

## 다리 등척성 근력 및 균형 능력에 대한 발목관절 운동과 넓적다리 운동의 비교

이우중 · 이선아 · 김아람<sup>1</sup> · 유경태<sup>1</sup> · 이호성<sup>†</sup>

단국대학교 대학원 운동의과학과, <sup>1</sup>남서울대학교 물리치료학과

### Comparison of Ankle Joint Exercise and Thigh Exercise on the Isometric Strength of the Lower Limb and Balance Ability

Woo-Jung Lee · Sun-Ah Lee, MS · Ah-Ram Kim, PT, PhD<sup>1</sup> · Kyung-Tae Yoo, PT, PhD<sup>1</sup> ·  
Ho-Seong Lee, PhD<sup>†</sup>

Department of Kinesiological Medical Science, Graduate, Dankook University

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, Namseoul University

Received: August 27, 2019 / Revised: September 11, 2019 / Accepted: October 28, 2019  
© 2019 J Korean Soc Phys Med

#### | Abstract |

**PURPOSE:** This study compared ankle joint exercise and thigh exercise on the isometric strength of the lower limb and balance ability.

**METHODS:** Twenty-seven subjects were divided into ankle joint exercise (AEG, n=9), thigh exercise (TEG, n=9), and control group (CON, n=9). AEG and TEG performed ankle joint and thigh exercises three times a week for four weeks. The following were measured before and four weeks after each exercise: isometric strength at knee flexion and extension of the lower limb; isometric strength at ankle plantar flexion and dorsiflexion of the lower limb; static balance of trace length and C90 area; and the dynamic forward, backward, leftward, and rightward balance for each

region.

**RESULTS:** The results showed that the isometric strength of plantar flexion ( $p<.05$ ) was increased significantly in AEG compared to those in TEG and CON. The dynamic leftward ( $p<.05$ ) and rightward balance ( $p<.05$ ) were increased significantly in both AEG and TEG compared to that in CON. On the other hand, the static balance of the trace length and C90 area, isometric strength of ankle dorsiflexion, knee flexion and extension of the lower limb, and dynamic forward and backward balance did not show significant differences between the groups.

**CONCLUSION:** Ankle joint exercise improves the isometric strength of plantar flexion compared to thigh exercise.

**Key Words:** Ankle joint exercise, Thigh exercise, Isometric strength, Dynamic balance, Static balance

#### I. 서 론

발목관절(ankle joint)은 체중 부하 과정에서 다리 근

<sup>†</sup>Corresponding Author : Ho-Seong Lee  
hoseh28@dankook.ac.kr, <https://orcid.org/0000-0002-5779-1080>

This is an Open Access article distributed 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.

육의 근력을 포함한 근기능 및 협력 작용을 통해 신체를 안정화 시키고, 발바닥의 촉각을 통해 자세 유지에 대한 감각 되먹임 및 감각 정보를 제공해준다고 알려져 있다[1]. 특히, 발목관절 주변 근육의 근력은 신체의 기능적 활동에 중요하며[2], 인간의 안정적인 기립자세 및 자세조절을 유지시키기 위해 매우 필요하다고 보고되고 있다[3]. 이와 같이 인체는 신체 중심의 변화에 따라 발목관절 주변 근육을 통해 제어가 발생하는데, 이를 발목관절 전략(ankle strategy)이라고 보고하였다[4]. 선행연구에 의하면, 발목관절 전략, 즉 발목관절 운동(ankle joint exercise)은 발목관절 주변 근육을 수축시켜서 전·후 방향의 조절능력 및 자세 흔들림을 회복시킬 수 있다고 보고하면서[5], 전·후 방향의 움직임 시 균형은 안쪽 장딴지근(medialgastrocnemius)과 앞정강근(tibialis anterior)의 활성을 통해 유지된다고 하였다. 그 중 장딴지근은 신체가 움직일 때 앞으로 체중 중심이 무너지지 않도록 먼저 활성화되는 역할을 하며, 앞정강근은 몸이 다시 뒤쪽으로 세워지기 전에 먼저 활성화되는 역할을 한다고 알려져 있다[6]. 따라서 신체의 전·후 안정성을 담당하는 근육의 약화[6] 및 발목관절의 근수축 능력의 약화[7]는 신체의 안정성과 시상면에서의 자세조절을 감소시킨다고 생각된다. 아울러 발목관절 주변 근육의 근력은 관절의 정적 및 동적 균형을 안정화 시켜 재손상을 예방한다고 보고 하였다[8]. 따라서 발목관절 주변 근육의 근력 강화는 관절의 움직임 및 균형능력을 향상시킬 수 있다고 생각된다.

