발목 불안정이 있는 대상자에게 발목의 관절가동술이 족압, 발목관절의 모멘트, 수직 지면반사력에 미치는 영향

The effects of joint mobilization in the subjects with ankle instability on the foot pressure, ankle moment and vertical ground reaction force

Na Mi Yoon[1], Yeon Soon Seo[1], Yang-Hoon Kang[2]

[1]Department of Physical Therapy, Mokpo Science University, Jeollanam-do, South Korea
[2]Department of Physical Therapy, Seonam University, Jeollabuk-do, South Korea

Corresponding author
Information Yang-Hoon Kang
Department of Physical Therapy, Seonam University, 439, Chunhyang-ro, Namwon-si, Jeollabuk-do, 55724, South Korea
Phone: 010-2020-1333, Fax: 063-620-0158, E-mail: mokpopt@hanmail.net

Abstract

Objective: The purpose of this study was to investigate the effects of joint mobilization on foot pressure, ankle moment, and vertical ground reaction force in subjects with ankle instability.
Method: Twenty male subjects (age, 25.38 ± 3.62 yr; height, 170.92 ± 5.41 cm; weight, 60.74 ± 9.63 kg; body mass index (BMI), 19.20 ± 1.67 kg/m^2) participated and underwent ankle joint mobilization. Weightbearing distribution, ankle dorsi/plantar flexion moment, and vertical ground reaction force were measured using a GPS 400 and a VICON Motion System (Oxford, UK), and subsequently analyzed. SPSS 20.0 for Windows was used for data processing and paired *t*-tests were used to compare pre- and post-mobilization measurements. The significance level was set at α = .05.
Results: The results indicated changes in weight-bearing, ankle dorsi/plantar flexion moment, and vertical ground reaction force. The findings showed changes in weight-bearing distribution on the left (pre 29.51 ± 6.31 kg, post 29.57 ± 5.02 kg) and right foot (pre 32.40 ± 6.30 kg, post 31.18 ± 5.47 kg). There were significant differences in dorsi/plantar flexion moment ($p < .01$), and there were significant increases in vertical ground reaction forces at initial stance (Fz1) and terminal stance (Fz2, $p < .05$). Additionally, there was a significant reduction in vertical ground reaction force at midstance (Fz2, $p < .001$).
Conclusion: Joint mobilization appears to alter weight-bearing distribution in subjects with ankle instability, with resultant improvements in stability.

Keywords: Foot pressure, Ankle moment, Vertical ground reaction force, Joint mobilization

서 론

자세조절은 인체의 무게중심을 지면 위에서 끊임없이 유지하는 과정이며(Yaggie & Mcgregor, 2002), 균형을 유지하기 위해서는 감각, 근골격계, 중추신경계의 지속적인 조절작용을 필요로 한다(Shumway-Cook &

Woollacott, 2006). 지면에 가해지는 압력과 모멘트가 제로가 되어 균형이 유지되는 순간을 서 있다고 할지라도 복잡한 근골격계의 조절과정을 필요로 하며 서 있는 자세를 유지하기 위한 과정을 자세조절체계라고 한다(Singh, 2005).

발목불안정(ankle instability, AI)은 발목 염좌(sprain)를 경험한 대상자들에게 가장 일반적으로 나타나며, 발목염좌의 과거력을 가진 대상자에서도 발목의 불안정이 나타난다(Konradsen, 2002). 또한, 발목에 대한 치료에도 불구하고 약 50%의 발목염좌 대상자들은 만성적인 불안정과 윤활막염 (synovitis)과 같은 잔존 증상들을 경험하게 된다. 발목불안정은 반복적인 발목염좌의 결과로 발목이 휘청거리는 느낌(giving way)과 같은 불안정한 증상이 나타나는데(Hiller et al., 2011), 발목의 역학적, 기능적인 결함으로 나타날 수 있으며, 원인은 인대의 손상과 골절 등으로 인한 연부조직 손상에 따른 구조적 불안정성과 발목관절 주위의 고유수용성 감각결손으로 인한 발목불안정성, 발목외반(eversion), 근육군의 기능부전, 발목관절의 가동범위 감소 등과 같은 기능적 불안정성이다. 족부의 변형은 비효율적인 발목의 기능적 불안정성을 가져오게 되는데, 병리학적 불안정성 및 관절운동과 윤활액의 부족, 퇴행성 변화 등이 나타나게 되며, 비효율적인 기능적 불안정성은 고유수용성 감각의 손실과 신경근 조절, 근력의 손실 그리고 자세조절의 감소로 나타나게 된다(Hertal J, 2002).

