

정상 성인 남녀의 선 자세에서 비예측적 지지면 이동 시 체간 안정성과 균형능력 비교

김민희, 김유신, 윤범철

고려대학교 보건과학대학 물리치료학과

Gender Difference in Trunk Stability and Standing Balance during Unexpected Support Surface Translation in Healthy Adults

Minhee Kim, Yushin Kim, BumChul, Yoon

Department of Physical Therapy, College of Health Sciences, Korea University, Seoul, Republic of Korea

Purpose: The aim of this study was to clarify the gender difference during standing balance in accordance with recruitment of abdominal muscles against sudden support surface translation.

Methods: Twenty healthy males ($n = 10$, 26.50 ± 3.54 years, 170.60 ± 6.30 cm, 72.80 ± 5.69 kg) and females ($n = 10$, 24.40 ± 2.63 years, 163.00 ± 4.97 cm, 52.10 ± 4.41 kg) participated in the study. Each subject performed standing balance task on a platform, which moved in the anterior and posterior direction, with a total of 18 trials in three abdominal conditions (resting, hollowing, and bracing). We analyzed angular displacement of thoracic and lumbar spine and linear displacement of center of mass for evaluation of spinal stability and standing balance, respectively.

Results: Angular displacement of thoracic and lumbar spine and linear displacement of center of mass did not differ significantly between female and male in all conditions.

Conclusion: Our results indicate that the ability to maintain spinal stability and standing balance were similar between male and female regardless of the abdominal contractile conditions and the direction of support surface translation.

Key Words: Sex, Spine, Abdominal Muscles, Postural Balance

1. 서론

갑작스런 신체 흔들림은 일상생활에서 빈번하게 일어나며, 낙상이 발생하였을 경우 이로 인한 손상은 삶의 질 저하 뿐 아니라 일상생활의 활동 수준을 저하 시킨다.¹ 특히 여성은 남

성에 비해 낙상으로 인한 손상 경험이 58% 높은 것으로 보고 되었으며,² 스포츠 활동시의 비 접촉성 부상 위험률은 2-8배 높은 것으로 나타났다.³

균형 소실로 인한 손상 위험률이 성별에 따라 다른 원인을 알아보기 위한 연구들이 지속적으로 진행되고 있으나 아직 까지 결과에 대한 논란의 여지가 많다. 몇몇 연구들은 여성에 비해 남성의 균형 회복 능력이 더 높은 것으로 보고하였으나,^{4,5} 다른 연구자들은 오히려 여성의 균형 회복 능력이 더 좋은 것으로 보고하였다.^{6,7} 또한 성별에 따른 균형 회복 능력은 신장이나 발 길이로 정규화하였을 때는 차이가 없다고 보고한 연구들도 있다.^{8,9}

Received Mar 18, 2014 Revised Apr 9, 2014

Accepted Apr 10, 2014

Corresponding author BumChul, Yoon, yoonbc@korea.ac.kr

Copyright © 2014 The Korea Society of Physical Therapy
This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

그러나 갑작스런 신체 동요 시 남녀 차이를 비교한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 남녀 차이를 규명하기 위해 적용한 기존의 균형회복 과제들은 한 다리로 서기(one-leg standing), 두 다리로 서기(quiet standing), 일직선 서기(tandem standing)와 같은 정적인 균형 유지와^{4,5,7} 구르기, 누운자세에서 똑바로 일어서기와 같은 기능적 과제 수행에 국한 되어 있다.^{10,11} 실제 일상생활에서의 남녀 균형능력의 차이를 알아보기 위해서는 한발 더 나아가, 갑작스런 신체 동요가 유발된 상황과 같은 비예측적 동적 균형 회복과제를 적용하는 것이 필요하다.