한편, 넙다리네갈래근(quadriceps femoris muscle)은 무릎관절 펌의 주동근이며, 주변의 인대들과 함께 관절의 안정성에 기여할 뿐만 아니라, 다리의 균형을 유지하는데 중요한 역할을 한다고 알려져 있다[9]. 그 중 안쪽넓은근(vastus medialis oblique)은 무릎뼈의 외측 아탈구를 방지하고, 가쪽넓은근(vastus lateralis)은 무릎뼈를 위가쪽으로 잡아당겨 관절의 움직임과 안정성을 제공한다[10]. 따라서 넙다리네갈래근의 근력 강화, 즉 넓적다리 운동은 무릎관절의 안정성을 증가시켜 균형능력을 향상시킬 수 있다고 생각된다. 선행연구에 의하면, 넓적다리 운동은 넙다리네갈래근과 넙다리두갈래근(biceps femoris muscle)의 근력 증가

뿐만 아니라 근육의 동시수축으로 다리 관절의 안정성이 증가되어 균형을 향상시킬 수 있다고 보고하였다[11]. 따라서 발목관절 운동 뿐만 아니라 넓적다리 운동도 관련 근력을 증가시키며, 균형능력을 향상시킬 수 있다고 생각된다. 하지만 발목관절 주변 근육은 넓적다리 근육보다 말초부근에 위치하고 있어 압력수용기(baroreceptor)의 감각신호전달(sensory receptor transduction)이 더욱 커지게 되고, 그 결과, 균형능력에 보다 큰 영향을 미칠 수 있다고 보고되어 있다[12]. 특히, 발목관절의 안쪽 변잡과 가쪽변잡의 움직임은 체성감각계(somatosensory system)에서 유입되는 관절의 변화 및 접촉면의 변화에 영향을 받게 되는데, 이러한 변화들은 근육의 전략들을 변화시켜서 안정적인 움직임을 유지할 수 있다고 보고하였다[13]. 또한 발목관절의 주요 인대인 발꿈치종아리인대(calcaneofibular ligament)는 Type-II(관절 동작을 최초로 인지하는 감각기) 및 Type-III(주로 동적 관절 동작에 관여하는 감각기) 섬유가 포함되어 있어 자세유지 능력에 중요한 역할을 한다고 보고되어 있다[14]. 따라서 이 연구에서는 발목관절 운동은 넓적다리 운동보다 다리 등척성 근력 및 균형능력을 향상시킬 것이라는 가설을 세워서, 실제로 이러한 가설을 검증하기 위하여 4주간의 발목관절 운동과 넓적다리 운동을 각각 실행한 후에 다리 등척성 근력(발목 및 무릎) 및 균형능력(정적 및 동적)을 비교 및 분석하는데 그 목적을 두었다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

연구대상은 C지역 소재 N대학교에 재학 중인 대학생 총 27명(20~22세, N=27)을 대상으로 발목관절 운동 집단(ankle joint exercise group; AEG=9), 넓적다리 운동 집단(high exercise group; TEG=9) 및 통제집단(control group; CON=9)으로 무작위 분류하였다. 모든 피험자는 현재 질병으로 인해 복용하고 있는 약물은 없고, 다리 근·골격계 질환이 없으며, 과거력이 없는 자로 선정하였다. 피험자의 신체적 특성은 <Table 1>에 제시하였으며, 각 피험자에게 연구의 취지 내용을 충분히 설명한 후 자발적으로 참가 동의를 얻었다.

Table 1. Characteristics of the Subjects

| Group (n) | Age (yrs.) | Height (cm) | Weight (kg) |
|-----------|------------|-------------|-------------|
| AEG (9)   | 21.55±1.59 | 167.00±9.04 | 64.96±14.19 |
| TEG (9)   | 21.11±1.29 | 164.40±8.95 | 62.96±13.69 |
| CON (9)   | 21.05±1.33 | 165.88±5.81 | 61.28±15.67 |

Table 2. Ankle Joint Exercise

|                      | Position | Pattern       | Program                                       | Intensity                                 |      |              |
|----------------------|----------|---------------|---|---|------|--------------|
| Warm-up              |          |               | Stretching & Dynamic Stretching               | 5 min                                     |      |              |
| Ankle Joint Exercise | Standing | Heel Raising  | Standing with Ankle Dorsiflexion for 20 s.    | Left/Right                                | 1~2  | Total 3 sets |
|                      |          |               |   | 10 times 1 set, 1 min rest / between sets | week |              |
|                      |          | Heel Standing | Standing with Ankle Plantar Flexion for 20 s. | Left/Right                                | 1~2  | Total 3 sets |
|                      |          |               |   | 10 times 1 set, 1 min rest / between sets | week |              |
| Cool-down            |          |               | Stretching                                    | 5 min                                     |      |              |

2. 측정항목

1) 신체조성

신체조성은 생체 전기 저항 분석기(inbody 720, biospace, Korea)를 이용하여 체중(kg)과 체질량지수(kg/m<sup>2</sup>)를 측정 및 산출하였다. 피험자는 간편한 복장으로 전해질 티슈를 이용하여 발바닥과 손바닥을 닦은 후 발 전극을 정확히 밟고, 손 전극을 쥐 후 양팔을 30° 정도 넓힌 자세에서 측정하였으며, 측정 오차를 최소화하기 위해 측정 4시간 이전에 격렬한 신체활동 및 식사, 음료, 알코올 및 카페인 섭취 등을 제한하였다.

