

NMES를 이용한 무릎뎡근 강화가 무릎관절성형술 환자의 관절가동범위, 근력과 보행에 미치는 효과

이동화, PT¹, 백창윤, PT¹, 유정열, PT¹, 장우남, PT, PhD^{*2}

¹국민건강보험 일산병원, ²용인대학교

Effects of Knee Extensor Strengthening Using NMES on Range of Motion, Strength and Gait in Patients with Total Knee Arthroplasty

Dong-Hwa Lee, PT¹, Chang-Yoon Baek, PT¹, Jeong-Yeol Yoo, PT¹, Woo-Nam Chang, PT, PhD^{*2}

¹Dept. of Physical Therapy, Rehabilitation Center, Ilsan Hospital, Republic of Korea

²Dept. of Physical Therapy, College of Health Welfare, YongIn University, Republic of Korea

Purpose The purpose of this study was to investigate the effects of knee reinforcement training using neuromuscular electrical stimulation(NMES) therapy on range of motion, strength and gait in patients with total knee arthroplasty.

Methods Subjects (n=24) were recruited and randomly assigned to study group (n=12) and control group (n=12). The intervention of the study group was conducted with knee extensor active exercise program combined with NMES applied to knee muscles for 30minutes, 5 times a week, for 2 weeks. Control group conducted intervention with same time and frequency as the study group while applying pain control electrical stimulation. Outcome measures include Numerical Rating Scale(NRS), Range of motion(ROM) and muscle strength of knee joint, and gait ability. **Results** After intervention, the significant changes were seen in NRS(p<.01), knee flexion angle(p<.01), and muscle strength(p<.01) for both groups, but there were no significant differences in NRS and muscle strength outcome between groups other than flexion angle(p<.05). In outcome measure for gait ability, significant changes were seen in gait speed(p<.01), step length, stride length(p<.01) and cadence(p<.05) after intervention in both groups. Significant differences in outcome between two groups were found in speed(p<.01), step length(p<.05) and stride length(p<.05). **Conclusion** knee extensor strengthening combined with NMES could improve pain, knee joint function and gait ability in patient with total knee Arthroplasty.

Key words Osteoarthritis, Arthroplasty, Neuromuscular electrical stimulation, Knee extensor strengthening, Eccentric contraction.

Corresponding author Woo-Nam Chang (wnchang@yongin.ac.kr)

Received date 01 June 2020

Revised date 05 June 2020

Accept date 15 June 2020

I. 서론

최근 고령화 사회로 접어들면서 우리나라의 기대수명은 83세로 증가하는 추세이고 무릎관절염과 관련된 진료건수가 지속적으로 증가하였다.¹⁾ 무릎관절염은 노인 인구에게 흔히 나타나는 질환으로 이를 해결하기 위하여 1960년 이후 무릎관절 성형술(Total Knee Arthroplasty, TKA)이 처음 시행되었으며 현재까지 이르고 있다.²⁾ 인공삽입물의 발전과 더불어 수술 기법의 향상으로 과거에 비해 좋은 결과들이 보고되고 있다.³⁾ 하지만 수술기법의 발전에 비해서 재활과정동안에 환자는 신체적, 정신적 어려움을 겪게 되며, 동시에 장시간 회복훈련과

높은 비용을 지불할 수 밖에 없는 실정이다. 뿐만 아니라 최근 대상자들은 수술 이후 좀 더 활발하고 다양한 일상생활로의 복귀를 기대하고 있기 때문에 효과적인 물리치료는 필수적이다.^{4,5)} 퇴행성관절염이 있는 환자들에게 나타나는 특징 중 하나는 넙다리네갈래근의 약화이며, 무릎관절성형술 이후 초기에 넙다리네갈래근의 약화가 나타나 한달 후 약 62% 근력 감소, 17%의 수직적 수축 능력 감소가 보고되었다.^{4,6)} 또한 수술 후 나타나는 부종은 통증과 관절가동범위, 넙다리네갈래근 근 약화로 인해 기능적 회복의 지연 및 보상적 보행전략이 나타나게 된다.⁷⁾ 부종은 넙다리네갈래근의 근 약화와 연관성이 있기 때문에 넙다리네갈래근의 효과적인 강화가 중요하다.⁴⁾ 최근 무릎관절성형술의 물리치료와 관련한 선행연구에서는 신경근전기자극(Neuromuscular electrical stimulation,