갑작스런 동요 시 중추신경계는 신체 흔들림을 최소화하고 기저면 내 무게중심을 유지하기 위해 비수직적 반사기전을 통해 균형을 회복하고자 한다.¹² 이 과정에서 인체 중심부의 체간 근육(core muscles)이 중요한 역할을 하며,^{13,14} 그 중에서도 복부 근육은 체간 안정화에 역학적인 기여가 높은 것이 밝혀지면서 많은 임상가들의 주목을 받아왔다.¹⁵⁻¹⁷ 복부 근육은 수축 패턴에 따라 복부 심부근의 독립 수축을 유도하는 할로잉(hollowing)과 모든 복부근육을 동시 수축하는 브레이싱(bracing)으로 분류된다. 따라서 안정시의 균형능력 비교 뿐 만 아니라 균형회복에 중요한 역할을 하는 복부수축의 패턴에 따른 차이가 있는가를 함께 확인할 필요가 있다.

본 연구의 목적은 복부 수축 패턴이 적용된 신체 동요 시 성별에 따른 체간 안정성과 균형 회복 능력의 차이를 규명하는 것이다. 여성의 신체 활동 시 부상 위험률이 남성에 비해 높은 것을 고려해 볼 때,³ 남녀의 균형 특성을 확인하는 것은 그 원인을 추론하는데 중요한 기초자료가 될 수 있을 것이다. 본 연구의 가설은 갑작스런 신체 동요 시 남녀 간 체간 안정성 및 균형능력의 차이가 발생하지만, 복부 전략을 사용할 경우 그 차이가 감소한다는 것이다. 이를 검증하기 위해 선 자세에서 복부 근육 수축 패턴을 적용하고 비예측적으로 지지면을 이동시켰다. 이때, 동작분석을 통해 신체 동요 시 각 척추 분절의 각 변위와 인체 무게 중심점의 선형 변위를 측정하여 체간 안정성과 신체 균형 능력의 지표로 활용하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

연구 대상자는 건강한 정상 성인으로 남자 10명(26.50±3.54세, 170.60±6.30cm, 72.80±5.69kg)과 여자 10명(24.40±2.63세, 163.00±4.97cm, 52.10±4.41kg)이 참여하였다 (Table 1). 최근 3개월 이내 척추 측만증, 척추 후만증과 같은 척추의 구조적 결함이 있는 자, 하지의 감각 결손이나 마비 증상이 있는 자와 같이 척추와 관련된 수술이나 병력을 가진 자는 제외하였다. 모든 대상자는 연구에 참여하기 전 연구의 진행 절차, 목적 등에 관한 설명을 듣고 동의서에 서명하였으며 본 실험은 윤리심의위원회(Institutional Review Board)의 승인을 받은 후 진행되었다.

2. 실험장비

(1) 초음파 영상

본 실험에 앞서 모든 피험자에게 할로잉과 브레이싱의 정확한 수행방법을 학습시키기 위해 초음파 영상장비 (Sonoplus992, Enraf Nonius, Delft, the Netherlands)를 활용하여 시각적 피드백을 제공하였다.

(2) 지지면 이동 장비

본 연구에서 사용된 지지면 이동 장비(Moving Platform, VARUP Inc, Korea)는 갑작스런 동요를 제공하기 위하여 사용되었다. 크기는 세로 1.62m, 가로 0.93m, 높이 0.35m로 갑작스런 전방이동과 후방이동을 제공한다. 각각의 이동은 컴퓨터에 의해 조정되며 이동거리는 10cm, 속도는 0.2m/s, 각속도는 0.4m/s²이다.

(3) 동작분석

균형회복 능력을 분석하기 위하여 삼차원 동작분석장비인 Motion Analysis Corporation (Santa Rosa, CA, USA)을 사용 하였으며 6대의 적외선 카메라가 대상자의 몸에 부착된 표식자를 인식하여 운동 형상학적 지표를 측정하였다. 데이터

Table 1. General characteristics of participants

	Male	Female
Age (year)	26.50 ± 3.54	24.40 ± 2.63
Height (cm)	170.60 ± 6.36	163.00 ± 4.97
Weight (kg)	72.80 ± 5.69	52.10 ± 4.41