2) 다리 등척성 근력

다리 등척성 근력은 primus RS(BTE Tech, USA)를 사용하였으며, 다리 등척성 근력은 앉은 상태에서 어깨, 등 및 허리를 고정한 후 발목관절의 등쪽 굽힘과 발바닥 굽힘 시, 무릎관절의 펴고 굽힘 시의 다리 등척성 근력의 변화를 각각 측정하였다. 각 피험자는 본 측정 전에 5초 간의 3회씩 등척성 근력 운동을 실시하였

으며, 각 시도 사이에 1분간의 휴식 시간을 가지고, 3회의 최대 수의적 등척성 수축력 중 최대 토크값(highest peak torque)을 MVIC로 선정하였다[15]. 이 장비는 검사-재검사(test-retest)방법에서 신뢰도 (r= .97) 및 타당도 (r= .96)가 높은 것으로 보고되어 있다[15].

3) 균형능력

정적 균형은 균형 능력 측정 장비인 BT4 (Balance Trainer 4, HUR, Finland)를 사용하였으며, 피험자의 앞, 뒤, 오른쪽 및 왼쪽 방향의 압력 중심점(center of pressure; COP)의 이동거리(trace length) 및 이동 범위(C90 area)를 측정하였다[16]. 이동 거리는 COP가 움직인 거리를, 이동 범위는 COP가 움직인 범위를 측정하였다. 수치가 클수록 균형이 저하됨을 나타낸다. 정적 균형의 측정 자세는 양 발로 선 자세의 안정성을 확인하기 위하여 양 손을 몸통에 붙인 뒤 앞을 주시하였으며, 서 있는 자세에서 눈을 뜬 상태와 감은 상태를 각각 30초간 수행하는 중에 COP의 이동 거리, 범위를 측정하여 비교하였다[17].

Table 3. Tight Exercise

|                | Position | Pattern             | Program   | Intensity                                 |              |
|----------------|----------|---------------------|---|---|--------------|
| Warm-up        | Standing |                     | Stretching & Dynamic Stretching   |   | 5 min        |
| Tight Exercise | Sitting  | Quadriceps Exercise | After knee extension, roll towel under knee, press towel and hold for 20 s.                           | Left/Right                                | 1~2 week     |
|                |          |                     |   | 10 times 1 set, 1 min rest / between sets | 3~4 week     |
|                |          |                     |   |   | Total 3 sets |
|                |          |                     |   |   | Total 5 sets |
| Tight Exercise | Standing | Hamstring Exercise  | Hold the 1 kg cuff weight on the ankle and hold for 20 s after the 90° knee flexion against the wall. | Left/Right                                | 1~2 week     |
|                |          |                     |   | 10 times 1set, 1 min rest / between sets  | 3~4 week     |
|                |          |                     |   |   | Total 3 sets |
|                |          |                     |   |   | Total 5 sets |
| Cool-down      | Standing |                     | Stretching  |   | 5 min        |

동적 균형은 균형 능력 측정 장비인 BT4 (Balance Trainer 4, HUR, Finland)를 사용하였으며, 안정성 한계 (limit of stability)의 검사방법으로 COP의 이동거리 값을 측정하였다. 동적 균형의 측정 자세는 뒤꿈치 간격을 2 cm, 각 발끝은 중심선을 기준으로 양 발을 각각 15°로 벌렸으며 똑바로 선 자세에서 발은 지지면에 팔은 몸통에 고정된 후에 몸을 앞, 뒤, 오른쪽 및 왼쪽 방향으로 최대한 기울이는 자세를 8초간 수행하는 중에 COP의 최대 이동 거리 값을 측정하여 비교하였다[18].

### 3. 발목관절 운동

발목관절 운동은 선행연구를 수정하여, 4주간 및 주 3회를 실시하였다[19]. 발목관절 운동은 스트레칭을 포함한 준비운동을 5분간 실시하였으며, 본 운동은 서서 Ankle dorsiflexion과 Plantar flexion을 유지하는 운동으로 구성하였으며[20], 20초간 휴식 없이 10회를 진행한 후에 세트간 휴식시간을 1분으로 하여 실시하였다. 운동 강도는 3-4주차에 강도가 증가하도록 설정하였고, 마무리 운동으로 5분간 스트레칭을 실시하였다<Table 3>.

### 4. 넓적다리 운동

넓적다리 운동은 스트레칭을 포함한 준비운동을 5분간 실시하였으며, 본 운동 중 Quadriceps 운동은 앉아서 타월을 무릎 뒤에 놓고 무릎을 편 상태에서 20초간 타월을 누르는 운동으로 구성하였고, Hamstring 운동은

서 있는 상태에서 1kg의 모래주머니를 발목에 착용한 후 90°의 무릎 굽힘 동작을 10초간 유지하였으며[21], 마무리 운동으로 5분간 스트레칭을 실시하였다. 운동 강도는 3-4주차에 강도가 증가하도록 설정하였다 <Table 4>.