멀리건 관절가동술(Mulligan's mobilization with movement, MWM)은 능동적인 발등굽힘(dorsiflexion) 운동과정에서 목말뼈(talus) 위정강뼈의 후전방활공을 결합한 발목염좌 후에 발목 발등굽힘을 개선하기 위한 치료 방법이다(Mulligan, 1999). 통증이 없는 빠른 회복의 요구는 일반적으로 MWM 테크닉과 연관되어 있다 (Mulligan, 1993, 1999; Exelby, 1996). 증상이 가벼운 제한된 발목 발등굽힘에 MWM 의 효과에 대한 연구를 통해, 양쪽 체중지지와 발목 발등 굽힘범위가 개선되는 것을 알아냈다(Vicenzino et al., 2001). Akbarietal (2007)은 발목불안정이 있는 대상자에게 여러 형태의 발과 발목의 만성질환치료에 사용되고 있는 Arch support 와 같은 보존적인 치료를 통하여 통증감소와 기능 수준향상에 효과가 있었고, 최근에는 arch support 가 감각운동계에 긍정적인 효과를 주며, 이러한 방식으로 하지의 신경근육기능을 향상 시킬 수 있다고 제안하였다. 그러나 교정테이핑, arch support 와 같은 보조적인 발목의 안정화 방법이 엄지건막류(bunion), 망치발가락(hammer toe) 기형 감소와 족부 및 허리통증감소, 측정 가능한 정도의 균형능력을 향상 시킬 수 있는지에 대해 논쟁의 여지가 있다고 보고하였다(Hertel et al., 2001; Kelaher, et al., 2000). 발목불안정을 막기 위해서는 발목의 근력을 강화시키고, 고유수용성 감각운동을 실시하여 근력과 관절가동범위(Range of Motion: ROM)를 회복시키고, 운동복귀를 위한 기능적 훈련을 실시 해야한다. 이러한 기능적 재활운동은 손상을 예방하기 위한 중요한 부분으로 수술과 고정보다 더 효과적으로 통증과 부종을 감소시키고(Scott, 2007), 특히 고유수용성 감각훈련으로 인한 기능적 재활운동은 발목인대 재손상률을 감소시킨다고 보고하였다(Michael & Thomas, 2003). 발목관절의 불안정성에 관절의 가동술을 적용하여 체중심의 변화를 의미하는 족압과 관절내의 근활성도를 추정할 수 있는 모멘트와 지면에 대한 반작용의 힘을 나타내는 수직 지면반사력의 변화에 대한 가설을 세우고 따라서, 본 연구에서는 발목불안정이 있는 대상자에게 발목의 관절가동술이 족압, 발목관절의 모멘트, 수직지면반사력에 미치는 영향에 대하여 알아보고 이에 대한 결과를 임상적 활용 가능성에 대한 기초자료로 제공하고자 한다.

연구방법

1. 연구대상자

본 연구는 발목불안정이 있는 남자 20 명을 대상으로 본 실험의 내용, 절차, 예상되는 효과에 대한 설명은 하지 않고, 자발적으로 참여의사를 밝힌 자에 한하여 서면으로 동의를 얻어 선정하였다. 연구대상자의 일반적 특성을 알아보기 위하여 체성분분석기(InBody J05, Biospace, USA)를 이용하여 측정하였다. 대상자 선정기준은 양 하지의 정형외과적 수술이나 장애로 인하여 보행에 문제가 없으며, 혼자서 일어 설 수 있고, 독립적인 서기자세를 1 분 이상 지속할 수 있는 정상인을 대상으로, 이중 본 연구에 영향을 줄 수 있는 고혈압이나 당뇨병 병력이 있는 자, 시각 및 전정감각에 이상이 있는 자, 상지 및 하지, 체간에 정형외과적 질환병력이 있는 자는 연구에서 제외하였다.

연구에 참여한 연구대상자 20 명의 일반적 특성을 알아보기 위해 InBody J05 system(Biospace, USA)를 이용하

여 측정한 결과는 다음과 같다(Table 1). 평균 연령은 25.38±3.62 세, 신장은 170.92±5.41 ㎝, 몸무게는 60.74±9.63 ㎏이었으며, 체질량 지수는 19.20±1.67 ㎏/㎡로 나타났다.

Table 1. General impression of participant(N=20)

Characteristics	Subjects
Age (years)	25.38±3.62
Height (cm)	170.92±5.41
Weight (㎏)	60.74±9.63
BMI (㎏/㎡)	19.20±1.67

2. 연구설계

본 연구는 발목 불안정이 있는 대상자에게 발목의 관절가동술이 족압, 발목관절의 모멘트, 수직 지면반사력이 미치는 영향을 알아보기 위하여 정량적으로 평가한 후 발목의 관절가동술을 6 주 동안 주 3 회, 하루 30 분씩 실시한 중재 전·후 설계이다(Figure 1).

