

Effect of an 8-week Closed Kinetic Chain Styled Pilates Exercise on Lower Limb Alignment

8주간 닫힌 사슬형 필라테스 운동이 하지 정렬에 미치는 영향

Ga Ram Jeon¹, Sukhoon Yoon²

¹PAFGYM, Seocho-gu, Seoul, South Korea

²Department of Community Sport, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

Received : 20 September 2023

Revised : 11 October 2023

Accepted : 12 October 2023

Corresponding Author

Sukhoon Yoon

Department of Community Sport,
Korea National Sport University,
1239 Yangjae, Songpa-gu, Seoul,
05541, South Korea

Email : sxy134@knsu.ac.kr

Objective: The aim of this study was to investigate the effect of an 8-week closed kinetic chain typed Reformer and Chair Pilates exercise on static and dynamic lower limb alignment for healthy female adults.

Method: Ten healthy young female adults without musculoskeletal injury history in last 6 months (Age: 29.3 ± 3.5 yrs., Height: 165 ± 3.4 cm, Body mass: 58.2 ± 5.4 kg) participated in this study. All participants asked to join the 8-week closed kinetic chain typed Reformer and Chair Pilates exercise, and the program was conducted for 60 minutes twice a week. Participants were asked to be measure a static Q-angle and performed free squat one week before and after the program. A 3-D motion analysis with 8 infrared cameras and 5 channels of EMG was executed in this study. The effectiveness of the training was evaluated by paired *t*-test, and the significance level was set at .05.

Results: A significantly decreased in internal rotation angles was found at hip joint during free squat after the training. Also, significantly decreased in lateral rotation angles were found at knee and ankle joint during free squat after training. Finally, significantly decreased in muscle activations were found at adductor longus and peroneus longus during free squat after training.

Conclusion: From results of our study, it is concluded that an 8-week closed kinetic chain typed Pilates exercise positively effect on lower limb alignment during dynamic movement.

Keywords: Pilates, Q-angle, Dynamic knee valgus, Reformer, Chair

INTRODUCTION

과거와 비교하여 월등하게 높아진 현대인들의 좌식생활 형태는 그들의 기능적 신체 움직임 능력의 감소를 유발시키고 있으며 이러한 생활패턴은 하지 근육의 비활성화와 부적절한 신체정렬상태 시간을 증가시켜 이 근육들의 단축(tightness)을 초래하고 결과적으로는 동작 수행 시 근육의 불균형을 초

래한다고 알려져 있다(Salmon, Tremblay, Marshall & Hume, 2011; Jang, Lee, Yang, Kim & Park, 2019; Kendall, McCreary, Provance, Rodgers & Romani, 2005; Page, Flank & Lardner, 2010). 또한, 일상생활에서 하지는 중력에 대응하여 신체를 이 동시키는 데 있어 매우 중요한 역할을 하고 있기 때문에 이러한 하지 근육의 불균형이 장기간 지속되면 하지의 기능적 움직임 능력이 감소된다고 알려져 있다(Patel, 2005; Kendall

et al., 2005).

임상에서는 다양한 방법으로 하지 정렬을 평가하고 있는데, 정적인 상태에서는 Q-angle (Quadriceps - angle)로 동적인 상태에서는 동적 무릎 외반(dynamic knee valgus)이 대표적으로 사용되고 있다(Eng & Pierrynowski, 1993; Hewett et al., 2005).

선행연구자들은 이러한 생활패턴에 기인한 하지 근육 불균형에 기전에 대하여 많은 연구를 수행하였는데, Powers (2010)는 중간볼기근과 큰볼기근의 약화가 넙다리뼈의 안쪽돌림과 무릎의 외반을 증가시켜 Q-angle을 크게 만든다고 보고하였으며, Barton, Levinger, Crossley, Webster와 Menz (2012)는 보행 중 엉덩관절 안쪽돌림이 무릎의 외반에 영향을 미칠 수 있다고 보고하였다. 또한 Mascia, Landel과 Powers (2003)는 엉덩관절 외전근, 외측회전근 강화를 위한 프로그램이 무릎의 외반이 동반되는 PFPS (Patellofemoral Pain Syndrome) 여성들의 하지의 동적 안정성에 효과가 있었다고 보고하였다.

현재 이러한 하지 정렬 불균형을 개선하는 방법으로 도수 교정, 추나요법, 카이로프랙틱 및 관절가동기법 등이 소개되고 있다(Park, 2005; Kim & Khil, 2008). 그러나 이러한 방법들은 근육, 인대 등 연부조직들이 완전히 정상 위치로 되돌아가 고정화될 때까지 지지해 주지 않고 일시적으로 어긋난 골격의 균열을 되돌리는 역할을 하기 때문에 그 효과가 제한적이며, 궁극적으로 하지 부정렬의 원인이 되는 근육의 불균형 상태를 해결하기 위하여 근력 운동과 스트레칭이 반드시 수행되어야 한다고 보고되고 있다(Randall, Portney & Harris, 1992; Manente, Torrieri, Pineto & Uncini, 1999).