### 5. 자료처리

모든 자료는 SPSS WIN Ver 20.0을 이용하여 평균과 표준편차를 산출하였다. 등척성 근력과 정적 및 동적 균형은 집단과 시기 간에 따른 상호작용 효과와 집단 간의 차이를 확인하기 위하여 반복측정 이원분산분석 (Two-way repeated measure ANOVA)을 실시하였으며, 사전검사에서 집단간 차이가 있는 경우 공분산 분석 (ANCOVA)을 실시하였다. 또한 집단 및 시기간에 유의한 차이가 있을 경우 사후검정(post-hoc)에 따른 다중비교를 실시하였으며, 모든 결과의 통계적 유의수준은  $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

## III. 연구결과

### 1. 등척성 근력의 변화

등척성 근력의 변화는 <Table 4>에 제시한 바와 같다. 발목관절의 발바닥 굽힘의 등척성 근력은 시기간에 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 나타났으며 ( $p<.05$ ), TEG 및 CON과 비교해서 AEG에서 운동 전과

Table 4. Differences in Isometric Strength Between Pre and Post Each Exercises

| Index | Time           | AEG  | TEG                       | CON           | F (P)        |               |
|-------|----------------|------|---------------------------|---------------|--------------|---------------|
| Ankle | Dorsiflexion   | Pre  | 29.01±13.74               | 27.12±17.28   | G            | .035 (.860)   |
|       |                | Post | 38.81±13.86               | 30.84±17.14   | T            | 3.091 (.131)  |
|       | Plantarflexion | Pre  | 28.40±8.74                | 26.41±9.17    | G x T        | 2.604 (.714)  |
|       |                | Post | 43.02±17.32 <sup>††</sup> | 32.17±11.44   | G            | .171 (.347)   |
| Knee  | Flexion        | Pre  | 141.51±24.89              | 149.57±44.99  | T            | 6.998* (.045) |
|       |                | Post | 149.42±40.18              | 171.39±62.39  | G x T        | 2.173 (.331)  |
|       | Extension      | Pre  | 249.11±87.12              | 250.56±100.92 | G            | 1.969 (.150)  |
|       |                | Post | 255.12±103.71             | 274.44±112.43 | T            | 2.483 (.814)  |
|       |                | Pre  | 249.11±87.12              | 250.56±100.92 | G x T        | 2.401 (.147)  |
|       |                | Post | 255.12±103.71             | 274.44±112.43 | G            | 1.189 (.340)  |
|       |                |      |                           | T             | 2.141 (.739) |               |
|       |                |      |                           | G x T         | 2.334 (.447) |               |

means±SD. \*p<.05. †p<.05 vs. CON. ††p<.05 vs. TEG

비교하여 운동 후에 유의하게 증가하는 것으로 나타났다(p<.05). 한편, 발목관절의 등쪽 굽힘, 무릎관절의 굽힘 및 폼의 등척성 근력은 집단, 시기, 집단 및 시기 간에 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 나타나지 않았다.

### 2. 정적 균형의 변화

정적 균형의 변화는 <Table 5>에 제시한 바와 같다. 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태에서 Trace length와 C90 area은 집단, 시기, 집단 및 시기 간에 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 나타나지 않았다.

### 3. 동적 균형의 변화

동적 균형의 변화는 <Table 6>에 제시한 바와 같다. 왼 방향 및 오른 방향의 동적 균형은 집단 간에 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 나타났으며(p<.05), CON 과 비교하여 TEG 및 AEG에서 운동 전과 비교하여 운동 후에 각각 유의하게 증가하는 것으로 나타났다(p<.05). 한편, 앞 방향 및 뒤 방향의 동적 균형은 집단, 시기, 집단 및 시기 간에 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 나타나지 않았다.

## IV. 논 의

이 연구에서는 발목관절 운동은 넓적다리 운동보다 등척성 근력 및 균형능력을 향상시키는가에 대해 검증하였다. 그 결과, 발목관절 발바닥 굽힘의 등척성 근력은 넓적다리 운동보다 발목관절 운동에서 유의하게 증가하는 것으로 나타났으며, 왼 방향 및 오른 방향의 동적 균형은 발목관절 운동과 넓적다리 운동 모두에서 유의하게 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 이 연구에서 발목관절 운동은 넓적다리 운동보다 발바닥 굽힘의 등척성 근력을 향상시킨다는 사실을 검증하였다.

이 연구에서 발목관절의 발바닥 굽힘의 등척성 근력은 시기 간에 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 나타났으며, 발목관절 운동집단에서 운동 전과 비교하여 운동 후에 유의하게 증가하는 것으로 나타났다. 발목관절은 체중 지지와 걷기, 달리기, 점프, 정적 및 동적 균형의 조절 작용 등 다양한 기능을 제공하고, 무릎 및 엉덩 관절의 유기적인 보상을 통해 유연성 및 안정적인 기저면 확보에 있어 중요한 역할을 수행한다고 보고되어 있다[22]. 선행연구에 의하면, 열린 운동 사슬 동작(open kinetic chain motion)에서 발목관절의 가쪽번짐(eversion)과 벌림(abduction) 및 등쪽 굽힘으로 이루어