<http://dx.doi.org/10.17817/2020.06.05.111563>

NMES)과 같은 전기자극이 생체역학적 접근 방법으로 활용될 수 있고 근 위축의 지연과 근 수축 강화에 좋은 역할을 할 수 있다고 하였다.⁴⁾ 기능적 회복으로는 걸음속도의 향상을 보고 하였으며^{8,9)} 운동신경세포를 촉진하여 신체 유연성, 관절가동 범위를 증진시킬 수 있다고 하였다.⁸⁾ 하지만 임상에서 수술 후 초기 재활과정에서 근력회복을 위한 NMES를 이용한 넵다리네갈래근의 강화를 위한 효과적인 접근은 부족하며, 특히 NMES전기자극과 동시에 능동적 근 수축훈련법에 대한 연구는 없었다. 따라서 본 연구는 전기자극을 동반한 넵다리네갈래근 강화 운동프로그램이 무릎성형술을 시행한 환자들의 통증, 관절가동범위, 근력 및 걸음에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구대상자

본 연구의 대상자는 경기도 서북부에 위치한 종합병원에 입원한 환자 24명을 대상으로 하였으며, 선정기준은 첫째, 퇴행성 무릎관절염 켈그렌-로렌스(Kellgren-Lawrence)분류법 III 등급으로 진단받은 자, 둘째, 무릎관절성형술을 편측만 시행한 만 65세 이상의 자로 하였다(Table 1). 제외 기준은 첫째, 인공심장박동기 등 전자의료기기를 체내 이식하였거나 심장 병증이 있는 자, 둘째, 급성질환, 악성 종양 및 고열이 있는 자, 셋째, 전기자극 적용 부위 피부질환이 있는 자, 넷째, 알츠하이머, 치매, 파킨슨, 알콜중독 등 의학적 치료를 받고 있어 연구를 참여하는데 어려운 자는 제외하였다.

2. 연구절차

본 연구는 두 집단 사전-사후 평가 설계로 진행하였으며, 중재 방법에 따라 NMES와 무릎편근의 편심성 운동의 연구군 12명과 통증조절을 위한 경피전기자극(transcutaneous electrical

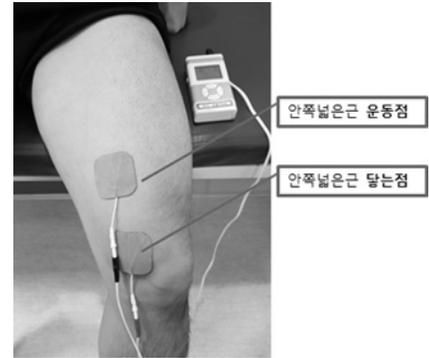


Figure 1. Neuromuscular electrical stimulation

stimulation, TENS)을 사용한 대조군 12명으로 무작위 배정하였다. 두 군의 중재는 전기자극 1일 20분, 주당 5회, 총 2주간 시행하였다. 연구군에 적용하는 NMES(LT-1061, Caretalk, Hongkong/대칭 사각파형, 25Hz, 펄스폭 250 μ s, 지속시간 7초, 휴지시간 12초, 상승기간 2초)는 목적에 부합하도록¹⁰⁾ 프로그램을 설정하여 20분 적용하고 대조군에는 T.E.N.S(LT-1061, Caretalk, Hongkong)를 20분 적용과 편심성 운동치료를 제공하였다(figure 1).