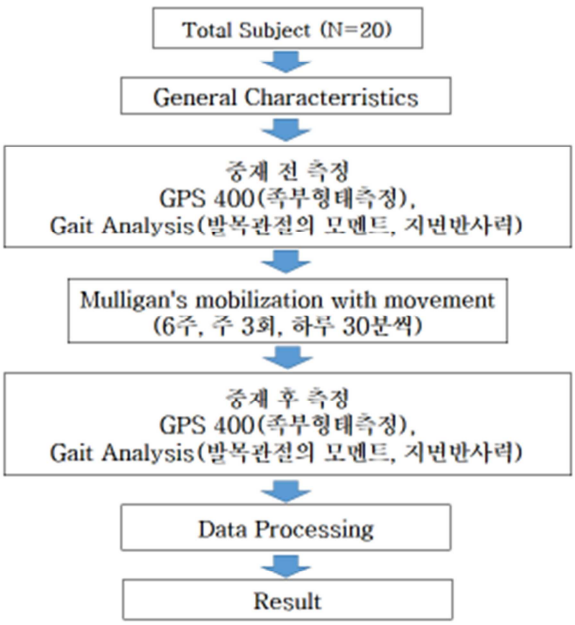

Figure 1. Design of experiments.

3. 운동방법

발목불안정이 있는 남자 20 명을 대상으로 멀리건관절 가동술을 적용하였다. 먼저 환자종아리의 뒤쪽면은 치료대 위에 놓고 발목관절은 편안한 위치에 놓는다. 고정벨트로 종아리를 치료대 위에 고정시킨 후, 견인벨트로 목말뼈를 감싸서 걸고 거의 바닥에 닿을 정도의 길이로 고리를 만든다. 치료 사는 발끝을 바닥에 접촉시키고, 발꿈치를 벨트의 고리 안에 넣은 자세로 서서 뒤꿈치를 아래쪽으로 움직인다. 이것은 종아리를 기준으로 목말뼈가 뒤쪽

(posterior)방향으로 미끄러지는 작용을 하여 발등굽힘의 제한 시 발목관절을 뒤쪽 방향으로 미끄러지게 하는 원리를 이용하여 치료에 적용하였다(Kaltenborn, 2007). 10 초 간 유지 후, 시작 자세로 돌아가 5 초간 휴식을 취하고 10 회 반복 하는 것을 한 세트로 하여 총 6 세트를 반복 실시하였다(Colins et al., 2004; Vicenzino et al., 2006).

Figure 2. Mulligan's mobilization with movement

4. 측정방법

4.1 족부 형태 측정

GPS 400 (Global Postural System)을 이용하여 족부 형태 측정을 통합적으로 분석하였고, PODATA 를 통하여 양측 체중지지 분배율, 5 번째 발허리뼈 족압비율, 발꿈치뼈 족압비율에 대한 분석을 하였다. 대상자의 족압검사를 위해 GPS 에 PODATA, Philips 카메라를 설치하여 발바닥 압력분포를 분석한 결과 앞발의 최대길이와 중간발의 최소 길이 비를 자동 산정하였다. 최근에는 정량적인 분석을 위하여 족압검사를 통한 족부변형 진단이 이루어지고 있다. 대상자는 바로 선 자세에서 30°정도 다리를 벌린 후 전방을 주시한 자세에서 중심을 잡도록 한 후 측정하고, 대상자가 바로 선 자세에서 발목전략을 사용하여 균형을 잃지 않고 균형을 유지하며, 최대의 범위로 무게중심이 이동된 선 자세에서의 안정성한계를 측정하여 족압을 비교하였다. 단위는 좌우의 체중에 대하여 % Kg 으로 표기하였다.