Table 5. Differences in Opened and Closed Eyes on the Static Balance Between Before and After Each Exercise

|             | Index                       | Time | AEG             | TEG            | CON            |       | F (P)        |
|-------------|-----------------------------|------|-----------------|----------------|----------------|-------|--------------|
| Opened Eyes | Trace Length (mm)           | pre  | 741.66±126.92   | 811.48±166.81  | 752.24±117.25  | G     | .366 (.959)  |
|             |                             | post | 790.87±95.87    | 841.64±134.46  | 758.34±108.42  | G x T | .877 (.741)  |
|             | C90 Area (mm <sup>2</sup> ) | pre  | 418.27±174.40   | 575.19±300.29  | 443.25±174.28  | T     | .903 (.332)  |
|             |                             | post | 589.81±195.93   | 759.86±385.56  | 450.22±174.20  | G     | .020 (.317)  |
|             |                             | pre  |                 |                |                | G x T | .964 (.195)  |
|             |                             | post |                 |                |                | T     | .917 (.570)  |
| Closed Eyes | Trace Length (mm)           | pre  | 1766.59±366.97  | 1711.39±201.86 | 1732.22±332.01 | G     | .308 (.692)  |
|             |                             | post | 2193.94±1646.38 | 1681.68±443.56 | 1802.21±521.75 | G x T | .713 (.315)  |
|             | C90 Area (mm <sup>2</sup> ) | pre  | 1757.40±471.65  | 1765.82±304.47 | 1767.70±487.22 | T     | .873 (.479)  |
|             |                             | post | 1393.76±413.27  | 1633.85±543.06 | 1764.22±477.27 | G     | .204 (.786)  |
|             |                             | pre  |                 |                |                | G x T | .903 (.577)  |
|             |                             | post |                 |                |                | T     | 1.604 (.310) |

means±SD.

Table 6. Differences in Dynamic Balance Between Before and After Each Exercise

|               | Index | Time | AEG       | TEG        | CON       |       | F (P)         |
|---------------|-------|------|-----------|------------|-----------|-------|---------------|
| Forward (°)   |       | Pre  | 7.08±1.42 | 6.95 ±1.36 | 7.13±1.22 | G     | .929 (.611)   |
|               |       | Post | 7.51±.89  | 7.88±.50   | 7.23±.27  | T     | 3.091 (.174)  |
|               |       |      |           |            |           | G x T | .153 (.692)   |
| Backward (°)  |       | Pre  | 3.02±.61  | 3.31±1.23  | 3.11±.89  | G     | 1.023 (.150)  |
|               |       | Post | 3.47±.58  | 4.26±.67   | 3.09±.71  | T     | 3.107 (.232)  |
|               |       |      |           |            |           | G x T | .177 (.841)   |
| Leftward (°)  |       | Pre  | 7.02±.58  | 6.32±1.33  | 7.05±.82  | G     | 7.118 (.102)  |
|               |       | Post | 8.59±.73* | 8.36±.89*  | 7.22±.32  | T     | 3.091 (.061)  |
|               |       |      |           |            |           | G x T | .992 (.077)   |
| Rightward (°) |       | Pre  | 7.23±.68  | 6.90±1.12  | 7.07±.29  | G     | 7.504* (.045) |
|               |       | Post | 8.53±.51† | 8.12±1.16‡ | 7.21±.76  | T     | .233 (.617)   |
|               |       |      |           |            |           | G x T | .989 (.147)   |

means±SD. \*p&lt;.05. †p&lt;.05 vs. CON. ‡p&lt;.05 vs. CON

져 있는 앞침(pronation)은 무릎관절의 축을 안쪽 돌림(internal rotation)시켜 다리 안쪽면의 구조와 무릎관절의 바깥 굽은(valgus)을 증가시키고, 반대로 발목관절의 안쪽번짐(inversion)과 모음(adduction) 및 발바닥 굽힘으로 구성되어 있는 뒤침(supination)은 무릎관절의 축을 바깥 돌림(external rotation)시켜 다리의 외측면의 긴

장도 및 무릎관절의 안쪽 굽은(varus)을 증가시킬 수 있다고 보고하였다[23]. 따라서 발목관절의 적절한 앞침과 뒤침의 움직임이 이루어져야 안정적인 무릎관절의 움직임을 유지할 수 있기 때문에 발목관절을 보조하는 근육의 강화가 필수적이라고 생각된다. 선행연구에 의하면, 노인을 대상으로 6주간의 종아리 세갈래근

(triceps muscle of calf)운동은 발목관절의 발바닥 굽힘 근력을 증가시켰다고 보고하였고[19], Nagayohi 등[24]은 장딴지근의 등척성 근수축력과 근 횡단면은 유의한 상관관계가 있다고 보고하면서, 발바닥 굽힘의 근력과 장딴지근의 근력은 유의한 상관관계가 있다고 보고하였다. 따라서 이 연구에서 발목관절 운동에 의해 발바닥 굽힘의 등척성 근력이 증가한 이유는 발목관절 운동 중 평면인 지면에서 발이 고정되어 있는 상태에서 수직적으로 움직이는 Heel raising와 Heel standing 운동이 장딴지 근육을 강화시켜 발바닥 굽힘의 등척성 근력을 향상시켰을 가능성이 있다고 생각된다. 반면에 TEG에서 모든 발목관절의 등척성 근력이 증가하지 않은 이유는 넓적다리 운동이 발목관절의 움직임 없이 무릎관절의 움직임만 사용하였기 때문이라고 생각된다.