3. 중재 방법

1) 넵다리네갈래근 및 안쪽넓은근 등척성운동

넵다리네갈래근 등척성 운동은 수술 후 초기 물리치료에 사용되는데, 다음은 근육의 위축을 지연시키며 근력 유지 및 강화를 위한 운동이다¹¹⁾(figure 2). 무릎을 펴 상태에서 편심성 수축방법의 운동방법을 수술 후 3일째부터 7일째까지 시행하였다.

2) 무릎관절 선 자세운동

이 운동방법은 단한 사슬운동으로서 무릎 넵다리 관절의 압박력 증가와 넵다리 네갈래근과 뒤넵다리근의 협력 수축으로 인한 전단력 발생이 적으며,¹²⁾ 다관절 움직임에 의한 기능적 근동원 패턴을 제공할 수 있다고 하였다.¹³⁾ 선 상태에서 엉덩관

Table 1. The general characteristics of the subjects

| General characteristics | Group | Study group (n=12) | | Control group (n=12) | | t | p |
|-------------------------|--------------------------|--------------------|------------|----------------------|------------|-------|-----|
| | | n | M \pm SD | n | M \pm SD | | |
| Gender | M/F | 2 (16.7)/10 (83.3) | | 2 (16.7)/10 (83.3) | | | |
| Diag | D.O | 12 | | 12 | | | |
| | POD | 3.17 \pm 0.39 | | 3.33 \pm 0.49 | | | |
| | Age (year) | 74.00 \pm 5.15 | | 72.75 \pm 5.48 | | .58 | .57 |
| | Height (cm) | 155.68 \pm 5.99 | | 154.29 \pm 7.81 | | -.49 | .63 |
| | Weight (kg) | 61.34 \pm 6.36 | | 64.45 \pm 7.40 | | -1.10 | .28 |
| | BMI (kg/m ²) | 25.21 \pm 2.88 | | 27.04 \pm 1.96 | | .77 | .08 |

Note. Diag: diagnosis, D.O: degenerative osteoarthritis, POD: Postoperative day, BMI: Body mass index

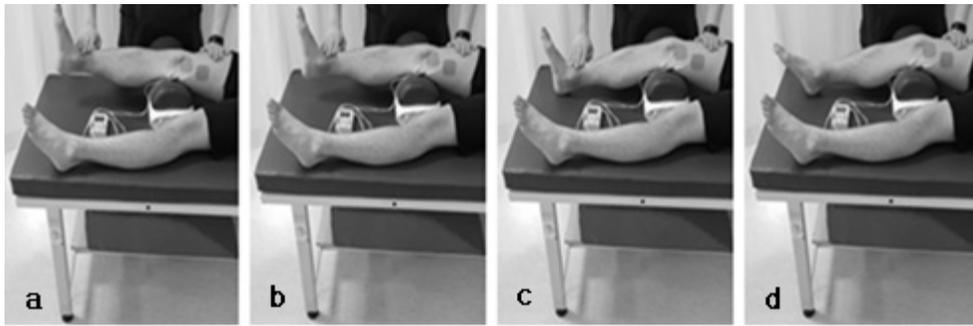


Figure 2. Isometric exercise program

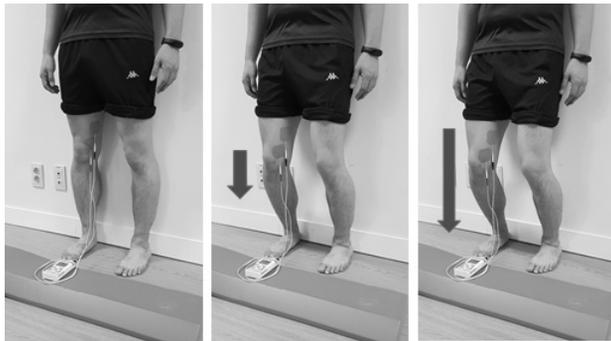


Figure 3. Eccentric contraction training

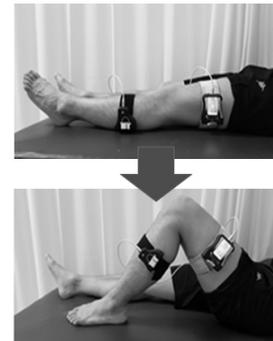


Figure 4. Knee joint range of motion assessment

절의 20도 굽힘의 범위에서 편심성 수축운동을 수술 후 6일째부터 13일째까지 하였다(figure 3).