최근 불균형한 신체의 자세교정 및 재활을 위한 목적의 운동으로 필라테스가 대중적인 관심을 받고 있는데, 특히 이 운동은 근력과 유연성을 조화롭게 증진함으로써 신체를 아름답게 발전시킬 수 있어 많은 여성의 주목을 받는 운동이다(Curnow, Cobbin, Wyndham & Choy, 2009; Joseph & Simona, 2004). 이러한 필라테스 운동은 척추 중립(neutral spine)을 목적으로 척추세움근, 배가로근, 속배빗근 등 심부 근육을 발달시키므로 서 골반 및 엉덩관절 움직임을 조절하는 근력과 조정 능력을 향상하는데 효과적인 운동으로 알려져 있다(Phrompaet, Paungmali, Pirunsan & Silitertpisan, 2011). 필라테스 운동은 크게 소도구 등을 사용하여 매트에서 수행되는 매트 필라테스와 고정적인 기구를 사용하여 수행되는 기구 필라테스로 나누어진다. 이중 기구 필라테스 운동은 정량적으로 강도를 조절할 수 있을 뿐만 아니라 고정된 기구 안에서 대칭성 운동으로 수행되기 때문에 매트 필라테스 운동에 비하여 하지 근육의 균형적인 발달과 하지 정렬 개선에 보다 긍정적인 효과가 있을 뿐 아니라, 근력 운동 수행 시 운동목적에 맞게 열린 사슬 운동과 닫힌 사슬 운동을 모두 진행할 수 있는 장점이 있다고 보고되고 있다(Lee, Kim & Kim, 2008; Jung, 2018).

닫힌 사슬 운동은 신체의 말단을 고정하여 수행되기 때문에 열린 사슬 운동에 비하여 원심성 근육들의 동시활성(co-activation)을 유발시킬 수 있고 이러한 결과는 운동 중 관절의 안정성을 증가시킬 뿐 아니라 고유수용성 감각을 촉진시켜 재활 및 컨디션 측면에서 자주 고려되는 방법이라고 보고되고 있다(Palmitier, An, Scott & Chao, 1991; Park, Kim & Nho, 2008; Kwon, Bae & Park, 2009; Yoon, Park, Jeong, Park & Yoon, 2018). 필라테스 기구들 중 리포머와 체어는 눕기, 앉기, 서기, 엎드리기 등 다양한 자세로 운동을 진행할 수 있을 뿐만 아니라, 각각 캐리지와 페달을 통하여 발을 고정하면서 닫힌 사슬형 운동을 효율적으로 제공할 수 있는 기구이다(Kwon, Cho, Han & Lee, 2014). Lee 등 (2008)은 8주간의 닫힌 사슬형 필라테스 리포머 운동이 근육 불균형으로 약화된 하지 근육의 강화 및 균형 능력에 긍정적으로 영향을 미쳤다고 보고하였으며, Moon & Han (2013)은 닫힌 사슬형태의 풋워크 동작은 비대칭적인 골반 돌림의 범위를 감소시키고 골반의 안정성을 증가시켜 하지의 정렬을 바르게 잡을 수 있다고 보고하였다. 또한 Jung (2018)은 6개월간의 장기적인 리포머를 사용한 필라테스 운동이 성인 여성들의 골반 불균형 개선에 효과적이라고 보고하였다.

이러한 많은 선행연구들의 결과는 기구 필라테스 운동이 하지의 근력강화에 효과적임을 제안하고 있지만, 대부분의 기존 연구들은 신체조성 개선, 하지 근력 발달, 그리고 균형 능력 향상에 주목하여 수행되었으며, 탄성밴드나 소도구 등을 이용한 매트 필라테스의 효과만을 검증해왔다(Park, Sung, Kim & Cha, 2020; Lee, Yun & Choi, 2016; An & Kim, 2012). 또한 Moon & Han (2013)의 연구는 리포머를 이용한 필라테스 운동이 비대칭 골반 돌림이 있는 대상자의 보행 개선에 긍정적 효과가 있다는 연구결과를 보고하였지만, 그들의 결과는 정적 상태에서 골반의 정렬 상태에 주된 초점을 두고 있었기 때문에 보다 강한 부하가 신체에 작용되는 동적 움직임 상태의 변화에 대한 정보를 제공하는 것에는 제한적이었다고 생각된다.

따라서 닫힌 사슬 운동으로 수행되는 기구 필라테스 운동이 근육 불균형 개선에 강점이 있음에도 불구하고 하지 정렬 개선에 미치는 효과를 살펴본 연구는 매우 미비한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 8주간 성인 여성을 대상으로 리포머 및 체어를 이용한 닫힌 사슬형 필라테스 운동이 하지의 정적 및 동적 정렬에 미치는 영향을 알아보는데 있다.

METHOD

1. 연구대상

본 연구에서는 최근 6개월 동안 정형외과적 질환이 없는

건강한 2~30대 성인 여성 10명(Age: 29.3 ± 3.5 yrs., Height: 165 ± 3.4 cm, Body mass: 58.2 ± 5.4 kg)이 연구대상자로 참여하였다. 본 연구는 K대학교 연구 윤리위원회의 승인을 받은 후 시행되었으며(KNSU 20201231-139), 대상자에게 연구에 대한 충분한 설명과 함께 동의서를 작성한 후 실험에 참여하였다.