이 연구에서 무릎관절의 굽힘 및 폼의 등척성 근력은 집단, 시기, 집단 및 시기 간에 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 나타나지 않았다. 등척성 운동은 관절의 움직임 없이 근육만 수축하는 운동으로 국소적인 근육을 운동시킬 수 있으며, 근력을 평가하는데 자주 사용되고 있다[25]. Lee 등[26]은 등척성 근력을 증가시키기 위하여 훈련 강도의 효과를 비교한 결과, 등척성 근력은 높은 강도와 최대 노력에서 보다 높게 증가하였다고 보고하였다. Braddom과 Randall [27]은 수의적 등척성 근력 강화에 충분한 효과를 거두려면 운동량이 근섬유의 피로를 유발시킬 정도로 강해야 하고, 모든 근 섬유가 동원될 수 있을 정도로 충분한 시간 동안 수축하는 것이 필요하다고 보고하였다. 따라서 이 연구에서 무릎관절의 굽힘과 폼의 등척성 근력이 증가하지 않은 것은 넓적다리 운동이 발목관절 주변 근육보다 비교적 큰 근섬유의 동원이 필요한 넓다리네갈래근 및 넓다리두갈래근에 근섬유의 피로를 유발시킬 정도의 강한 힘과 시간이 충족되지 않았기 때문이라고 생각된다.

한편, 이 연구에서 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태에서 Trace length와 C90 area은 집단, 시기, 집단 및 시기 간에 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 나타나지 않았다. 선행연구에 의하면, 정적 균형 조절을 위해서는 신경학적인 측면에서 고유수용감각 및 시각 정보가 필요하다[28]. 시각은 주변 환경과 사물을 기준

으로 어떻게 위치하고 움직이는 지에 대한 정보를 제공한다고 보고하였다[29]. 특히, 눈을 감은 상태에서는 균형 조절을 위해 다양한 감각과정에서 중요한 역할을 하며[30], 고유수용감각이 감소될 때 보상작용으로 시각 의존도가 높아진다고 하였다. Sakellari과 Soames [31]은 시각적인 정보를 차단한 상태에서 균형 유지가 어려운 것은 우리가 의식하지 못하지만, 신체의 균형을 유지하기 위해 필요한 근육들이 움직임을 재조정한다는 것을 의미한다고 보고하였다. 또한, Lee [32]은 허리 통증 환자와 정상인을 대상으로 눈을 뜬 상태와 눈을 감은 상태의 정적 균형을 비교한 결과, 허리통증 환자는 Trace length와 C90 area 모두 통계적으로 유의한 차이가 있다고 보고하였고, Mann 등[28]은 허리통증 환자는 정상인보다 신체의 위치 변화에 빠르게 반응하기 위해 시각정보의 의존도가 높다고 보고하였다. 따라서 이 연구에서 Trace length와 C90 area가 유의한 차이가 나타나지 않은 것은 건강한 성인을 대상으로 진행하였기 때문에 결과에 영향을 미치지 않았을 가능성이 있다고 생각된다. 또한 각각의 운동 프로그램이 시각적 정보를 활용하여 구성하지 않았기 때문이라고 생각되며, 추후 연구에서는 정적 균형이 상실된 사람을 대상으로 정적 균형을 강화하기 위해서 고유수용감각과 시각적 자극을 활용하는 운동 프로그램이 필요하다고 생각된다.

이 연구에서 왼 방향 및 오른 방향의 동적 균형은 집단 간에 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 나타났다( $p < .05$ ). 하지만 앞 방향 및 뒤 방향의 동적 균형은 집단, 시기, 집단 및 시기 간에 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 나타나지 않았다. 선행연구에 의하면, 발목관절 운동은 발목관절 주변 근육의 근력을 증가시켜 발목의 안정성을 도모하고, 균형을 회복시킨다고 보고하였다[4]. Lee [33]에 의하면, 노인을 대상으로 8주간의 발목관절 운동을 실시한 결과, 노인의 균형능력을 향상시켰다고 보고하였으며, Lee 등[4]은 65세 이상의 균형 손상 노인을 대상으로 8주간의 발목관절 운동을 실시한 결과, 노인의 균형 회복에 도움을 주었다고 보고하였다. 따라서 이 연구에서 4주간의 발목관절 운동 후 동적 균형이 향상된 이유는 발목관절 운동을 통해 증가된 근력이 대뇌피질을 자극하여 고유수용기를 촉진하