4. 측정도구와 자료수집

1) 숫자통증척도(Numeric Rating Scale; NRS)

NRS 척도는 통증의 정도를 0부터 10으로 정하여 '0'을 통증이 없는 편안한 상태로 보고 '10'을 본인이 표현하기 어려운 정도의 최악의 통증 상태로 보아 중재 연구 시작 전과 후에 11개 단계의 통증의 정도를 주관적 관점에서 숫자로 표현하도록 하였다.¹⁴⁾

2) 무릎 관절가동범위(Range Of Motion; ROM)

수술을 한 무릎관절의 굽힘, 폼의 각도를 측정하기 위하여 디지털 경사계(Dualer IQ, J-Tech medical Inc., USA)장비를 사용하여 측정하였다¹⁵⁾(figure 4).

3) 휴대용 근력 측정기(Hand-Held Dynamometer)

발목관절 근력을 측정하기 위해 디지털 근력측정계(Commander muscle tester, Jtech medical Inc., USA)를 사용하였다. 무릎관절 폼 동작 시 보상작용이 일어나지 않도록 측정 동작을 정확히 교육한 뒤 측정하였다.¹⁶⁾ 검사자는 측정 시 종아리 정강이뼈선 중간에 저항을 주고 대상자는 3초 동안 등척성으로 최대 근력을 유지한다¹²⁾(figure 5).

4) 보행 분석(Optogait)

보행의 공간, 시간적 변수의 측정을 위해 보행 분석기(Optogait, Microgate S.r.l, Italy, 2010)를 사용하였다. 1m 길이의 송·수신 바 두 개와 웹캠(Logitech Webcam Pro 9000)으로 구성되어 있다. 두 개의 바에는 총 96개의 발광다이오드가 1m 간격으로 설치되어 있고 적외선으로 송신과 수신한다. 송, 수신 바 사이를 대상자가 걸을 때 데이터가 수집된다. 변수에 대한 정보는 소프트웨어를 이용해 처리하였다.

5) 통계방법

본 연구에서는 SPSS 18.0 프로그램을 사용하여 검정을 실시하였다. 연구 대상자의 일반적인 특성 및 평가는 기술통계를 사용하였고, 치료적 중재를 통한 그룹 내의 통증, 관절가동범위, 넙다리네갈래근력, 걸음변수의 변화는 월콕슨 부호순위검



Figure 5. Muscle strength test

정을 실시하였으며 집단간 변화의 차이를 확인하기 위하여 맨 휘트니 검정을 실시하였다. 모든 통계처리 유의 수준은 5%로 설정하였다.

III. 결 과

1. 숫자통증척도 비교

숫자통증척도 변화에 대한 분석결과는 다음과 같다. 연구군에서 중재 7.17에서 3.33으로 3.84가 유의하게 감소하였다 ($p < .01$). 대조군에서는 7.08에서 4.00으로 3.08 유의하게 감소하였다 ($p < .01$) (Table 2). 그러나 두 집단 간 중재 방법 비교에서는 유의한 차이는 없었다 ($p > .05$).

2. 무릎관절가동범위 비교

1) 무릎관절 굽힘 각도 비교

무릎관절 굽힘 각도 변화에 대한 분석결과는 다음과 같다. 연구군에서 중재 각도 변화는 52.58도에서 100.75도로 48.17도

가 유의하게 증가하였다 ($p < .01$). 대조군에서는 59.17에서 94.17로 35도가 유의하게 증가하였다 ($p < .01$) (Table 3). 연구군이 대조군에 비해 유의한 효과를 나타내었다 ($p < .01$).