2. 실험절차 및 자료처리

본 연구의 원활한 수행을 위하여 각 연구대상자들은 필라테스 트레이닝 1주일 전에 실험실을 방문하여 연구를 위한 실험을 진행하였으며 8주간의 필라테스 트레이닝을 완료한 뒤 실험실을 재방문하여 실험을 진행하였다. 본 연구에서 사용한 리포머와 체어를 적용한 필라테스 운동프로그램은 <Table 1>과 같으며 공인 자격을 가진 지도자에 의하여 실시되었다. 운동프로그램은 주 2회, 1회당 60분 8주간 실시되었

으며, 운동프로그램의 구성은 준비운동(5분), 본 운동(45분), 정리운동(10분)의 세 단계로 구분하여 진행되었다.

실험당일 연구대상자들은 검은색 타이즈로 환복한 후, 정적 Q-angle 측정과 맨손 스쿼트를 실시하였다. Q-angle은 평평한 지면에 양측 앞 엉덩가시(Anterior Superior Iliac Spine: ASIS)에 두 번째 발가락을 위치시켜 대상자를 세운 후 선행 연구를 인용하여 ASIS와 무릎뼈 중양을 이은 선과 무릎뼈 중앙과 정강뼈 거친면(tibia tuberosity)을 이은 선의 사이각을 고니오미터를 이용하여 측정하였다(Fig. 1). 모든 연구대상자들의 Q-angle은 측정자간 오류를 최소화 하기 위하여 1인의 검사자가 측정하였으며 각 검사당 2번을 실시하여 평균값을 연구에 사용하였다. 또한 맨손 스쿼트는 두 번째 발가락이 정면을 바라보게 위치한 편안자세로 어깨 넓이로 다리를 벌리고 자신이 앉을 수 있는 최대의 깊이까지 실시하였다. 연구대상자들은 5회의 맨손 스쿼트를 실시하였으며 그 평균값을 연

Table 1. An 8-week reformer & chair pilates program

| Condition | Program | Tension | Repetition |
|------------------------|--|------------------|---------------|
| Warm up (5 min) | Breathing & standing roll-down bosu exercise | | 3 reps |
| Main exercise (45 min) | | | |
| Reformer | Second position parallel | 2 red & 1 blue | 10 reps |
| Supine position | Laterally rotated | 2 red & 1 blue | 10 reps |
| Footwork series | Wrap toes on bar | 2 red & 1 blue | 10 reps |
| | Toes apart heels together | 2 red & 1 blue | 10 reps |
| | Lower & lift | 2 red & 1 blue | 8 reps |
| | Hip lift | 2 red & 1 blue | 5 reps |
| Standing position | Side spilt abduction | 1 red | 8 reps (R/L) |
| | Side spilt carriage leg pressing | 1 red | 5 reps (R/L) |
| | Side split platform leg pressing | 1 red | 5 reps (R/L) |
| | Lunge | 1 red | 8 reps (R/L) |
| | Single thigh stretch | 1 blue & 1 white | 3 reps |
| Chair | Forward step up | 2 H/L & 1 L/T | 5 reps (R/L) |
| | Backward step down | 1 H/L & 1 H/T | 5 reps (R/L) |
| | Elephant | 2 H/M | 3 reps |
| Cool down (10 min) | Ankle exercise | 2 H/L & 1L /T | 10 reps (R/L) |
| | Lower & lift standing | 2 H/L & 2 L/T | 10 reps |
| | Cat standing front | 2 H/T | 3 reps |
| | Stretching | 1 H/L & 1 L/T | |

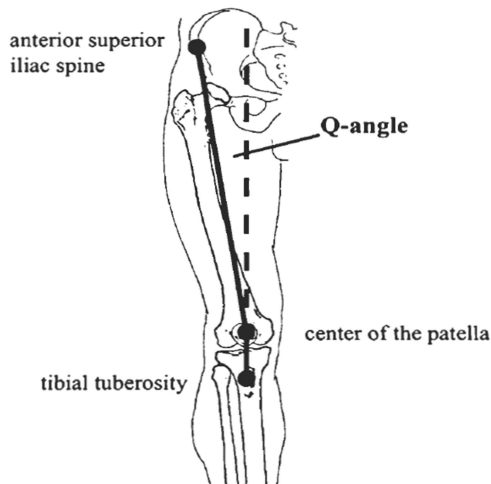


Figure 1. Q-angle definition
(Heiderscheit, Hamill & Caldwell, 2000)



Figure 2. Maker & EMG Set-up

구에 사용하였다.

모든 동작은 8대의 적외선 카메라를 사용하여 100 Hz로 녹화되었으며 동작이 수행되는 장소는 동작 수행 전에 NLT (non-linear transformation) 방법을 사용하여 공간좌표를 설정하였다. 동작 수행 전 연구대상자에게 충분한 준비운동 시간을 제공 후 각 연구대상자들의 주동측 하지의 긴모음근 (adductor longus), 가쪽넓은근(vastus lateralis), 안쪽넓은근 (vastus medialis), 앞정강근(tibialis anterior), 긴종아리근(peroneus longus)에 EMG 표면전극을 부착하였다. 각 근육의 표준화를 위하여 최대 자발적 등척성 수축(maximum voluntary isometric contraction: MVIC)을 5초간 측정하였으며, EMG는 1,000 Hz로 데이터를 취득하였다(Kendall, McCreary, Provan, Rodgers & Roman, 2005). 본 연구에서 사용된 동작을 평가하기 위하여 7개 분절(몸통, 좌·우 대퇴, 하퇴, 발)로 이루어진 하지 강체 모델을 사용하였으며 동작 중 하지분절을 규명하기 위하여 24개의 반사마커와 4개의 마커 클러스터를 대상자의 몸에 부착하였다(Fig. 2). 해부학적 자세의 정렬을 측정하기 위하여 스탠딩 캘리브레이션을 실시하였으며 이후 피험자의 동작이 수행되었으며, 모든 동작 수행 시 카메라와 EMG 데이터는 시간적으로 동조하여 취득되었다.