였기 때문이라고 생각되며, 발목관절 운동 중 닫힌 사슬에서 진행되는 발 뒤꿈치 들기 동작이 발목관절 안정성에 중요한 발바닥 굽힘 근을 강화 시키고, 발목의 안정성을 증가 시켜 균형 능력이 향상되었을 가능성이 있다고 생각된다. 또한 Toulotte 등[5]은 발목관절 주변 근육의 약화는 안쪽변잡과 뒤침의 움직임을 증가시켜 족저압 중심을 바깥측으로 분포시키며, 왼 방향과 오른 방향의 자세 동요가 높아지게 된다고 보고하였다. 따라서 이 연구에서 발목관절 운동 후 왼 방향 및 오른 방향의 동적균형이 향상된 것은 발목관절의 안쪽변잡과 발바닥 굽힘을 보조하는 종아리근의 근력이 강화되었기 때문일 가능성이 있다고 생각된다. 한편, 다리 근력의 약화는 근육의 기능을 약화시키고, 균형이 무너졌을 때 근육을 생성하는 힘의 속도와 반응시간을 지연시킬 수 있다고 하였다[11]. 또한 다리 근력의 약화는 균형 조절 능력을 감소시켜 자세동요를 증가시키기 때문에 기저면 안에서 무게중심을 유지하고, 대칭적인 자세 및 신체의 균형을 유지하기 위해서는 다리 근력의 강화가 필요하다고 보고하였다[34]. Yun [35]은 8주간의 넓적다리 근육의 등척성 운동을 진행한 결과, 균형이 유의하게 증가되었다고 보고하였고, Kim [36]은 8주간의 무릎관절 운동은 다리 근력과 균형을 향상시켰다고 보고하였다. 또한 Moxley 등[37]은 무릎의 굽힘 근과 폼 근의 움직임을 통해 근육 내의 고유수용기를 자극함으로써 동적 안정성을 향상시킨다고 보고하였다. Spartano 등[38]은 신체의 균형을 유지하기 위해서는 무게중심이 횡단면 중앙 부근에 위치하도록 가능한 대칭 자세를 취해야 하며, 이 때 관절의 움직임이 최소화 될 수 있도록 다리의 굽힘 근과 폼 근이 고르게 발달되어야 한다고 보고하였고, Nam과 Lee [39]은 굽힘 근과 폼 근의 근력 차이는 보행 시 발의 지지 시간에 관여하여 균형에 영향을 미친다고 보고하였다. 따라서 이 연구에서 TEG에서 동적 균형이 증가한 이유는 무릎의 굽힘 근과 폼 근을 사용하는 넓적다리 운동이 무릎의 근육 활동을 촉진하였고, 고유수용기를 자극하였기 때문일 가능성이 있다고 생각되며, 넓적다리 운동이 넵다리네갈래근 및 넵다리두갈래근의 고른 발달을 도모하였고, 다리의 기능적 움직임을 향상시켜서 무릎관절의

안정된 위치를 확립하는데 도움이 되었을 가능성이 있다고 생각된다.

## V. 결 론

이 연구에서는 발목관절 운동은 넓적다리 운동보다 등척성 근력 및 균형능력을 향상시키는가에 대해 검증한 결과, 발목관절 발바닥 굽힘의 등척성 근력은 넓적다리 운동보다 발목관절 운동에서 유의하게 증가하는 것으로 나타났으며, 왼 방향 및 오른 방향의 동적 균형은 발목관절 운동과 넓적다리 운동 모두에서 유의하게 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 이 연구에서 발목관절 운동은 넓적다리 운동보다 발바닥 굽힘의 등척성 근력을 향상시킨다는 사실을 검증하였다. 향후에는 근력 및 균형을 상실한 노인을 대상으로 발목관절 운동 및 넓적다리 운동의 생리학적 효과를 상세히 비교 및 검토할 필요가 있다고 생각된다.

## References

- [1] Reid DT. The use of virtual reality to improve upper-extremity efficiency skills in children with cerebral palsy: a pilot study. *Techn.* 2002;14(9):53-61.
- [2] Gribble PA, Delahun E, Bleakley C, et al. Selection criteria for patients with chronic ankle instability in controlled research: a position statement of the international ankle consortium. *J Athl Train.* 2014;49(1): 121-7.
- [3] Gao F, Ren Y, Roth EJ, et al. Effects of repeated ankle stretching on calf muscle-tendon and ankle biomechanical properties in stroke survivors. *Clin Biomech.* 2011; 26(5):516-22.
- [4] Lee JW, Kwon OY, Yi CH, et al. Effect of ankle strategy exercise on improvement of balance in elderly with impaired balance. *Korean J Health Promot Dis Prev.* 2008;8(3):158-66.
- [5] Toulotte C, Faber C, Dangremont B, et al. Effects of physical training on the physical capacity of frail, demented