2) 무릎관절 펴기 각도 비교

무릎 관절 펴기 각도 변화에 대한 분석결과는 다음과 같다. 연구군에서 중재 각도 변화는 -5.42도에서 -3.00도로 2.42도가 증가하여 유의하지 않았다 ($p > .05$). 대조군에서는 -6.00에서 -2.50으로 3.5도가 유의하게 증가하였다 ($p < .05$) (Table 3). 두 집단 간 중재 방법 차이는 유의하지 않았다 ($p > .05$).

3. 넙다리네갈래근 근력 비교

넙다리네갈래근 근력의 중재 변화에 대한 분석결과는 다음과 같다. 연구군에서 중재 근력 변화는 11.79파운드에서 20.83파운드로 9.04 유의하게 증가하였다 ($p < .01$). 대조군에서는 10.40파운드에서 16.83파운드로 6.43파운드 유의하게 증가하였다 ($p < .01$) (Table 4). 그러나 두 집단 간 중재 방법 차이는 유의하지 않았다 ($p > .05$).

Table 2. Comparison of Numeral Rating Scale within and between groups

| Variable | | Study group (n=12) | Control group (n=12) | z | p |
|----------|-----------|-----------------------|-------------------------|-------|-----|
| NRS | pre-test | 7.17±1.19 | 7.08±1.56 | | |
| | post-test | 3.33±1.50 | 4.00±1.13 | -3.08 | .24 |
| | Change | 3.83±1.90** | 3.17±1.34** | | |

Note. M ±SD: mean±standard deviation, $p < 0.01$ **

Table 3. Comparison of Knee range of motion within and between groups

| Variable | | Study group (n=12) | Control group (n=12) | z | p |
|----------------|-----------|-----------------------|-------------------------|-------|------|
| Knee flexion | pre-test | 52.58±9.28 | 59.17±13.48 | | |
| | post-test | 100.75±15.09 | 94.17±10.69 | -3.06 | 0.01 |
| | Change | 45.83±14.28** | 35.67±16.90** | | |
| Knee extension | pre-test | -5.42±4.44 | -6.00±7.42 | | |
| | post-test | -3.00±2.92 | -2.50±3.09 | -0.59 | 0.56 |
| | Change | 2.42±4.10 | 3.50±5.23* | | |

Note. M±SD : mean±standard deviation, $p < 0.05$ *, $p < 0.01$ **

Table 4. Comparison of Muscle strength within and between groups

| Variable | | Study group (n=12) | Control group (n=12) | z | p |
|-----------------|-----------|-----------------------|-------------------------|-------|------|
| Muscle strength | pre-test | 11.79±2.22 | 10.40±1.66 | | |
| | post-test | 20.83±4.36 | 16.83±4.86 | -1.70 | 0.89 |
| | Change | 10.13±2.27** | 6.62±3.94** | | |

Note. M ±SD: mean±standard deviation, $p < 0.01$ **

4. 걸음분석결과

연구군에서 중재 걸음속도의 변화는 0.31 m/s에서 0.62 m/s로 0.31 m/s 유의하게 증가하였다($p<.01$). 대조군에서는 0.26 m/s에서 0.42 m/s로 0.16 m/s 유의하게 증가하였다($p<.01$) (Table 5). 한발짝길이의 중재 연구군에서 28.82 cm에서 38.86 cm으로 10.04 cm 유의하게 증가하였으며($p<.01$), 대조군에서도 29.48 cm에서 35.24 cm로 5.76 cm 유의하게 증가하였다($p<.01$). 한걸음거리의 중재 연구군은 55 cm에서 74.57 cm로 19.57 cm 유의하게 증가하였으며($p<.01$). 대조군에서는 57.77 cm에서 67.82 cm로 10.05 cm 유의하게 증가하였다($p<.01$) (Table 5).