원활한 동작의 평가를 위하여 맨손 스쿼트 동작은 3개의 관심시점(event; E)과 2개의 구간(phase; P)으로 나누어졌다. 스탠딩 자세에서부터 하강하기 직전, 무릎 최대굴곡, 그리고 처음으로 되돌아온 시점을 각각 E1, E2, 그리고 E3로 정의하였으며 E1에서 E2 까지를 신장성 수축구간(Eccentric contraction phase: P1) 그리고 E2에서 E3 까지를 단축성 수축구간(Concentric contraction phase: P2)로 구분하였다.

취득된 모든 마커들의 위치좌표의 랜덤 오류를 줄이기 위해 Butterworth 2차 low-pass filter를 이용하여 필터링 하였으며, 이때 차단 주파수(cut-off frequency)는 12 Hz로 설정하였다. 또한 취득된 EMG 자료는 20~400 Hz를 차단 주파수로 한 bandpass 필터로 필터링 되었다. 필터링 후 운동학 및 운동역학적 자료는 Visual 3D 소프트웨어(C-motion, USA)를 통해 계산되었으며 스쿼트 동작 시 근활성도는 사전에 측정된 MVIC의 근활성도 값을 사용하여 다음과 같이 산출하였다.

$$\text{Muscle activation} = \frac{EMG_{raw}}{EMG_{MVIC}} \times 100$$

EMG_{raw} & EMG_{MVIC} : 각각 동작 시 취득된 구간 평균 근활성도 & 최대 자발적 등척성 수축 RMS 값

3. 통계처리

8주간의 닫힌 사슬형 필라테스 운동 적용 전과 후에 정적 Q-angle과 스쿼트의 동적 무릎 외반의 차이를 비교하기 위하여 대응표본 t -검증(paired t -test)가 실시되었으며, 유의수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

RESULTS

본 연구는 8주간의 닫힌 사슬형 필라테스 운동프로그램이

성인 여성의 하지 정렬 변화에 미치는 영향을 알아보는 데 있었으며, 이러한 변화를 알아보기 위하여 Q-angle과 맨손 스쿼트 동작 분석을 수행하였다.

본 연구결과, Q-angle은 운동 전후 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았으나(Table 2, $p>.05$), 하지관절의 최대 각도는 수평면의 phase 1과 phase 2 모두에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(Table 3, $p<.05$). 또한 하지 정렬 변화와

함께 8주간의 닫힌 사슬형 필라테스 운동프로그램 후 맨손 스쿼트 시 phase 2에서 운동 후 통계적으로 유의하게 감소된 긴모음근의 활성도가 나타났으며(37%), 긴종아리근의 경우 phase1에서 운동 전에 비하여 운동 후 약 22% 통계적으로 유의하게 감소된 근활성도가 나타났다(Table 4, $p<.05$).

DISCUSSION

장기적인 좌식생활에 기인한 현대인들의 신체 움직임 능력 감소와 하지 불균형이 빈번하게 발생되고 있으며(Kendall et al., 2005; Page et al., 2010; Salmon et al., 2011), 하지의 정렬 구조와 함께 근력, 유연성 측정 그리고 과거 손상경력 등은 하지 손상을 예측하기 위한 지표로 사용되고 있다(Huston, Greenfield & Wojtys, 2000). 하지만 여성은 남성과 다른 골격 구조를 가지고 있으며, 하지의 경우 골반의 넓이 차이로 인하

Table 2. Differences of Q-angle between pre and post training unit: deg

| | N | Mean | SD | <i>t</i> | <i>p</i> |
|------|----|-------|------|----------|----------|
| Pre | 10 | 21.28 | 5.65 | 1.460 | .180 |
| Post | 10 | 20.15 | 4.42 | | |

Table 3. 3-D lower extremity joint angles between pre and post Pilates training during free squat unit: deg

| Plane | Joint | Eccentric phase (P1) | | Concentric phase (P2) | |
|----------------|-------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| | | Pre | Post | Pre | Post |
| Ext(-)/Flex(+) | Hip | 93.12 (3.92) | 93.50 (8.08) | 92.95 (4.01) | 93.48 (8.04) |
| | Knee | -119.4 (17.9) | -111.8 (22.1) | -119.5 (18.0) | -111.8 (22.1) |
| | Ankle | 31.70 (4.29) | 29.73 (4.31) | 31.43 (4.22) | 29.57 (4.30) |
| Abd(-)/Add(+) | Hip | 0.06 (2.42) | -1.37 (2.12) | 0.20 (2.04) | -1.34 (1.89) |
| | Knee | -1.52 (1.65) | -1.97 (1.81) | -1.88 (1.57) | -2.65 (2.67) |
| | Ankle | -5.48 (4.84) | -5.22 (6.23) | -5.57 (4.68) | -5.24 (6.25) |
| ER(-)/IR(+) | Hip | 11.05 (6.76) | 4.69 (6.01)* | 11.30 (6.46) | 4.71 (6.03)* |
| | Knee | -6.22 (3.78) | -2.04 (3.16)* | -5.41 (3.88) | -2.39 (3.26)* |
| | Ankle | -7.05 (5.86) | -3.67 (3.13)* | -7.14 (6.02) | -3.80 (2.99)* |