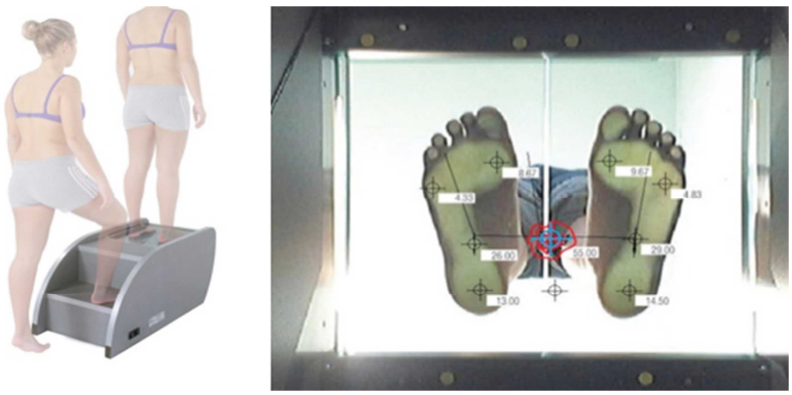

Figure 3. Foot pressure on GPS400

4.2 발목관절의 모멘트와 수직 지면반사력의 측정

먼저 신장, 체중, 체질량, 양하지 길이 등 정적검사 시 자료분석에 필요한 신체계측을 시행하였다. 발목관절의 모멘트는 10m 거리를 걸어서 3 회 반복하여 측정하였고, 수직 지면반사력의 측정은 중앙부 바닥에 설치되어 있는 2 개의 힘판(force platform)을 이용하여 역동역학 방법으로 측정하였다. 검사 후 얻어진 모든 자료는 발목관절의 모멘트와 수직 지면반사력을 측정하였고, 평균치를 내어 중재 전·후를 통계 처리한 후 비교 분석하였다. 대상자들의 정적·동적 검사는 VICON Motion Systems Limited (Oxford, UK)의 VICON workstation software (Oxford Metrics, Oxford, UK)를 내장한 PC 에 Six-camera motion analysis system (120 ㎐, VICON Motion Systems Ltd., Oxford, UK)을 이용하여 보행 시 3 차원 상의 운동역학적 변화를 검사하였다. 검사 직전 카메라에서 발생 될 수 있는 오차를 교정한 후 하지와 골반의 주요 관절과 근육에 표식자(marker)를 부착하고, 힘 측정판 위에 바로 서서 정지한 상태에서 각 관절의 위치를 VICON optical motion capture system 에 연결된 컴퓨터 화면에서 측정을 시행하였다. 이때 부착된 표식자는 직경 1.4 cm 의 구형으로 사용하였다. 측정값은 VICON Plug-In-Gait model 을 통해 산출하였다.

Figure 4. VICON Motion Systems

5. 분석방법

모든 자료는 SPSS for window version 20.0 통계 프로그램(IBM Co., Armonk, NY, USA)을 이용하여 분석하였다. 전체 대상자들의 일반적 특성과 중재 전·후의 족압을 알아 보기 위하여 기술통계를 이용하였고, 중재 전·후의 발목관절의 모멘트와 수직 지면반사력의 유의성을 알아 보기 위하여 대응표본 T 검정을 실시하였다. 모든 통계학적 유의성을 검증하기 위해 유의수준 α 는 0.05 로 하였다.

결 과

1. 중재 전 · 후에 따른 선 자세에서 양측 체중지지 분배율 비교

선 자세에서 중재 전·후 양측 체중지지 분배율의 중재 전·후 비교검정은 다음과 같다(Table 2). 중재 전 왼발과 오른발의 체중분포를 분석한 결과는 29.51±6.31 kg, 32.40±6.30 kg 이었고, 중재 후 왼발과 오른발의 체중분포를 분석한 결과는 29.57±5.02 kg, 31.18±5.47 kg 이었다. 중재 전 왼발과 오른발의 5 번째 발허리뼈 족압 비율을 분석한 결과 42.85±9.60 % kg, 35.37±13.34 % kg 이었고, 중재 후 왼발과 오른발의 5 번째 발허리뼈 족압 비율을 분석한 결과는 41.58±9.97 % kg, 36.29±13.38 % kg 이었다. 중재 전 왼발과 오른발의 발꿈치뼈 족압 비율을 분석한 결과 38.03±14.33 % kg, 45.93±17.75 % kg 이었고, 중재 후 왼발과 오른발의 발꿈치뼈 족압

비율은 41.28±12.05 % kg, 48.03± 11.95 % kg 로 나타났다.

Table 2. A comparison of distribution for weight bearing between pre and post value

	Pre	Post
Weight on left foot(kg)	29.51±6.31	29.57±5.02
Weight on right foot(kg)	32.40±6.30	31.18±5.47
% weight distribution of left foot on the 5thmetatarsal(%kg)	42.85±9.60	41.58±9.97
% weight distribution of left foot on the calcaneus(% kg)	38.03±14.33	41.28±12.05
% weight distribution of right foot on the 5thmetatarsal(%kg)	35.37±13.34	36.29±13.38
% weight distribution of right foot on the calcaneus(% kg)	45.93±17.75	48.03±11.95

Values are mean±SD

2. 중재 전 · 후에 따른 발목관절 시상면 모멘트

중재 전·후에 따른 발목관절 시상면 모멘트를 비교 분석한 결과는 다음과 같다(Table 3). 발목관절의 발바닥굽힘(planter flexion) 모멘트는 0.10±0.08 Nm/kg 와 0.19± 0.13 Nm/kg 로 중재 전·후의 비교분석에서는 유의한 차이가 나타났다($p<.01$). 발목관절의 발등굽힘 모멘트는 1.21±0.31 Nm/kg 와 1.38±0.18 Nm/kg 로 중재 전·후의 비교 분석에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 발목관절의 시상면상 모멘트 운동범위에 대한 중재 전·후의 비교분석에서는 1.35±0.13 Nm/kg 와 1.58±0.23 Nm/kg 로 유의한 차이가 나타났다($p<.01$).