IV. 고찰

이 연구의 목적은 퇴행성관절염 환자에 무릎관절성형술 초기 물리치료 중재를 통하여 통증, 관절가동범위, 근력, 걸음 요소의 변화를 알아보고자 수행하였다. 2주간 연구를 진행한 결과 연구군 12명, 대조군 12명으로 최종 24명이 본 연구를 완료하였고, NMES와 편심성 운동프로그램을 실시한 연구군과 TENS와 편심성 운동프로그램만 실시한 대조군의 근간 비교에서 무릎굽힘, 걸음속도, 한발짝길이, 한걸음길이에서 연구군이 대조군에 비하여 유의한 사실을 알 수 있었다.

본 연구에서 연구군과 대조군 모두 통증척도가 유의미하게 감소하였고, 집단 간 비교에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. Gaines¹⁷⁾의 연구에서는 퇴행성관절염 환자대상으로 12주간 넙다리네갈래근에 NMES 적용하여 통증 감소를 시켰다. 진유신과 정태경¹⁰⁾ 연구에서도 퇴행성 무릎관절염환자에게 안쪽넓은근에 NMES를 적용시켜 통증 및 무릎관절의 근기능을

향상시켰다. 본 연구는 대조군에 전기자극을 적용하지 않는 이전 연구들과 달리 통증감소 목적으로 적용되는 TENS를 대조군 중재에 적용시켰기 때문에 집단 간의 유의한 차이가 발견되지 않은 것으로 생각된다.

본 연구에서 연구군과 대조군 모두 무릎굽힘이 유의하게 향상되었고 연구군이 대조군에 비해 무릎굽힘 변화가 더 유의한 향상을 나타냈다. 민동기와 이상재¹⁸⁾는 전기자극과 넙다리네갈래근 근고정 운동으로 관절가동범위에 유의한 영향을 줄 수 있음을 밝혔으며, 신이슬과 이영희¹⁹⁾는 본 연구결과와 비슷하게 무릎관절 운동프로그램을 적용한 연구군에서 특히 무릎굽힘 각도의 향상을 확인하였다. 그러나 무릎 펴 각도의 유의한 변화는 나타나지 않았는데, 이는 퇴행성관절염을 겪는 사람들에게 넙다리뒤근의 단축의 문제가²⁰⁾ 동반되어 있어 수술 후에도 무릎 펴 과정을 원활하게 이루어지는데 방해 요인으로 작용하는 것으로 판단된다. 결국 본 연구의 NMES 자극과 편심성 운동프로그램이 넙다리네갈래근의 근력 향상과 안정성 향상으로 인해 무릎굽힘 관절각도가 향상된 것으로 보인다.

본 연구에서 걸음속도, 한발짝울, 한발짝길이, 한걸음길이 모두 유의하게 향상되었고 집단의 비교에서도 유의한 차이를 나타냈다. Ryu²²⁾의 연구에서도 퇴행성관절염 환자 대상으로 안쪽넓은근에 전기자극을 적용하여 하여 걸음속도를 향상시켰다. Avramidis²⁴⁾ 연구에서 NMES를 안쪽넓은근에 적용하여 무릎근력 향상과 걸음속도의 증가를 밝혀냈다. Andersson²⁵⁾은 무릎관절성형술을 겪는 환자들에게 수술 후 운동의 적용을 통하여 보행 시 한발짝길이가 증가되었음을 밝혔고, 정진엽²⁶⁾은 수술 후 통증 조절로 인하여 한걸음길이의 증가와 걸음속도가 증가됨을 밝혔다. 본 연구결과에서는 두 집단 모두에서 걸음속도가 향상되었다. 이는 무릎의 안정성을 위한 무릎근력 향상과 통증감소가 두 그룹 모두에서 나타났기 때문이다.²⁷⁾