*indicates significant difference between pre and post ($p<.05$)

Table 4. Lower extremity muscle activation between pre and post Pilates training during free squat unit: % MVIC

| Muscle | Eccentric phase (P1) | | Concentric phase (P2) | |
|-------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Pre | Post | Pre | Post |
| Adductor longus | 19.74 (16.30) | 26.20 (46.15) | 24.46 (7.05) | 20.18 (22.78)* |
| Vastus lateralis | 56.25 (36.60) | 48.12 (27.89) | 69.83 (35.81) | 73.54 (32.62) |
| Vastus medialis | 37.15 (14.19) | 49.25 (16.00) | 65.68 (26.61) | 82.52 (32.05) |
| Tibialis anterior | 62.69 (20.68) | 52.06 (20.14) | 56.77 (22.34) | 59.77 (24.41) |
| Peroneus longus | 20.20 (5.42) | 15.66 (6.25)* | 22.47 (8.59) | 19.97 (11.54) |

*indicates significant difference between pre and post ($p<.05$)

여 넓다리뼈 앞경사각도(Femoral anteversion angle)와 정강 넓다리뼈각도(tibiofemoral angle)가 남성보다 크게 나타난다(Ha, Kim, Yoon & Park, 2014; Nguyen, Boling, Levine & Shultz, 2009). 이러한 남자와 여자의 골격구조의 차이는 Q-angle 크기 차이를 발생시키는 원인이 되고 있는데, 정상인의 경우 남성은 평균 15°의 Q-angle을 나타내는 반면 여성은 평균 18°로 보고되고 있다(Aglietti, Insall & Cerulli, 1983; Noehren, Hamill & Davis, 2013). 이러한 Q-angle이 생활패턴 등 다양한 원인들에 의하여 정상범위(18°)를 벗어난 정렬 상태가 오래 지속되면 최대접촉압력 증가를 시켜 무릎의 연골연화증에 잠재적인 병인이 될 수 있으며, 무릎뼈의 가쪽탈구 또는 무릎넓다리와 가쪽정강넓다리 접촉면의 압력을 증가시킨다고 보고되고 있다(Huberti & Hayes, 1984; Mizuno et al., 2001; Powers, 2003). 본 연구결과 8주간의 닫힌 사슬형 필라테스 운동프로그램 적용 후 Q-angle은 평균 1.13° 감소한 결과를 나타냈으나 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다(pre: 21.28±5.65°; post: 20.15±4.4°; Table 2, $p>.05$). 그 이유는 참여한 대상자들이 2~30대 건강한 성인 여성으로 Q-angle이 운동프로그램 적용 전에도 정상범위에 속한 대상자들이었기 때문이라고 생각되어진다. 즉, 자연적인 신체적 특성으로 고정화된 Q-angle은 그들이 가질 수 있는 가장 효율적인 최소의 각도였고, 생활패턴의 영향으로 인위적으로 증가되지 않았기 때문에 8주간의 닫힌 사슬형 필라테스 운동프로그램 적용으로 감소되기에는 무리가 있었을 것으로 생각되어진다.

앞서 언급한 바와 같이 Q-angle은 하지 손상 예측 척도로 사용되고 있지만 이것은 특별한 움직임이나 중력 이외 추가적인 외력이 작용하지 않을 때 관상면에서 관찰할 수 있는 엉덩관절 내전, 무릎관절 외전을 통해 하지 정렬 상태를 평가하는 변인이다. 따라서 동적인 상황에서 하지관절의 정렬 상태는 Q-angle 만으로 평가하지 어려우며, 엉덩관절의 각도 변화가 무릎관절과 발목관절까지 영향을 미치기 때문에 동적인 상황에서 연결되어 있는 하지관절의 3차원적인 움직임을 모두 관찰할 필요가 있다(Yoon et al., 2018). 따라서 스쿼트나 점프 수행 시 착지자세, 계단보행, 달리기 같은 동적 움직임 상황의 하지 정렬 상태를 알아보기 위해 많은 연구자들은 동적 무릎 외반 상태를 평가해 왔다(Quatman & Hewett, 2009; Shin, 2020). 본 연구결과 8주간의 닫힌 사슬형 필라테스 운동프로그램 적용 후 맨몸 스쿼트 동작 시 엉덩관절은 P1과 P2에서 각각 57.6%와 58.3% 감소된 내측회전을 나타낸 반면, 무릎관절과 발목관절은 P1에서 67.2%와 47.9%, 그리고 P2에서 55.8%와 46.8% 감소된 외측회전을 나타내었다(Table 3, $p<.05$). 이러한 본 연구의 결과는 동적 무릎 외반이 엉덩관절의 내전과 내측회전, 무릎관절의 외전과 외측회전, 그리고 발목관절의 외반과 외측회전의 결과로 발생한다고 보고하고 있는 선행연구들의 결과에 비추어 볼 때(Powers, 2003;

Quatman & Hewett, 2009), 리포머와 체어를 이용한 8주간의 닫힌 사슬형 필라테스 운동프로그램이 대상자들은 하지 정렬에 적용되는 근육의 강화를 유도하여 맨몸 스쿼트 동작에서 나타날 수 있는 동적 무릎 외반 자세를 개선시킨 것으로 생각되어진다.