Values are means ± standard deviations

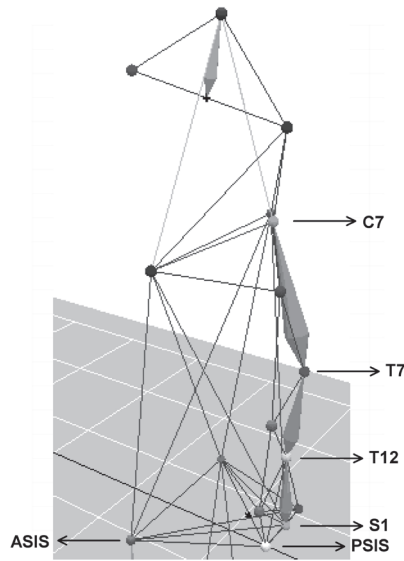


Figure 1. Modeling of inter-segmental spine. C7 - 7th cervical, T7 - 7th thoracic, T12 - 12th thoracic, S1 - 1st sacral, ASIS: anterior superior iliac spine, PSIS: posterior superior iliac spine.

는 200Hz로 추출하였으며 카메라의 오차를 교정하기 위해 영점조절을 시행하였고 차단주파수(cut-off frequency)는 6Hz로 필터링 하였다. 피험자의 신체 분절을 인식하기 위하여 Modified Helen hays marker set에 따라 해부학적 경계점에 부착하였다.¹⁸ 총 20개의 표식자를 목뼈 7번 가시돌기, 등뼈 7번 가시돌기, 등뼈 12번 가시돌기, 엉치뼈 1번 가시돌기, 전상장골극 양측, 후상장골극 양측에 부착하였으며 지지면 이동 장비의 움직임을 캡처하기 위하여 위에 4개의 표식자를 부착하였다. 갑작스런 동요 시 균형 회복 능력을 평가하기 위하여 척추 분절의 각 변위와 무게중심점의 선형 변위를 분석하였고 모델링 방법은 다음과 같다. 상부 흉추는 목뼈 7번과 등뼈 7번 가시돌기를 연결한 분절이며 하부 흉추는 등뼈 7번과 등뼈 12번 가시돌기를 연결한 분절, 요추추부는 등뼈 12번과 엉치뼈 1번의 가시돌기를 연결한 분절로 정의하였다(Figure 1). 무게중심점은 양측 전상장골극의 중심과 양측 후상장골극의 양측의 중심을 연결한 선의 후방 1/3 지점으로 정의하였다.

3. 실험 절차

(1) 사전준비 단계

참가자들은 임상경력 9년차의 물리치료사에게 할로잉과 브레이싱 수축방법을 10초간 유지하도록 총 5회에 걸쳐 교육받았으며 초음파 장비의 이미지 영상을 통해 그 수행여부

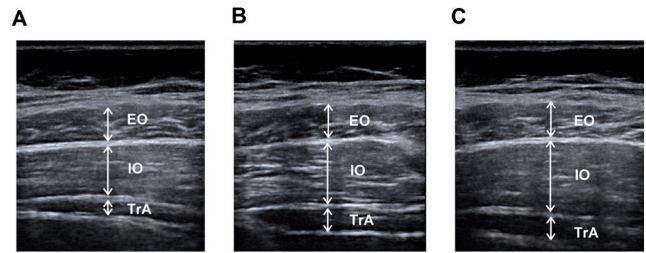


Figure 2. Ultrasound imaging of the lateral abdominal wall. A: resting, B: hollowing, C: Bracing. EO - external oblique, IO - internal oblique, TrA - transverse abdominis

를 확인하였다. 안정 상태는 복부 근육이 수축을 하지 않은 상태로서 별 다른 지시 또는 복부 수축 없이 복부근육의 두께를 촬영하였다(Figure 2A). 할로잉은 심부 복부 근육의 수축을 유도할 때 사용하는 기법으로 하복부를 서서히 척추 방향으로 끌어당기듯이 수축하도록 지시하였고, 복횡근의 두께에 초점을 두었다(Figure 2B).¹⁹ 또한 초음파 이미지상 배바깥빗근과 배속빗근의 두께 증가를 최소화하였다. 브레이싱은 모든 복부근육의 동시수축을 유도하는 기법으로 척추는 중립자세를 유지한 상태에서 흉곽의 외측직경이 증가하도록 복부근육의 최대 수축을 지시하였으며,²⁰ 초음파 이미지상 배바깥빗근 배속빗근, 복횡근이 모두 두께가 증가하는지 확인하였다(Figure 2C).