Table 5. Comparison of gait analysis variables within and between groups

| Variable | Study group (n=12) | | | Control group (n=12) | | | z | p |
|---------------------|--------------------|-------------|-------------------|----------------------|-------------|-------------------|--------|------|
| | pre | post | Change (post-pre) | pre | post | Change (post-pre) | | |
| Speed (m/s) | 0.31±0.21 | 0.62±0.18 | 0.31±0.10** | 0.26±0.16 | 0.42±0.17 | 0.16±0.10** | -3.064 | .01 |
| Stance phase (%) | 69.20±15.68 | 68.85±7.22 | 6.91±12.06 | 69.01±11.65 | 60.68±12.67 | 8.77±18.39 | -7.780 | .436 |
| Cadence (steps/min) | 58.19±25.67 | 81.80±19.98 | 28.37±18.70* | 50.34±28.59 | 69.36±20.45 | 18.49±19.89* | -4.462 | .644 |
| Step length (cm) | 28.82±6.85 | 38.86±5.88 | 7.75±3.26** | 29.48±8.54 | 5.24±8.54 | 5.75±4.16** | -2.079 | .038 |
| Stride length (cm) | 55.00±13.33 | 74.57±11.08 | 19.49±10.11** | 55.77±17.71 | 67.82±16.69 | 10.05±6.40** | -2.425 | .015 |

Note. M±SD : mean±standard deviation, $p<0.05^*$, $p<0.01^{**}$

하지만 연구군에서 대조군보다 더 향상된 걸음속도를 보였는데, 이와 같은 이유는 보행속도와 연관된 한발짝길이와 한걸음길이가 함께 대조군에 비해 향상되었기 때문이고, 이 결과는 연구군의 더 많은 걸음속도의 향상을 만들었을 것이다.¹⁰⁾ 하지만 디딤기에서는 유의하지 않았는데 이는 짧은 연구기간 동안 통증과 감소된 근력으로 자세를 조절하는 균형 능력이 감소되어 있기 때문이다.⁹⁾ 반대측 무릎관절의 퇴행성관절염 등으로 인하여 환자 스스로 건강할 때의 신체 상태와 같이 체중을 안정적으로 이동하기 어려웠을 것으로 보이고 연구 과정에서 대상자는 편측만 시행한 사람으로 양측 무릎 관절의 통증 및 비대칭 경향으로 걸음 변수에 영향을 받았을 것이라고 사료된다.²⁰⁾

본 연구의 제한점으로 연구 참여자들은 기저 질환 등을 보유한 고령 집단이었고 연구 과정 중 신체 상태와 예후의 변동이 크기 때문에 명확한 결론을 얻는데 어려운 부분이 있었다. 또한 참가자 수가 적고 편측 무릎관절성형술 환자를 대상으로 하여 그 결과를 일반화하기 어렵다. 향후 지속적 추적 관찰이 필요하다고 보인다. 이들 제한점을 보완하여 많은 수를 대상으로 심도 깊은 연구의 진행이 필요할 것으로 사료된다.