- patients with a history of falling: a randomized controlled trial. *Age and ageing*. 2003;32(1):67-73.
- [6] Almeida FM, Tomiosso TC, Nakagaki WR, et al. Effects of Passive Stretching on the Biochemical and Biomechanical Properties of Calcaneal Tendon of Rats. *Connective Tissue Research*. 2009;50:279-84.
- [7] Fenter P, Bellew J, Pitts T, et al. Reliability of stabilized commercial dynamometers for measuring hip abduction strength: a pilot study. *Br J Sports Med*. 2003;37:331-4.
- [8] Shumway-Cook, Wollacott MH. *Motor control: theory and practical applications*. 1st ed. 1995.
- [9] Aniansson A, Hedberg M, Henning GB, et al. Muscle morphology, enzymatic activity, and muscle strength in elderly men: A follow-up study. *Muscle and Nerve*. 1986;9(7):585-91.
- [10] Boling MC, Padua DA, Creighton R. Concentric and eccentric torque of the hip musculature in individuals with and without patellofemoral pain. *J Athl Train*. 2009;44(1):7-13.
- [11] Lord SR, Ward JA, Williams P, et al. The effect of a 12-month exercise trial on balance, strength, and falls in older women: a randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc*. 1995;43(11):1198-206.
- [12] Hagen M, Lescher S, Gerhardt A, et al. Shank muscle strength training changes foot behaviour during a sudden ankle supination. *PLoS One*. 2015;10(6):e0130290.
- [13] Cote KP, Brunet ME, Gansneder BM, et al. Effects of pronated and supinated foot postures on static and dynamic postural stability. *Journal of Athletic Training*. 2005; 40(1):41-6
- [14] Michelson JD, Hutchins C. Mechanoreceptors in human ankle ligaments. *J Bone Joint Surg Br*. 1995;77(2):219-24.
- [15] Gribble PA, Hertel J. Effect of lower- extremity muscle fatigue on postural control. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85:589-92.
- [16] Chun SY, Choi OJ. The ankle joint position sense, strength and functional ability of the soccer player with functional ankle instability. *The Korean Society of Sports Science*. 2009;18(3):1119-30.
- [17] Sheehan DP, Katz L. The effects of a daily, 6-week exergaming curriculum on balance in fourth grade children. *Journal of Sport and Health Science*. 2013; 2(3):131-7.
- [18] Jadelis K, Miller ME, Etinger WH, et al. Strength, balance, and the modifying effects of obesity and knee pain: results from the observational arthritis study in seniors (oasis). *J Am Geriatr Soc*. 2001;49(7):884-91.
- [19] Johnson E, Bradley B, Witkowski K, et al. Effect of a static calf muscle-tendon unit stretching program on ankle dorsiflexion range of motion of older women. *J Geriatr Phys Ther*. 2007;30(2):49-52.
- [20] Lee SM, Cynn HS, Yoon TL, Lee JH. Effects of different heel-raise-lower exercise interventions on the strength of plantarflexion, balance, and gait parameters in stroke survivors.. *Physiother Theory Pract*. 2017;33(9):706-15.
- [21] Kristen A, Scopaz M, Sara R, et al. The effect of baseline quadriceps activation on changes in quadriceps strength after exercise therapy in subjects with knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum*. 2009;61(7):951-7.
- [22] Smith, Weiss, Lehmkuhl. *Brunnstrom's Clinical Kinesiology (Clinical Kinesiology (Brunnstrom's))*. Davis Company. 1996
- [23] Schamberger W, Samorodin FT, Webster C. *The malalignment syndrome : implications for medicine and sport*. Edinburgh: Churchill Livingstone. 2002.
- [24] Nagayoshi T. The relationship between ankle dorsiflexion torque and muscle size indices. *Journal of Sports and Health Science*. 2003;1(2):216-21.
- [25] Shin SY, Jung YH, Lee KH, et al. Muscle Strength Following Short Term Isometric and isotonic exercise. *The journal of Korean academy of physical therapy science*. 1999;6:4.
- [26] Lee KY, Yu YD, Kim HS. A Study of the Efficiency of isometric exercise for quadriceps involved in hip joints angle. *The Korean Society of Sports Science*. 2002; 11(1):629-40.

- [27] Braddom L, Randall L. *Physical Medicine & Rehabilitation* (4th ed). Elsevier Science Health Science div. 2006.
- [28] Kim G, Kim SH, Seo SK, et al. Effects of elastic band resistance exercise on improving the balance ability in the elderly. *The Korean Society of Physical Therapy*. 2008;20(4):1-10.
- [29] Horak FB, Nashner LM. Central programming of postural movements: Adaptation to altered support-surface configurations. *J Neurophysiol*. 1986;55(6):1369-81.
- [30] Mann L, Klein JF, Pereira AR, et al. Effect of low back pain on postural stability in younger women: influence of visual deprivation. *Journal of Bodywork. J Bodyw Mov Ther*. 2010;14(4):361-36.
- [31] Sakellari V, Soames RW. Auditory and visual interactions in postural stabilization. *Ergonomics*. 1996;39(4):634-48.
- [32] Lee HS. A study of standing balance control between normal subjects and subjects with low back pain. Doctor's Degree. Daegu Univ. 2001.
- [33] Lee WH. The influence of ankle strategy exercise on equilibrium ability in women of Octogenarians. *Journal of Korean Physical Therapy Science*. 2010;17(1):67-76.
- [34] Cheng PT, Liaw MY, Wong MK. The sit to stand movement in stroke patients and its correlation with falling. *Archives Physical Medicine and Rehabilitation*. 1998;79(9):1043-6.
- [35] Yun JS. The Effect of quadriceps isometric exercise method on pain, muscle strength and balance of early phase of total knee arthroplasty patients. Master's Degree. Daegu university. 2016.
- [36] Kim HG. Effect of knee muscle power strengthening using thera band on the balance control ability in the elderly. Master's Degree. Dankook university. 2003.
- [37] Moxley D, Krebs DE, Harris BA. Quadriceps muscle strength and dynamic stability in elderly persons. *Gait Posture*. 1999;10:10-20.
- [38] Spartano NL, Lyass A, Larson MG, et al. Objective physical activity and physical performance in middle-aged and older adults. *Exp Gerontol*. 2019;119:203-11.
- [39] Nam HJ, Lee JH. The effects of modified straight leg raise exercise on balance activity and electromyography muscles activation of lower limbs muscle. *Korean Journal of Sports Science*. 2016;25(3):1297-308.