(2) 갑작스런 동요 단계

대상자는 안전 하니스(safety harness)를 착용한 상태에서 눈을 감은 채 양 발은 어깨 넓이로 벌리고 양 팔은 가슴 앞에 교차 자세로 지지면 이동 장비 위에 서있도록 하였다. 지지면 이동 장비는 대상자가 예측하지 못하는 상태에서 갑작스럽게 이동하며 스텝핑(steping) 없이 균형을 회복하도록 지시하였다.

시작 자세를 동일하게 유지 하기 위해 발 위치를 표시하였으며 총 18번의 갑작스런 동요를 전방과 후방의 두 가지 방향으로 안정, 할로잉, 브레이싱 상태에서 각각 3회 반복 측정하였다. 안정 시는 실험자의 어떠한 지시도 없이 대상자 자신의 방법으로 균형을 회복하도록 하였다. 지지면의 이동은 10-30초의 간격을 두고 예상치 못하게 무작위로 적용하였으며 대상자의 피로를 최소화 하기 위하여 6번 시도 마다 3분 췌의 휴식시간을 제공하였다.

4. 분석 방법

갑작스런 지지면의 이동 시 신체의 전후방 동요를 정량화하기

위하여 시상면에서의 척추 분절의 운동형상학적 신호는 CORTEX 1.0 software (Motion Analysis Corporation, Santa Rosa, CA, USA)를 사용하여 분석하였으며 무게중심점의 선형 변위는 MATLAB (The Mathworks, Inc., Natick, MA)을 통해 계산하였다. 모든 데이터는 3회 측정된 값의 평균값을 사용하였으며 동요 이전 100ms 에서부터 이후 1.5sec 구간의 각 변위를 분석 하였다. 척추 분절과 무게중심점의 변위는 최고 지점에서 최저 지점을 뺀 값으로 정의하며 큰 각 변위는 해당 분절의 동요가 크게 일어났음을 의미한다.

5. 통계 방법

본 실험의 자료는 SPSS (statistical Package for the Social Science, Chicago, USA) Version 21.0 통계패키지를 이용하여 분석하였다. 모든 자료는 Kolmogorov-Smirnov 검정 방법을 사용하여 정규 분포 함을 확인하였다. 본 연구의 가설 검증을 위하여 반복측정분산분석[two-way repeated measures: 전략(안정, 할로잉, 브레이싱) X 성별 (남, 여)]에서 그룹간 검정을 통해 성별에 따른 체간 안정성 및 균형능력의 차이를 확인하였고, 교호작용을 통해 복부수축 조건이 성별에 따른 차이에 영향을 미치는지 알아보려고 하였다. 통계학적 유의 수준 α 는 0.05로 설정하였다.

III. 결과

1. 척추 분절의 각 변위

지지면의 갑작스런 전방 이동 시 신체는 후방 동요가 유발된다. 척추 분절의 각 변위는 성별에 따른 차이가 없었으며($F = 0.152, p > 0.05$) 복부수축 패턴과 교호작용이 나타나지 않았다($F = 1.838, p > 0.05$). 전체 척추 분절의 각 변위는 여자가 남자보다 안정 조건 에서 7% 컸으며, 할로잉 조건에서는 8% 컸다. 브레이싱에서는 여자가 남자보다 2% 작았다. 각 척추 분절의 성별에 따른 평균 및 표준오차는 Figure 3A에 제시 하였다.

