에 대한 정량적인 데이터 수집 및 분석연구가 필요하며, 향후 능동/수동 운동에 따른 기움임 운동이 체간 근력 및 자세균형능력에 미치는 효과에 대한 연구를 진행할 것이다.

후 기

이 연구는 2012년도 중소기업청의 중소기업 기술혁신개발사업(과제번호: SA113693)과 2012년도 지식경제부(국민편익증진기술개발사업(QoLT), No. 10036494)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

1. Lee, K. K. and Park, J. Y., "The effects of elastic band, Swiss ball, lumbar stabilizing exercise on weight distribution, lumbar strength and pain degree in middle-aged women with chronic lower back," *The Korea Journal of Sports Science*, Vol. 19, No. 3, pp. 1155-1165, 2010.
2. Kim, D. H., Lee, K. I., and Jung, J. Y., "The effects of 8 week combined exercise program on the biomechanical function recovery of patients suffering from work-related back problems," *Korean Journal of Sport Biomechanics*, Vol. 19, No. 3, pp. 567-580, 2009.
3. Krismer, M. and Tulder, M. V., "Low Back Pain," *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, Vol. 21, No. 1, pp. 77-91, 2007.
4. Graves, J. E., Pollock, M. L., Carpenter, D. M., Leggett, S. H., Jones, A., MacMillan, M., and Fulton, M., "Quantitative assessment of full range-of-motion isometric lumbar extension strength," *Spine*, Vol. 15, No. 4, pp. 289-294, 1990.
5. Panjabi, M. M., "The stabilizing system of the spine. Part 1. Function, dysfunction adaption and enhancement," *Journal of Spinal Disorders & Techniques*, Vol. 5, No. 4, pp. 383-389, 1992.
6. Kim, H. S. and Kim, S. Y., "Internal approach of low back pain(I)," *Diagnosis and Treatment*, Vol. 15, No. 4, pp. 407-420, 1995.
7. Kim, Y. S., "A comprehensive anatomical approach to low back pain," *The Journal of Korean Society of Physical Therapy*, Vol. 10, No. 2, pp. 149-159, 1998.
8. Hides, J. A., Strokes, M. J., Saide, M., Jull, G. A., and Cooper, D. H., "Evidence of lumbar multifidus muscle wasting ipsilateral to symptoms in patients with acute/subacute low back pain," *Spine*, Vol. 19, No. 2, pp. 165-172, 1994.
9. Danneels, L. A., Vanderstraeten, G. G., Cambier, D. C., Witvrouw, E. E., and De Cuyper, H. J., "CT imaging of trunk muscles in chronic low back pain patients and healthy control subjects," *Eur. Spine J.*, Vol. 9, pp. 266-272, 2000.
10. O'sullivan, P. B., Twomey, L. T., and Allison, G. T., "Dynamic stabilization of the lumbar spine," *Critical Reviews in Physical and Rehabilitation Medicine*, Vol. 9, pp. 315-330, 1997.
11. Moseley, G. L., Hodges, P. W., and Gandevia, S. C., "Deep and superficial fibers of the lumbar multifidus muscle are differentially active during voluntary arm movements," *Spine*, Vol. 27, No. 2, pp. 29-36, 2002.
12. Cholewicki, J. and McGill, S. M., "Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: implications for injury and chronic low back pain," *Clinical Biomechanics*, Vol. 11, No. 1, pp. 1-15, 1996.
13. Vollowitz, E., "Furniture prescription for the conservative management of low-back pain," *Top Acute Trauma Rehabil*, Vol. 2, No. 4, pp. 18-37, 1988.
14. Yang, S. R., "The comparison of exercise method on back pain disability index, range of motion and muscle strength in low back pain patients," M.Sc. Thesis, Major in Sports Management, Ulsan Univ., 2009.
15. Kim, L. C., "The effects of core stability exercise with Physioball and Floor exercise on electromyographic activity of selected trunk and abdominal muscles and balance in healthy adults," M.Sc. Thesis, Department of Sports Medicine, Dankook Univ., 2004.
16. Kwon, W. A., Yang, K. H., and Lee, J. H., "The Effects on 3-Dimensional Exercise of Lumber Stabilization for Chronic Low Back Pain," *The Journal of Korean Society of Physical Therapy*, Vol.

- 18, No. 5, pp. 25-34, 2006.
17. Kim, S. H., Yu, B. G., and Lee, W. H., "Effects of Spinal Stabilization Exercise on the Cross Section Area of the Lumbar Multifidus, Lumbar Muscle Strength and Pain of Patients with Low Back Pain," *Journal of Sport and Leisure Studies*, Vol. 40, No. 2, pp. 527-536, 2010.
 18. Song, Y. Y., "The Effects of 3-D Incline and Rotation Exercise on Function in the Patient with Chronic Low Back Pain," M.Sc. Thesis, Department of Physical Therapy, Catholic University of Pusan, 2011.
 19. Anders, C., Brose, G., Hofmann, G. O., and Scholle, H. C., "Gender specific activation patterns of trunk muscles during whole body tilt," *Eur. J. Appl. Physiol.*, Vol. 101, No. 2, pp. 195-205, 2007.
 20. Kim, S. J., "The Changes of Co-contraction Patterns in Trunk and Lower Body Muscles with Multidirectional Tilting Motion on the Dynamic and Static Posturography," M.Sc. Thesis, Department of Physical Education, Daegu Univ., 2011.
 21. Kim, S. B., Chang, Y. H., Kim, S. K., Bae, T. S., Mun, M. S., and Park, J. C., "Changes of Muscle Activation Pattern of Trunk Muscles during Whole-body Tilts with and without Axial Rotation," *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, Vol. 29, No. 7, pp. 805-810, 2012.
 22. Lee, C. H., Park, S. T., Kim, J. W., Chai, O. H., and Han, E. H., "The Human Body, Concepts of Anatomy & Physiology," *Medical Korea*, 2007.
 23. Lee, H. O., "Activation of Trunk Muscles during Stabilization Exercise in Four-point Kneeling," *The Journal of Korean Society of Physical Therapy*, Vol. 22, No. 5, pp. 33-38, 2010.
 24. Magee, D. J., "Instability and Stabilization," *Theory and Treatment*, 2nd Seminar Workbook, 1999.
 25. Kim, E. R. and Lee, G. C., "The Exercise Protocol for Spinal Stabilization," *The Korean Academy of Physical Therapy Science*, Vol. 12, No. 31, pp. 61-74, 2008.
 26. Bae, S. S., Kim, C. Y., HwangBo, G., Chung, H. A., and Choi, J. W., "The Effect of Motor Control with Active Movement and Passive Movement," *The Journal of Korean Society of Physical Therapy*, Vol. 11, No. 3, pp. 13-21, 1999.