Table 3. A comparison of ankle dorsi/plantar moment ROM between pre and post value (unit: Nm/kg)

	Pre	Post	t	p'
Ankle planterflexion	0.10±0.08	0.19±0.13	-3.834	.002*
Ankle dorsiflexion moment Max	1.21±0.31	1.38±0.18	-1.831	.088
Ankle Dorsi/Plantar moment ROM	1.35±0.13	1.58±0.23	-4.109	.001*

Values are mean±SD, *$p<.01$

3. 중재 전 · 후에 따른 내 · 외측 지면반사력 비교

내·외측 지면반사력에 대한 각 그룹의 변화를 분석한 결과는 다음과 같다(Table 4). 내·외측 지면반사력은 처음 지면과 접촉 시 발이 체중을 지지할 때 유연하게 함으로써 충격을 완화하는 부하 반응기 중간에서 중재 전·후 3.65±1.66% BW, 4.16±1.74% BW 의 최대내측 지면반사력(FML1)이 나타났고 발의 안정성을 유지시켜 주고

추진력을 발휘할 수 있도록 해주는 말기입각기에서 중재 전·후 14.66±3.32 % BW, 19.95±3,81% BW 의 최대 외측 지면반사력(FML2)이 나타나는 결과를 보였다. 내·외측 지면반사력의 최대값 비교분석에서는 최대 외측 지면반사력이 증가하는 양상을 보였다($p<.01$).

Table 4. A comparison of medial, lateral ground reaction force between pre and post value (unit: % BW)

	Pre	Post	t	p'
FML1 max	3.65±1.66	4.16±1.74	-.832	.419
FML2 max	14.66±3.32	19.95±3,81	-3.454	.004

Values are mean±SD, *$p<.01$

4. 중재 전 · 후에 따른 수직 지면반사력 비교

수직 지면반사력에 대한 각 그룹의 변화를 분석한 결과는 다음과 같다(Table 5). 수직 지면반사력은 신체의 무게중심이 빠르게 떨어지고체중 가속의 효과가 나타나는 초기입각기(Fz1)에서 중재 전·후 105.57±5.72 % BW, 111.50±8.91 % BW, 기준 발 위로 신체가 앞으로 구르며 무게중심이 올라가면서 생기는 중간입각기(Fz0)에서 중재 전·후 83.33±3.68 % BW, 69.69±6.18 % BW, 그리고 무게중심이 떨어지고 하방으로 가속하는 것을 가리키는 말기입각기(Fz2)에서 중재 전·후 104.66±5.22 % BW, 111.25±7.76 % BW 를 나타내는 결과를 보였다. 수직 지면반사력의 비교 분석에서는 중재 전·후의 유의한 차이를 보였는데, 중재 후의 초기입각기(Fz1), 말기입각기(Fz2)에서 증가를 보였고($p<.05$), 특히 중간입각기에서 현저히 감소하는 결과를 보였다($p<.001$).

Table 5. A comparison of vertical ground reaction force between pre and post value (unit: % BW)

	Pre	Post	t	p'
Fz1	105.57±5.72	111.50±8.91	-2.302	.037*
Fz0	83.33±3.68	69.69±6.18	7.451	.000**
Fz2	104.66±5.22	111.25±7.76	-2.416	.030*

Values are mean±SD, *$p<.05$,**$p<.001$

고 찰

신체는 흔들릴 때 다양한 전략들을 사용하고, 전략의 사용은 상황에 따라 달라지는데, 사용하는 전략의 특성과 능력에 따라 근 활동순서는 다양하게 변화하고 발을 자유롭게 움직일 수 있는 상황과 그렇지 못한 상황, 기저면이 클 때와 작을 때, 신체 흔들림이 발생한 경우 등과 같이 발이 놓여져 있는 상황에 따라 반응이 달라진다(Shumway-Cook & Woollacott, 2006). 발은 보행 시 신체와 지면을 연결하는 접촉지점으로 접촉으로 인해 발생된 감각정보는 중추신경계로 전달되고, 이러한 감각입력을 통하여 중추신경계는 신체의 안정성을 유지하며 이동을 할 수 있다(Giulio, Maganaris, Baltzopoulos, & Loram, 2009). 발은 발바닥에 주어진 압력을 통해 신체의 자세에 대한 감각정보를 중추신경계로 보내고, 자세유지를 위한 감각입력을 촉진한다(Menz et al., 2005). 발의