지지면의 갑작스런 후방 이동 시 신체는 전방 동요가 유발된다. 전체 척추 분절의 각 변위는 성별에 따른 차이가 없었으며($F = 0.16, p > 0.05$) 복부수축 패턴과 교호작용이 나타나지 않았다($F = 0.27, p > 0.05$). 척추 분절의 각 변위는 여자가 남자보다 안정 조건 에서 6% 작았으며, 할로잉 조건에서는 8% 작았다. 브레이싱에서는 여자가 남자보다 1% 컸다. 각 척추 분절의 성별에 따른 평균 및 표준오차는 Figure 3B에 제시하였다.

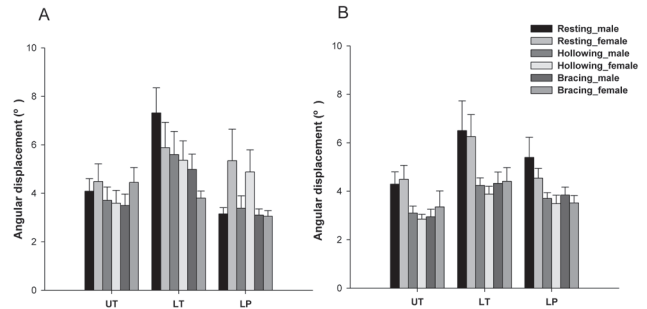


Figure3. Angular displacement of inter-segmental spine. A: forward translation, B: backward translation. UT: upper thoracic, LT: lower thoracic, LP: lumbopelvis.

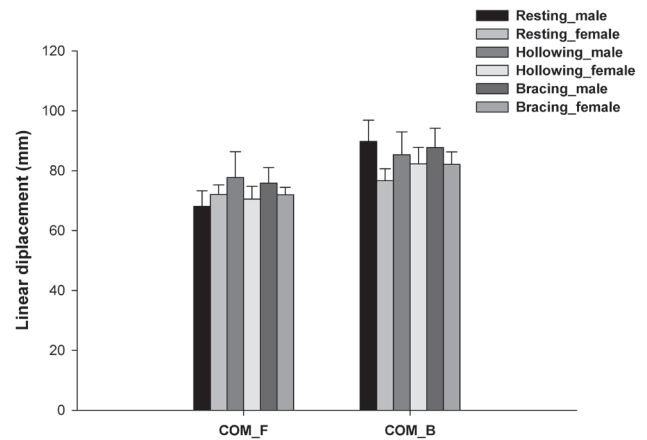


Figure4. Linear displacement of center of mass. COM_F: forward translation, COM_B: backward translation.

2. 신체 무게중심점의 선형 변위

지지면의 갑작스런 전방 이동 시 신체 무게중심점의 선형 변위는 인체의 전반적인 흔들림을 대표한다. 무게중심점의 선형 변위는 성별에 따른 차이가 없었으며($F = 0.140, p > 0.05$) 복부수축 패턴과 교호작용이 나타나지 않았다($F = 0.140, p > 0.05$). 안정 조건에서 무게중심점의 선형 변위는 여자가 남자보다 5.53% 컸다. 할로잉 조건과 브레이싱 조건에서는 여자가 남자보다 각각 10.30%, 5.47% 작았다.

지지면의 갑작스런 후방 이동 시 남녀간 무게중심점의 선형 변위는 성별에 따른 차이가 없었으며($F = 0.920, p > 0.05$) 복부수축 패턴과 교호작용이 나타나지 않았다 ($F = 1.301, p > 0.05$). 안정, 할로잉, 브레이싱 모든 조건에서 무게중심점의 선형 변위는 여자가 남자보다 각각 17.03%, 3.69%, 6.9% 작았다. 지지면의 전방 및 후방 이동시의 무게중심점 선형 변

위의 성별에 따른 평균 및 표준오차는 Figure 4에 제시하였다.