References

1. Statistics Korea. Future Population Special Estimation: 2017~2067. 2019.04.21.
URL: http://www.kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/1/1/index.board?bmode=read&aSeq=373873.
2. Anwer S, Alghadir A, Zafar H, et al. Effect of whole body vibration training on quadriceps muscle strength in individuals with knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy*. 2016;102(2):145-51.
3. Kim MJ, Kim HJ. Changes of C-Reactive Protein and Erythrocyte Sedimentation Rate Level from Infection and Non-Infection after the Artificial Joint Surgery. 2016;48(4):321-26.
4. Levine M, McElroy K, Stakich V, et al. Comparing conventional physical therapy rehabilitation with neuromuscular electrical stimulation after TKA. *Orthopedics*. 2013;36(3):319-24.
5. Shin JY, Kim HJ, Cha SH, et al. Risk Factors of Periprosthetic Fracture after Total Knee Arthroplasty. *Journal of the Korean Fracture Society*. 2012;25(1):1-7.
6. Christensen JC, Mizner RL, Foreman KB, et al. Quadriceps weakness preferentially predicts detrimental gait compensations among common impairments after total knee arthroplasty. *Journal of Orthopaedic Research*. 2018;36(9):2355-63.
7. Greene KA, Schurman II JR. Quadriceps muscle function in primary total knee arthroplasty. *The Journal of arthroplasty*. 2008;23(7):15-9.
8. Pichonnaz C, Bassin JP, Lécureux E, et al. Effect of Manual Lymphatic Drainage After Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2016;97(5):674-82.
9. Stevens JE, Mizner RL, Snyder Mackler L. Neuromuscular electrical stimulation for quadriceps muscle strengthening after bilateral total knee arthroplasty: a case series. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2004;34(1):21-9.
10. Jin YS, Jeong TG. Effects of neuromuscular electrical stimulation of the vastus medialis on pain and muscle function in patients with knee osteoarthritis. *The Journal of the Korea Contents Association*. 2012;12(1):329-37.
11. Rane L, Bull AMJ. Functional electrical stimulation of gluteus medius reduces the medial joint reaction force of the knee during level walking. *Arthritis research & therapy*. 2016;18(1):255.
12. Husted RS, Troelsen A, Thorborg K, et al. Efficacy of pre-operative quadriceps strength training on knee-extensor strength before and shortly following total knee arthroplasty: protocol for a randomized, dose-response trial (The QUADX-1 trial). *Trials*. 2018;19(1):47.
13. Jeong HJ, Kweon DC, Park IS. Functional electrical stimulation: the effect of stimulating frequency. *Journal of the Korean Academy of Rehabilitation Medicine*. 1993;17(1):95-9.
13. Kim KO, Choi G, Kim WC, et al. The Preliminary Study for Pain Measurements of Headache Patients used by Pain Face Scale. *Journal of Oriental Neuropsychiatry*. 2010;21(3):65-75.
14. Brewster CE, Moynes DR, Jobe FW. Rehabilitation for anterior cruciate reconstruction. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 1983;5(3):121-6.
15. Na YM, Moon JH, Park YG, et al. The Effects of Rehabilitative Training in the Treatment of Patellofemoral Pain Syndrome. *Journal of the Korean Academy of Rehabilitation Medicine*. 1999;23(6):1229-35.
16. Gaines JM, Metter EJ, Talbot LA. The effect of neuromuscular electrical stimulation on arthritis knee pain in older adults with osteoarthritis of the knee. *Applied*

- Nursing Research. 2004;17(3):201-6.
17. Min DK, Lee SJ. The Effects of Therapeutic exercise with Electrical Stimulation on Pain, Range of motion, Muscle strength in patients after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. 2019;20(2): 694-703.
 18. Shin YS, Lee YH. The Effects of an Early Knee Joint Exercise Education Program on Pain, Knee Range of Motion, and Satisfaction in Patients after Undergoing Total Knee Replacement Arthroplasty. Journal of Korean Clinical Nursing Research. 2018;24(3):283-92.
 19. Bae SS, Nam KW, Lee KH. Isokinetic effect of the extensors and flexors in total knee replacement patients. Journal of Korean Physical Therapy. 2001;13(1):19-31.
 20. Ryu HY. The Effects of Backward Walking Training on Knee Isokinetic Strength and Vasus Medialis Surface EMG. Neurotherapy. 2009;14(1):13-21.
 21. Avramidis K, Strike PW, Taylor PN, et al. Effectiveness of electric stimulation of the vastus medialis muscle in the rehabilitation of patients after total knee arthroplasty. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation. 2003;84(12):1850-3.
 22. Andersson GB, Andriacchi TP, Galante JO. Correlations between changes in gait and in clinical status after knee arthroplasty. Acta Orthopaedica Scandinavica. 1981; 52(5):569-73.
 23. Chung CY, Seong SC, Lee MC, et al. Gait analysis after total knee arthroplasty. Journal of the Korean Orthopaedic Association. 1997;32(5):1290-301.
 24. Tani K, Kola I, Dhamaj F, et al. Physiotherapy Effects in Gait Speed in Patients with Knee Osteoarthritis. Open access Macedonian journal of medical sciences. 2018;6(3):493.