변형으로 인하여 발생되는 과도한 비대칭은 골반을 포함한 체간, 척추의 만곡, 근력의 비대칭 등을 생성하게 된다. 비대칭적 쏠림현상은 근 활동양상을 관찰해보면 비효율적으로 근육을 사용하여 근육비대칭을 유발할 수 있고, 발의 변형이 하지와 체간의 정적, 동적 자세의 균형에도 영향을 미칠 수 있다고 하였다(Shamberger, 2002). 족압은 발의 1 번째 지족관절, 5 번째 지족관절, 발꿈치뼈(calcaneus)의 압력비율을 나타내어 족부의 손상과 변형을 일으키는 요인을 분석할 수 있으며 정적인 자세에서 최고압력을 측정해서 족부의 변형과 족압의 관계를 알 수 있고 이는 족압이 발목의 안정성에 영향을 줄 수 있는 발의 내반력과 외반력 또한 평가할 수 있음을 의미한다고 보고하였다(Pitei et al., 1999). 본 연구 결과에 의하면 왼쪽 발과 오른쪽 발의 선 자세에서 양측 체중 지지분배율은 중재 전 왼발 29.51±6.31 kg, 오른발 32.40±6.30 kg 로 비대칭을 나타냈고, 중재 후 왼발 29.57±5.02 kg, 오른발은 31.18±5.47 kg 로 나타났다. 중재 전 왼발과 오른발의 5 번째 발허리뼈 족압 비율 분석결과는 42.85±9.60% kg, 35.37±13.34% kg 이었고, 중재 후 왼발과 오른발의 5 번째 발허리뼈 족압비율 분석 결과는 41.58±9.97% kg, 36.29±13.38% kg 이었다. 중재 전 왼발과 오른발의 발꿈치뼈 족압 비율 분석 결과는 38.03±14.33% kg, 45.93±17.75% kg 이었다. 관절의 위치 감각은 인대나 관절 수용기보다 근육수용기에 주로 의존하므로 체중부하가 한쪽에 편중된 발목주위 근육을 활성화시킨 것으로 보이며, 멀리건 관절가동술을 적용한 후 발목주위 근육과 연부조직의 약화가 있는 발목불안정을 개선시키면서 양측체중지지에 변화를 나타냈다고 판단되어 본 연구의 가설과 부합하였다. 또한 발목 내반력의 증가로 인하여 체중이 지지되는 동안 발목불안정이 가중되는데 멀리건 관절가동술을 통한 발목안정성과 종아리근의 반응속도가 개선되면서 5 번째 발허리뼈 족압 비율의 변화와 장딴지근(gastrocnemius) 및 앞정강근(tibialis anterior)의 고유수용기를 자극해서 기립균형에 긍정적인 역할을 하고 있다고 사료된다.

David 등(2013)은 발목 불안정성을 가진 그룹에서 내반근과 외반근의 편심성 수축력이 나타난 것을 중요하게 접근하였고, 발목 불안정을 가진 사람은 정상인에 비해 발등굽힘이 감소된다고 하였으며, Hertel 등(2000)은 발목근육의 근력 및 위치 감각의 결핍, 종아리근의 반응시간 감소, 균형결핍, 그리고 발목 발등굽힘 가동범위의 감소도 발목불안정과 관련이 있다고 보고하였다. 발목불안정성은 반복적으로 가해지는 발의 비정상적인 내반력에 의해 발목손상이 지속적으로 발생되고, 기능적 불안정성과 근육약화, 근육 반응시간의 지연 등과 같은 증상들이 나타난다(Hertel, 2002). 이러한 증상들은 발과 다리 등 특정 부위의 약화와 피로 뿐만 아니라 통증의 주된 원인이 될 수 있으며, 발목불안정으로 인해 여러 가지 체위성 증상과 질환을 일으킬 수 있다(Scott et al., 2007). 발의 각 부위의 배열이 정확하지 않으면 발뒤꿈치가 틀어지고, 다리에 균형이 무너져 몸의 체중부하가 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절을 통해 발바닥으로 고루 분산되지 않게 되어 많은 증상들이 야기된다(Defrin et al, 2005). 본 연구의 결과에 의하면 중재 전·후 발목관절 발바닥굽힘(planter flexion) 모멘트 비교분석에서 0.10±0.08% BW 와 0.19±0.13%BW 로 유의한 차이가 나타났다($p<.01$). 중재 전·후 발목관절 발등굽힘 모멘트 비교분석에서는 1.21±0.31% BW 와 1.38±0.18% BW 로 유의한 차이가 나타나지 않았고, 중재 전·후 발목관절 시상면 모멘트 운동범위에 대한 비교분석에서는 1.35±0.13% BW 와 1.58±0.23% BW 로 유의한 차이가 나타났다($p<.01$). 내·외측 지면반사력 결과에 의하면 중재 전·후 최대 내측 지면반사력은 3.65±1.66% BW 와 4.16±1.74% BW, 중재 전·후의 최대 외측 지면반사력은 14.66±3.32% BW 와 19.95±3.81% BW 가 나타나는 결과를 보였다. 내·외측 지면반사력의 최대값 비교 분석에서는 최대 외측 지면반사력이 증가하는 양상을 보였다($p<.01$). 발목불안정을 줄이기 위해서는 발목관절의 기능적 움직임 측면이 강조되어야 하고, 특히 발목을 안정화시키는 신경근육조절역학 부분이 중요하다고 생각되며 멀리건 관절가동술을 통한 발목의 고유감각강화는 발바닥굽힘의 증가, 발목관절의 가동범위증가, 체중을 지지하는 동안 외측지면반사력의 증가로 인하여 발목의 안정성을 증가시켰다고 사료되어 본 연구의 가설에 부합하였다'. 따라서 정확한 고유감각정보전달이 효과적으로 이루어져서 예상치 못한 상황에서 지면의 상태나 환경의 변화에도 발목부상을 겪지 않게 될 것으로 생각된다.