IV. 고찰

본 연구는 서있는 자세에서 갑작스런 동요가 유발되었을 때 안정성에 주요한 역할을 하는 복부근육의 동원패턴에 따라 남녀간의 균형 능력에 차이가 있는가를 규명하고자 시행하였다. 본 연구에서 사용한 갑작스런 지지면의 이동 방식은 전세기적으로 균형 연구에 널리 사용되는 표준화된 도구이다.²¹ 또한 결과 변수인 척추 분절의 각 변위와 무게 중심점의 선 변위는 각각 척추의 안정성과 신체 동요를 대표하는 지표로서 널리 사용되고 있으며 각 변위와 선형 변위의 감소는 신체의 흔들림이 적은 것으로 균형능력이 좋은 것을 의미한다.^{22,23}

비에측적 동적 균형 회복 시 남녀를 비교해 본 결과 체간 안정성을 나타내는 척추 분절의 각 변위와 전반적인 균형 능력의 지표인 무게중심점의 선형 변위는 성별에 따른 차이가 나타나지 않았다. 남녀는 무게 중심점 높이와 골반의 구조적 차이와 같은 형태학적 차이²⁴뿐만 아니라 근력과 운동 조절 능력과 같은 생리학적 차이²⁵가 있음에도 불구하고 비에측적 균형회복 능력에는 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 선 자세에서의 압력중심점의 전후, 좌우의 이동거리, 속도를 비교하였을 때 성별에 따른 차이가 없다고 보고한 연구와 일치 한다.^{26,27} 반면, 대학생을 대상으로 안정적인 지면과 불안정한 지면 위에서 동요 정도를 평가한 감각 통합과 균형검사(Clinical test of Sensory Interaction and Balance)결과 여성이 남성보다 47.50% 신체 동요가 더 컸다고 보고하며 남성이 여성 보다 균형 능력이 더 우위에 있음을 주장한 논문과는 다른 결과를 보인다.²⁸

이와 같은, 남녀간의 균형능력에 관한 견해의 차이는 균형능력 평가에 사용한 과제 특성의 차이에 기인한 것으로 보인다. 선행 연구에서 사용된 과제인 정적인 선 자세의 유지는 신경근계의 오류로 인한 내적 동요와 지면 반발력으로부터 기저면내에 무게중심을 유지하기 위한 노력으로 인해 흔들림 없이 선 자세를 유지하는 것은 불가능 하기 때문에 균형 능력을 평가하는 지표로 많이 이용되는 방식이다.²⁹⁻³¹ 그러나, 본 실험에서 사용한 갑작스런 지지면의 이동은 발바닥에 순간적인 전단력을 유발하고 이로 인해 발목 관절에서부터 회전력이 발생하므로 균형 회복에 요구되는 자세조절전략이나 감각 입력정보가 달라지게 되며,³² 이러한 차이가 영향을 미친 것으로 생각된다.

또한 남녀의 균형 능력의 차이를 알아보기 위하여 적용한 복부수축 패턴인 할로잉과 브레이싱조건에 따른 성별의 차이가 나타나지 않았다. 선행 연구에서는 할로잉과 브레이싱 적용시 체간의 안정성이 증가됨을 보고하였으며^{33,34} 특히 브레이싱이 더욱 효과적인 전략임을 지지하는 연구들이 있다.^{22,35} 따라서 안정 시 남녀차이가 발생하고 복부수축 패턴 적용 시 그 차이가 감소하였다면, 이는 복부 수축 패턴의 사용 유무가 남녀의 균형능력 차이에 영향을 준다는 지표로 활용될 수 있었을 것이다. 그러나 본 연구 결과 복부수축 패턴이 남녀간 균형 능력 차이에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 남녀간 균형능력 차이가 체간 안정성에서 비롯된 것이 아닌 다른 요인에 의한 것임을 시사하고 있다. 본 연구 과제에서 대상자들은 세 가지 복부 수축 전략을 사용하였고 이는 체간의 자세조절과 관련된 생체역학적 요인에 변화를 주었음을 의미한다. 그러나 균형 능력 향상과 관련하여 생체역학적 요인 외에도 운동 신경과 시각, 전정감각, 체성 감각 간 감각-운동 협응이 균형에 중요한 영향을 주는 것으로 알려져 있다.³⁶ 따라서 남녀간 균형 능력의 차이에 대한 요인이 있어 생체역학적 요인보다 감각-운동 협응에 대한 차이가 있는지 확인할 필요가 있으며, 이에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 보인다.