동적 무릎 외반은 장시간 좌식생활 형태로 인한 적용 근육들의 비활성화가 주된 원인이며, 구체적으로 엉덩관절의 외측회전 근육군들의 신경근육조절 저하로 인한 약화와 엉덩관절 내측회전 근육들의 단축으로 인한 보상작용, 그리고 엉덩관절 외전 근육의 약화로 인한 엉덩관절 내전근의 우세현상이 동적 무릎 외반의 원인이 된다고 보고되고 있다(Mascal et al., 2003; Powers, 2003; Powers, 2010; Salsich, Graci & Maxam, 2012; Noehren et al., 2013). 이러한 근육들의 활동은 연결되어 있는 발목관절의 외반과 외측회전을 담당하는 근육군의 과도한 활성을 유발하여 근육의 피로를 유발하기 때문에(Macrum, Bell, Boling, Lewek & Padua, 2012; Yoon, 2019), 무릎넓다리 관절의 통증과 슬개 대퇴 관절 기능 장애 등 수많은 무릎 손상을 야기시킨다고 알려져 있다(Hewett et al., 2005, Powers, 2003; Powers, 2010; Nakagawa, Moriya, Maciel & Serrao, 2012). 따라서 본 연구에서는 근육 기능감소로 인한 동적 하지 정렬 상태를 개선하기 위해 리포머, 체어 필라테스 운동프로그램을 적용하였고 운동프로그램을 통해 엉덩관절의 신전, 외전, 외측회전 그리고 무릎관절의 신전 근육군의 강화를 목표로 설정하였다.

본 연구결과 맨몸 스쿼트 동작 시 P2에서 긴모음근의 감소된 활성도가 나타났다(Table 4, $p<.05$). 본 연구는 연구의 기본 계획에서 동적 무릎 외반의 원인들 중 하나인 동작 시 엉덩관절의 외전과 외측회전의 약화를 해결할 수 있는 큰볼기근의 근력향상도를 알아보려고 하였다. 그러나 본 연구에 참여한 대상자들이 20대의 젊은 여성들이었고, 실험설계 시 면담 과정에서 큰볼기근에 EMG를 붙이는 것에 대한 긍정적이지 않은 의사를 표명하였다. 따라서 본 연구에서는 엉덩관절의 내전과 내측회전 기능을 담당하고 있는 긴모음근을 큰볼기근의 대항근으로 사용하여 연구를 수행하였다. 긴모음근의 과활성은 큰볼기근의 근활성을 감소시켜 무릎 외반이 발생한다고 보고한 선행연구들의 보고들을 생각할 때(Clark & Lucett, 2010; Han & Yoon, 2022), 본 연구에서 나타난 감소된 긴모음근의 활성도는 8주간의 닫힌 사슬형 필라테스 운동프로그램이 큰볼기근의 근력을 강화시킨 것으로 생각되며 이러한 결과는 결론적으로 동적 움직임 시 하지 정렬에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다(Table 3 & 4, $p<.05$).

또한 본 연구결과 맨몸 스쿼트 동작 시 P1에서 긴종아리근의 근활성도의 감소가 나타났다(Table 4, $p<.05$). 긴종아리근은 발목관절의 외반과 외측회전 기능을 담당하는 근육으로 체중을 지지하거나 동적인 상황에서 증가된 긴종아리근 활

성은 하지 정렬에 부정적인 영향을 미친다고 보고되고 있다 (Yoon, 2019). 사실 연구자는 본 연구에서 8주간 수행된 닫힌 사슬형 필라테스 운동에 포함 되어있는 리포머의 footwork series 동작들과 체어의 동작들이 앞정강근의 근력을 강화시켜 맨손 스쿼트 동작 시 발목의 내측회전과 내번 동작을 나타낼 것이라고 예상하였다. 본 연구결과 운동프로그램 후 나타난 감소된 외측회전은 연구자의 예상과 일치한 결과를 나타내었다고 생각되지만(Table 3, $p < .05$), 외측회전의 주 원인인 앞정강근의 활성도에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3, $p > .05$). 반면 연구결과 외측회전의 기능을 담당하는 긴종아리근의 통계적으로 유의하게 감소된 근활성도를 나타내었다(Table 2, $p < .05$). 이러한 본 연구의 결과는 8주간의 닫힌 사슬형 필라테스 운동이 큰볼기근의 강화를 통해 엉덩관절 움직임의 개선을 만들었으며 이러한 움직임의 개선은 연결된 발목으로 이어져 앞정강근의 강화 없이도 긴종아리근의 활성을 자연스럽게 줄여준 것으로 생각되어진다.