McKeon 등(2008)의 연구에서는 발목불안정을 가진 성인들을 대상으로 균형훈련을 실시하여 정적 자세조절을 검사한 결과, 전·후 방향의 체중심 이동속도가 감소된 것을 제외한 압력중심과 관련된 변수들에서 유의한 차이가 나타나지 않았는데, 그 이유는 시각이 자세조절을 위한 충분한 피드백을 제공하였기 때문이라고 하였다. 따라서 시각적 입력이 자세조절을 위한 사지의 근피로도를 보상할 수 있고, 시각적 정보 입력이 자세안정성을 유지하기 위한 보상작용을 한 것으로 보고하였다. Hopkins 등(2012)은 발목불안정을 가진 성인의 균형과 고유수용성감각이 체중부하에 미치는 영향에 관한 연구에서 발목불안정을 가진 대상자들은 보행 시 입각기(stance phase)에서

체중심이 외측으로 전위되어있으며, 힘판 위에서 한다리 서기의 정적 균형검사에서 정상인에 비해 체중심이 전·외측 방향으로 더 치우친다고 하였다. 가만히 서 있는 동안정적균형은 지면에서 작용하는 지면반사력이나 체중심이 주로 사용되어 지는데, 체중심의 이동특성은 자세조절의 신경학적, 역학적 기전을 추론하기 위해 사용된다고 하였다(Mettler et al., 2015). 본 연구의 결과에 의하면 수직 지면반사력은 신체의 무게중심이 빠르게 떨어지고 체중가속의 효과가 나타나는 초기입각기(Fz1)에서 중재 전·후 105.57±5.72% BW 와 111.50±8.91% BW, 기준 발 위로 신체가 앞으로 구르며 무게중심이 올라가면서 생기는 중간입각기(Fz0)에서 중재 전·후 83.33±3.68% BW 와 69.69±6.18% BW, 그리고 무게중심이 떨어지고 하방으로 가속하는 것을 가리키는 말기입각기(Fz2)에서 중재 전·후 104.66±5.22% BW 와 111.25± 7.76% BW 를 나타내는 결과를 보였다. 수직 지면반사력의 비교분석에서는 중재 전·후에 유의한 차이를 보였는데, 중재 후의 초기입각기(Fz1), 말기입각기(Fz2)에서 증가를 보였고($p<.05$), 특히 중간입각기(Fz0)에서 현저히 감소하는 결과를 보였다($p<.001$). 본 연구에서 멀리건 관절가동술 중재 후 초기입각기(Fz1)와 말기입각기(Fz2)에서 유의한 차이가 나타난 것은 전·후 방향으로의 교대적 흔들림에 대한 균형유지가 앞정강근과 안쪽장딴지근(medial gastrocnemius)의 교대적 활성에 의존되어 몸이 수직선을 넘어 전방으로 무너지기 전에 안쪽 장딴지근의 활성이 시작되며, 다시 후방으로 몸을 세우기 전에는 앞정강근의 활성이 이루어졌고, 체중부하가 클수록 발과 발목 주위의 피부와 근육에 있는 고유수용기들을 더 많이 자극되어 자세안정성을 증진시킨 것으로 사료되며 본 연구의 가설과 부합하였다. 또한 중재 후 중간입각기(Fz0)에서 유의한 차이가 나타난 것은 시각입력을 통한 감각피드백이 차단되면서 대상자들이 고유수용성 감각입력에 더 의존하게 되었고, 발목의 안정성으로 인하여 체중이 발바닥으로 고루 분배되어 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절을 통해 신체의 체중부하가 분산되면서 현저히 감소하는 결과를 나타낸 것으로 사료된다. 본 연구의 결과를 발목불안정을 가진 대상자전체에 일반화하기는 힘들며, 족압과 발목관절의 모멘트, 수직 지면반사력 측정 시 발목 주위 근육에 대한 근전도 검사를 함께 시행하지 않았으므로 결과를 해석하는데 어려움이 있었다. 추후에 이러한 부분들을 보완하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

Akbari, M., Mohammadi, M., & Saeedi, H. (2007). Effects of rigid and soft foot orthoses on dynamic balance in females with flat foot. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*, 21, 91-97.

Collins, N., Teys, P., & Vicenzino, B. (2004). The initial effects of a Mulligan's mobilization with movement technique on dorsiflexion and pain in subacute ankle sprains. *Manual therapy*, 9(2), 77-82.

David, P., Halimi, M., Mora, I., Doutrellot, P. L., & Petitjean, M. (2013). Isokinetic testing of evertor and invertor muscles in patients with chronic ankle instability. *Journal of applied biomechanics*, 29(6), 696-704.