본 연구는 남녀의 균형능력을 비교하기 위하여 운동학적 변인만을 분석하였으며 압력중심점과 같은 운동학적 변인은 분석하지 못하였으며 적은 대상자로 인해 결과를 일반화 하기에는 제한점을 가진다.

결론적으로 본 연구는 선 자세에서 남녀의 체간 안정성과 균형능력을 비교해보고자 진행되었으며, 그 결과 성별에 따른 차이가 없는 것을 증명하였다. 본 연구에서는 갑작스런 지지면 이동을 통한 미끄러지는 상황을 연출하여 일상생활에서 경험할 수 있는 신체 동요 상황과 유사한 조건을 구축하고자 하였다. 본 연구의 결과는 향후 재활 남녀 재활의 지표로 사용될 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서 비교한 생체역학적 요인 이외에 감각-운동 협응에 대한 차이를 알아보는 추가적인 연구를 통해 성별에 따른 균형능력에 대한 폭넓은 견해를 제공할 것으로 기대된다.

Acknowledgements

본 연구는 고려대학교의 특별연구비 지원을 받았음.

참고문헌

1. Masud T, Morris RO. Epidemiology, of falls. *Age Ageing*. 2001;30(4):3-7.
2. Dunlop DD, Manheim LM, Sohn MW et al. Incidence of functional limitation in older adults: the impact of gender, race, and chronic conditions. *Arch Phys Med Rehab*. 2002;83(7):964-71.
3. Malone T, Hardaker W, Garrett W et al. Relationship of gender to anterior cruciate ligament injuries in intercollegiate basketball players. *J South Orthop Assoc*. 1993;2(1):36-9.
4. Panzer VP, Bandinelli S, Hallett M. Biomechanical assessment of quiet standing and changes associated with aging. *Arch Phys Med Rehab*. 1995;76(2):151-7.
5. Overstall P, Exton-Smith A, Imms F et al. Falls in the elderly related to postural imbalance. *Br Med J*. 1977;1(6056):261-4.
6. Ekdahl C, Jarnlo GB, Andersson SI. Standing balance in healthy subjects. Evaluation of a quantitative test battery on a force platform. *Scand J Rehabil Med*. 1988;21(4):187-95.
7. Era P, Sainio P, Koskinen S et al. Postural balance in a random sample of 7,979 subjects aged 30 years and over. *Gerontology* 2006;52(4):204-13.
8. Maki B, Holliday P, Fernie G. Aging and postural control. A comparison of spontaneous-and induced-sway balance tests. *J Am Geriatr Soc*. 1990;38(1):1-9.
9. Bryant EC, Trew ME, Bruce AM et al. Gender differences in balance performance at the time of retirement. *Clin Biomech*. 2005;20(3):330-5.
10. Kwon MJ, Bae SS, Chen JK. Description of rolling movement between the gender in the twenties. *J Korean Soc Phys Ther*. 1994;6(1):133-45.
11. Bae SS, Park, SO. Gender differences in movement patterns used by teenage to rise from supine to erect stance. *J Korean Soc Phys Ther*. 1994;6(1):147-53.
12. Horak FB, Nashner LM. Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *J Neurophysiol*. 1986;55(6):1369-81.
13. Borghuis J, Hof AL, Lemmink KA. The importance of sensory-motor control in providing core stability. *Sports Med*. 2008;38(11):893-916.
14. Leetun DT, Ireland ML, Willson JD et al. Core stability measures as risk factors for lower extremity injury in athletes. *Med Sci Sport Exer*. 2004;36(6):926-34.
15. Arjmand N, Shirazi-Adl A, Parnianpour M. Relative efficiency of abdominal muscles in spine stability. *Comput Method Biomec*. 2008(3);11:291-9.
16. Carpes FP, Reinehr FB, Mota CB. Effects of a program for trunk strength and stability on pain, low back and pelvis kinematics, and body balance: a pilot study. *J Bodyw Mov Ther*. 2008;12(1):22-30.
17. Cholewicki J, Vanvliet Iv JJ. Relative contribution of trunk muscles to the stability of the lumbar spine during isometric exertions. *Clin Biomech*. 2002;17(2):99-105.
18. Yu B. Effect of external marker sets on between-day reproducibility of knee kinematics and kinetics in stair climbing and level walking. *Res Sport Med*. 2003;11(4):209-18.