본 연구에서 나타난 운동학 및 운동역학적 변인들의 결과는 동적 움직임에서 하지관절의 정렬 상태에 긍정적인 결과를 나타내었지만, 연구대상자들의 거부로 인한 엉덩관절의 신전, 외전, 그리고 외측회전을 담당하는 큰볼기근의 근활성도는 확인하지 못한 아쉬움이 있었다. 또한 모든 연구대상자들이 정상적인 Q-angle을 보유한 젊은 여성들이었기 때문에 운동학 및 운동역학적 변인들의 긍정적인 결과에도 불구하고 Q-angle 변화를 확인할 수 없었다. 따라서 추후 연구에서는 Q-angle이 정상범위를 벗어난 다양한 연령을 대상으로 운동 프로그램을 적용시켜 개선되는 하지관절의 정렬상태와 큰볼기근의 근활성도의 변화를 함께 알아볼 수 있는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

CONCLUSION

본 연구는 근육 기능감소로 인한 동적 하지 정렬 상태를 개선하기 위해 8주간 닫힌 사슬형 필라테스 운동프로그램을 엉덩관절 신전, 외전, 외측회전, 무릎관절의 신전 근육군의 강화를 목표로 적용하였다. 연구결과 8주간의 닫힌 사슬형 필라테스 운동프로그램은 운동학 및 운동역학적 변인들의 긍정적인 변화를 유도하였으며, 이러한 결과는 운동프로그램이 동적 하지 정렬 개선에 긍정적인 효과가 있음을 시사한다고 생각된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This study is extracted from Garam Jeon's Master Thesis.

REFERENCES

- An, N. Y. & Kim, K. J. (2012). Changes of physical fitness and body balance after pilates rehabilitation training in golfers. *International Journal of Coaching Science*, 14(3), 153-160.
- Aglietti, P., Insall, J. N. & Cerulli, G. (1983). Patellar Pain and Incongruence: I: Measurements of Incongruence. *Clinical Orthopaedics and Related Research (1976-2007)*, 176, 217-224.
- Bittencourt, N. F., Ocarino, J. M., Mendonça, L. D., Hewett, T. E. & Fonseca, S. T. (2012). Foot and hip contributions to high frontal plane knee projection angle in athletes: a classification and regression tree approach. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 42(12), 996-1004.
- Clark, M., Lucett, S. & Kirkendall, D. T. (2010). *NASM's essentials of sports performance training*. Arizona: Lippincott Williams & Wilkins.
- Curnow, D., Cobbin, D., Wyndham, J. & Choy, S. B. (2009). Altered motor control, posture and the Pilates method of exercise prescription. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 13(1), 104-111.
- Eng, J. J. & Pierrynowski, M. R. (1993). Evaluation of soft foot orthotics in the treatment of patellofemoral pain syndrome. *Physical Therapy*, 73(2), 62-68.
- Ha, S. H., Kim, J. K., Yoon, S. H. & Park, S. K. (2014). Analysis of lower extremity alignment and injury type in female soccer players during 2013 season. *The Official Journal of the Korean Academy of Kinesiology*, 16(3), 127-136.
- Han, H. Y. & Yoon, S. H. (2022). Effect of prolonged cross-legged sitting on biomechanical variables. *Sport Science*, 40(3), 89-96.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt, R. S., Jr, Colosimo, A. J., McLean, S. G., van den Bogert, A. J., Paterno, M. V. & Succop, P. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 33, 492-501.
- Heiderscheit, B. C., Hamill, J. & Caldwell, G. E. (2000). Influence of Q-angle on lower-extremity running kinematics. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 30(5), 271-278.
- Huberti, H. H. & Hayes, W. C. (1984). Patellofemoral contact pressures. The influence of q-angle and tendofemoral contact. *JBJS*, 66(5), 715-724.
- Huston, L. J., Greenfield, M. L. V. & Wojtyls, E. M. (2000).