Defrin, R., Benyamin, S. B., Aldubi, R. D., & Pick, C. G. (2005). Conservative correction of leg-length discrepancies of 10mm or less for the relief of chronic low back pain. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation,* 86(11), 2075-2080.

Exelby, L. (1996). Peripheral mobilisations with movement. *Manual Therapy*, 1(3), 118-126.

Giulio, I. D., Maganaris, C. N., Baltzopoulos, V., & Loram, I. D. (2009). The proprioceptive and agonist roles of gastrocnemius, soleus and tibialis anterior muscles in maintaining human upright posture. *The Journal of Physiology*, 587(10), 2399-2416.

Hertel, J. (2000). Functional instability following lateral ankle sprain. *Sports Medicine*, 29(5), 361-371.

Hertel. J., Denegar C. R., Buckley W. E., Sharkey N. A., & Stokes W. L. (2001). Effect of rearfoot orthoses on postural control in healthy participants. *Journal of Sports Rehabilitation*, 10, 36-47.

Hertel, J. (2002). Functional anatomy, pathomechanics and pathophysiology of lateral ankle instability. *Journal of Athletic training,* 37, 364-375.

Hiller, C. E., Kilbreath, S. L., & Refshauge, K. M. (2011). Chronic ankle instability: evolution of the model.

Journal of athletic training, 46(2), 133-141.

Hopkins, J. T., Coglianese, M., Glasgow, P., Reese, S., & Seeley, M. K. (2012). Alterations in evertor/invertor muscle activation and center of pressure trajectory in participants with functional ankle instability. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(2), 280-285.

Kaltenborn, F. M., Evjenth, O., Kaltenborn, T. B., Morgan, D., & Vollowitz, E. (2014) *Manual Mobilization of the Joints, Vol. 1: The Extremities*, 8th Edition, Orthopedic Physical Therapy Products.

Kelaher, D., Mirka, G. A., & Dudziak, K. Q. (2000). Effects of semi-rigid arch-support orthotics: an investigation with potential ergonomic implications. *Applied ergonomics*, 31(5), 515-522.

Konradsen, L. (2002). Factors Contributing to Chronic Ankle Instability: Kinesthesia and Joint Position Sense. *Journal of Athletic Training*, 37(4), 381-385.

Menz, H. B., Morris, M. E., & Lord, S. R. (2005). Foot and ankle characteristics is associated with impaired balance and functional ability in older people. *The Journals of Gerontology Series A : Biological Sciences and Medical Sciences*, 60(12),1546-1555.

Mettler, A., Chinn, L., Saliba, SA., Mckeon, PO., & Hertel, J. (2015). Balance training and center of pressure location in participants with Chronic ankle instability. *Journal of athletic training*, 50(4), 343-349.

Michael, D., & Thomas, D. (2003). Prevention and treatment of ankle sprain in athletes. *Sports Medicine*, 33 (15), 1145-1150.

McKeon P.O., & Hertel, J. (2008). Systematic review of postural control and Lateral ankle instability, part II: is balance training clinically effective. *Journal of Athletic Training*, 43(3), 305-315.

Mulligan, BR. (2003) *Manual Therapy : NAGS SNAGS MWMS ets*, 6th Edition, Orthopedic Physical Therapy Products.

Mulligan, BR. (1993) Mobilisations with movement(MWM'S). *The Journal of Manual and Manipulative Therapy* 1(4), 154-156.

Pitei, D. L., Lord, M., Foster, A., Wilson, S., Watkins, P. J. & Edmonds, M. E. (1999). Plantar pressures are elevated in the neuroischemic and the neuropathic diabetic foot. *Diabetes care*, 22, 1966-1970.

Schamberger, W., Fredric, T. S., & Webster, T. (2002). *The Malalignment Syndrome*. Edinburgh, Churchill Living stone.

Singh, N B. (2005). Evaluation of circumferential ankle pressure as an ergonomic intervention to maintain balance perturbed by localized muscular fatigue of the ankle joint. Master of Science In Industrial and Systems Engineering.

Scott, G., Menz, H. B., & Newcombe, L. (2007). Age-related in foot structure And function. *Gait Posture*, 26(1),68-75.

Yaggie, J. A., & McGregor, S. J. (2002). Effects of isokinetic ankle fatigue on the maintenance of balance and postural limits. *Archives of Physical Medicine Rehabilitation*, 83, 224-228.

Vicenzino, B., Branjerdporn, M., T eys P., & Jordan, K. (2006). Intial changes in posterior talar glide and dorsiflexion of the ankle after mobilization with movement in individuals with recurrent ankle sprain. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 36(7), 464-471.

Vicenzino, B., Prangley, I., & Martin, D. (2001). The initial effect of two Mulligan mobilisation with movement treatment techniques on ankle dorsiflexion. In *Australian Conference of Science and Medicine in Sport*. Sports Medicine Australia.