19. Chanthapetch P, Kanlayanaphotporn R, Gaogasigam C et al. Abdominal muscle activity during abdominal hollowing in four starting positions. *Manual Ther*. 2009;14(6):642-6.
20. Arab AM, Chehrehrizi M. Ultrasound measurement of abdominal muscles activity during abdominal hollowing and bracing in women with and without stress urinary incontinence. *Manual Ther*. 2011;16(6):596-601.
21. Brown LA, Jensen JL, Korff T et al. The translating platform paradigm: perturbation displacement waveform alters the postural response. *Gait Posture* 2001;14(3):256-63.
22. Vera-Garcia FJ, Elvira JL, Brown SH et al. Effects of abdominal stabilization maneuvers on the control of spine motion and stability against sudden trunk perturbations. *J Electromyogr Kines*. 2007;17(5):556-67.
23. Lafond D, Duarte M, Prince F. Comparison of three methods to estimate the center of mass during balance assessment. *J Biomech*. 2004;37(9):1421-6.
24. Tague, RG. Variation in pelvic size between males and females. *Am J Phys Anthropol*. 1989 Sep;80(1):59-71.
25. Gallagher D et al. Appendicular skeletal muscle mass: effects of age, gender, and ethnicity. *J Appl Physiol*. 1997;83(1):229-39.
26. Kim JW, Eom GM, Kim CS et al. Sex differences in the postural sway characteristics of young and elderly subjects during quiet natural standing. *Geriatr Gerontol int*. 2010;10(2):191-8.
27. Hageman PA, Leibowitz JM, Blanke D. Age and gender effects on postural control measures. *Arch Phys Med Rehab*. 1995;76(10):961-5.
28. Edwards HM. Gender Differences in Balance of College-aged Students. Wichita State University, May 4, 2011.
29. De Luca C, LeFever R, McCue M et al. Control scheme governing concurrently active human motor units during voluntary contractions. *J Physiol*. 1982;329(1):129-42.
30. Seo HJ, Kim JH. Analysis of Muscle Activation related to Postural Stability according to Different Frequency of Whole Body Vibration during Quiet Standing. *J Korean Soc Phys Ther*. 2013;25(5):316-21.
31. Kwon Mi, Gak HB. The Comparison of Weight Distribution between the Healthy Persons and Low Back Pain Patients during Standing Posture. *J Kor Soc Phys Ther*. 1993;5(1):9-15.
32. Liu W, Kim SH, Long JT et al. Anticipatory postural adjustments and the latency of compensatory stepping reactions in humans. *Neurosci lett*. 2003;336(1):1-4.
33. O' Sullivan PB, Phytty GD, Twomey LT et al. Evaluation of specific stabilizing exercise in the treatment of chronic low back

- pain with radiologic diagnosis of spondylolysis or spondylolisthesis, *Spine*, 1997;22(24):2959-67.
34. Hides J, Wilson S, Stanton W et al. An MRI investigation into the function of the transversus abdominis muscle during "drawing-in" of the abdominal wall, *Spine*, 2006;31(6):E175-8.
34. Vera-Garcia FJ, Brown SH, Gray JR et al. Effects of different levels of torso coactivation on trunk muscular and kinematic responses to posteriorly applied sudden loads, *Clin Biomech*, 2006;21(5):443-55.
36. Fitzpatrick RD, McCloskey. Proprioceptive, visual and vestibular thresholds for the perception of sway during standing in humans, *J physiol*, 1994;478(1):173-86.