- Anterior cruciate ligament injuries in the female athlete: potential risk factors. *Clinical Orthopaedics and Related Research (1976-2007)*, 372, 50-63.
- Jang, S. S., Lee, J. S., Yang, J. O., Kim, E. S. & Park, J. S. (2019). Effects of the balancing exercise on posture alignment and foot plantar pressure balance in female middle school students. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 29(4), 237-245.
- Joseph, E. M. & Simona, C. (2004). Pilates and the "powerhouse"-II. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 8(2), 122-130.
- Jung, D. Y. (2018). *The effects of pilates reformer exercise on pelvic imbalance in adult women*. (Master's dissertation). Kyonggi University.
- Kendall, F. P., McCreary, E. K., Provance, P. G., Rodgers, M. M. & Romani, W. A. (2005). *Kendall's Muscles: Testing and Function with Posture and Pain*. Fifth Eds. Seoul: HANMI Medical Publishing.
- Kim, S. B. & Khil, J. H. (2008). Effects of chiropractic treatment and low back rehabilitation exercise on sEMG, foot pressure and MVAS in low back pain patients. *Health & Sports*, 53-64.
- Kwon, J. E., Cho, Y. C., Han, J. K. & Lee, J. C. (2014). The effects of pilates reformer exercise on women's foot pressure, sagittal alignment and forward head posture. *The Korean Society of Sports Science*, 28(6), 1395-1403.
- Kwon, Y. J., Bae, S. S. & Park, S. J. (2009). The effect of static balance recovery by open kinetic chain and closed kinetic chain exercises. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine*, 4(1), 23-30.
- Lee, E. S., Kim, B. W. & Kim, C. H. (2008). The effects of 8 week pilates' universal reformer training on body composition, strength of lower extremity & balance control ability of adult women. *Journal of Korea Sport Research*, 19(4), 217-228.
- Lee, N. R., Yun, S. J. & Choi, K. S. (2016). The effect of pilates exercises on isokinetic muscular strength and balance in lower limb's for young aged women. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 17(11), 691-700.
- Macrum, E., Bell, D. R., Boling, M., Lewek, M. & Padua, D. (2012). Effect of limiting ankle-dorsiflexion range of motion on lower extremity kinematics and muscle-activation patterns during a squat. *Journal of Sport Rehabilitation*, 21(2), 144-150.
- Manente, G., Torrieri, F., Pineto, F. & Uncini, A. (1999). A relief maneuver in carpal tunnel syndrome. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electro-diagnostic Medicine*, 22(11), 1587-1589.
- Mascal, C. L., Landel, R. & Powers, C. (2003). Management of patellofemoral pain targeting hip, pelvis, and trunk muscle function: 2 case reports. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 33(11), 647-660.
- Mizuno, Y., Kumagai, M., Mattessich, S. M., Elias, J. J., Ramrattan, N., Cosgarea, A. J. & Chao, E. Y. (2001). Q-angle influences tibiofemoral and patellofemoral kinematics. *Journal of Orthopaedic Research*, 19(5), 834-840.
- Moon, O. K. & Han, S. E. (2013). Effect of pilates reformer training on gait improvement of subjects with asymmetric pelvic rotation. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 23(3), 271-278.
- Nakagawa, T. H., Moriya, É. T., Maciel, C. D. & Serrao, A. F. (2012). Frontal plane biomechanics in males and females with and without patellofemoral pain. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(9), 1747-1755.
- Nguyen, A. D., Boling, M. C., Levine, B. & Shultz, S. J. (2009). Relationships between lower extremity alignment and the quadriceps angle. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 19(3), 201.
- Noehren, B., Hamill, J. & Davis, I. (2013). Prospective evidence for a hip etiology in patellofemoral pain. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(6), 1120-1124.
- Palmitier, R. A., An, K. N., Scott, S. G. & Chao, E. Y. (1991). Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. *Sports Medicine*, 11, 402-413.
- Page, P., Frank, C. & Lardner, R. (2010). *Assessment and Treatment of Muscle Imbalance: The Janda Approach*. Champaign: Human Kinetics.
- Park, D. G. (2005). The effect of pelvic manipulation to primary school students balance, flexibility, and LLI. *The Korean Journal of Growth and Development*, 13(2), 13-22.
- Park, S. Y., Sung, S. Y., Kim, H. J. & Cha, Y. J. (2020). The effects of 8 weeks of pilates core exercise on body composition and physical fitness in a middle-aged women. *The Korea Journal of Sports Science*, 29(5), 1313-1323.
- Park, S. Y., Kim, J. W. & Nho, H. S. (2008). Vastus medialis oblique and vastus lateralis electromyographic activities during closed kinetic chain exercises in male athletes with and without patellofemoral pain syndrome. *The Korea Journal of Sports Science*, 17(1), 487-495.

- Patel, K. (2005). *Corrective exercise a practical approach*. London: Hodder & Stoughton.
- Phrompaet, S., Paungmali, A., Pirunsan, U. & Silitertpisan, P. (2011). Effects of pilates training on lumbo-pelvic stability and flexibility. *Asian Journal of Sports Medicine*, 2(1), 16.
- Powers, C. M. (2003). The influence of altered lower-extremity kinematics on patellofemoral joint dysfunction: a theoretical perspective. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 33(11), 639-646.
- Powers, C. M. (2010). The influence of abnormal hip mechanics on knee injury: a biomechanical perspective. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(2), 42-51.
- Quatman, C. E. & Hewett, T. E. (2009). The anterior cruciate ligament injury controversy: is "valgus collapse" a sex-specific mechanism?. *British Journal of Sports Medicine*, 43(5), 328-335.
- Randall, T., Portney, L. & Harris, B. A. (1992). Effects of joint mobilization on joint stiffness and active motion of the metacarpal-phalangeal joint. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 16(1), 30-36.
- Salmon, J., Tremblay, M. S., Marshall, S. J. & Hume, C. (2011). Health risks, correlates, and interventions to reduce sedentary behavior in young people. *American Journal of Preventive Medicine*, 47(2), 197-206.
- Salsich, G. B., Graci, V. & Maxam, D. E. (2012). The effects of movement pattern modification on lower extremity kinematics and pain in women with patellofemoral pain. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 42(12), 1017-1024.
- Shin, J. M. (2020). Effect of pelvic pre-orientation on biomechanical variables of lower extremity during side step cuttings. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 79, 431-440.
- Yoon, W. R. (2019). *The effect of a 12-week lower extremity alignment corrective exercise on the injury factors of lower extremity and structural improvement of foot in flexible flatfoot*. (Doctoral dissertation). Korea National Sport University.
- Yoon, W. R., Park, S. H., Jeong, C. H., Park, J. H. & Yoon, S. H. (2018). Effects of center of pressure on muscle activations and joint range of motion of lower extremities during squat. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 28(1), 37-43.