

Original Article

Open Access

환측사용유도 고정식자전거운동이 무릎관절 기능에 미치는 영향: 무릎인공관절수술 환자를 대상으로

최은지¹ · 이상열^{2†}

¹경성대학교 대학원 물리치료학과, ²경성대학교 물리치료학과

The Effect of Cycle Ergometer Exercise Inducing Movement of the Affected Side on Knee Joint Function after Total Knee Arthroplasty

Eun-Ji Choi, P.T M.S. · Sang-Yeol Lee, P.T., Ph.D.^{2†}

¹Department of Physical Therapy, Graduated school of Kyungsung University

²Department of Physical therapy, Kyungsung University

Received: March 14, 2022 / Revised: April 1, 2022 / Accepted: April 9, 2022

© 2022 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association

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.

| Abstract |

Purpose: The purpose of this study was to examine the effect of cycle ergometer exercise inducing movement of the affected side on knee joint function after total knee arthroplasty (TKA).

Methods: The primary experiment was conducted on 19 members of the cycle ergometer exercise group to measure the muscle activity of the rectus femoris, hamstring, tibialis anterior, and gastrocnemius muscles during cycle ergometer exercise that induced the affected side's movement. In the second experiment, after receiving physiotherapeutic intervention for 30 min, the general bicycle exercise group and cycle ergometer exercise group performed the corresponding exercise for 15 min, 5 times per week, for 2 weeks. The ROM, muscle strength, pain, and balance were then measured and compared between the two groups.

Results: In the results of the primary experiment, cycle ergometer exercise inducing movement of the affected side showed a significantly larger increase in the activity of leg muscles (rectusfemoris, hamstring, tibialis anterior, gastrocnemius) on the affected side than the general bicycle exercise ($p < 0.05$). In the second experiment, the cycle ergometer exercise group showed a significantly larger increase in range of movement of affected side knee flexion and muscle strength of affected side knee flexion, knee extension, and plantarflexion than the general bicycle exercise ($p < 0.05$). No significant between-group difference was observed in pain and balance before or after the intervention ($p > 0.05$).

Conclusion: Cycle ergometer exercise inducing movement of the affected side increases use of the muscles around the

†Corresponding Author : Sang-Yeol Lee (sjslh486@ks.ac.kr)

affected side knee joint after TKA more than general bicycle exercise and produces better effects for enhancing muscle strength. The application of cycle ergometer exercise inducing movement of the affected side is expected to reduce the patients' unbalanced use during the early postoperative period and help them to quickly return to normal daily life through rapid muscle strength recovery.

Key Words: Cycle ergometer, Knee function, Total knee arthroplasty

I. 서 론

무릎관절은 인간의 일상에서 보행과 앉기 등 하지의 움직임을 조절하고 사용하기 위해 발목관절과 엉덩관절 중간에서 체중의 이동과 분산을 위해 중요한 역할을 하는 관절이다(Levangie & Cynthia, 2001). 일상에서의 사용빈도와 패턴에 따라 퇴행성 변화가 가장 빈번하게 나타나며, 이로 인하여 고령의 인구에서 만성통증을 동반한 관절면의 변형이 나타난다(Gabriel & kremers, 2005). 이러한 퇴행성관절염은 노인에게서 발병하는 가장 흔하고 대표적인 무릎관절 질환이며 현재까지 완치 방법이 없는 전형적인 만성 질환이다(Bae, 2011). 이에 대한 수술적 처치 방법으로는 대표적으로 무릎인공관절수술(total knee arthroplasty, TKA)이 있다. 국민건강보험공단(2019)에 의하면 무릎인공관절수술 건수는 2015년 58,393명, 2017년 66,435명, 2019년 71,717명으로 계속해서 증가하는 추세이다.

무릎인공관절수술 후 90% 이상은 정상적인 생활이 가능하고, 수술에 대한 만족도도 95% 이상으로 보고되고 있으나(Jeon et al., 2005; Jeon & Shin, 2010), 수술 후 부작용으로는 넙다리네갈래근과 뒤넙다리근, 발목근육의 근력 감소와 관절운동범위 제한, 근지구력 감소가 있다(Judd et al., 2012; Mun, 1979). 또한 수술 측 다리 근력 감소와 관절운동범위의 제한으로 인해 비대칭적 움직임 패턴을 겪는다(Boonstra et al., 2010). 따라서 무릎인공관절수술 후 무릎관절의 기능 회복과 빠른 일상생활 복귀를 위해서는 수술 직후부터 적극적인 재활 운동이 필요하다(Jo et al., 2003).

고정식자전거운동은 무릎인공관절수술 후 흔히 권

장되는 운동이며, 무릎 기능 및 균형 개선을 위한 재활 운동이다(Hummer et al., 2021). 고정식자전거운동은 남녀노소 안전하게 즐길 수 있는 유산소 운동으로 심폐 기능을 발달시키고 다리의 작용근과 반작용근을 일정한 간격으로 활성화시켜 협응 능력에 도움을 준다(Fujiwara et al., 2005; Hancock et al., 2011). 또한 고정식자전거운동은 비대칭적 무릎 기능 및 다리 근력을 대칭적으로 만들어주고 신체 기능을 향상시킨다(Katz-Leurer et al., 2006; Yin et al., 2016). 그러나 무릎인공관절수술 후 고정식자전거운동은 수술 측 다리의 통증 및 무릎 기능 약화로 인해 페달링 시 수술 측 다리와 비수술 측 다리에서 역학적 차이가 나타난다고 하였다(Hummer et al., 2021). 그러므로 무릎인공관절수술을 받은 환자들에게 이러한 비대칭적 페달링에 대해서는 주의가 필요하며, 이에 대한 환자의 인식 또한 필요하다고 하였다(Buddhadev et al., 2018).

시각적 되먹임이란, 시각적 되먹임을 통해 생리적으로 신경 기능을 조절하는 훈련 수단이다(Dupee et al., 2016). 시각으로 받아들여지는 정보는 인지를 통해 효과적으로 자세 조절을 할 수 있게 해주는 것으로 운동 조절이 알맞게 이루어질 수 있게 한다(Galley & Forster, 1985).

선행연구에서 김형욱 등(2022)은 시각적 되먹임을 기반으로 한 자전거 훈련이 일반 고정 자전거 훈련 그룹보다 넙다리네갈래근의 근력과 달리기 수행력, 최대 산소 섭취량이 더욱 향상되었다고 하였다. 그리고 Kell 과 Greer (2017)는 세 가지 방법의 페달링을 수행했을 때 평소 페달링 훈련보다 시각적 되먹임 기반의 페달링 훈련이 페달링의 비대칭성을 유의하게

감소시켰다고 하였다.

본 연구는 무릎인공관절수술 후 고정식자전거운동의 적용 시, 압력센서를 페달에 설치하여 시각적 피드백을 제공하는 방법으로 환측 사용을 유도할 수 있는 고정식자전거를 개발하여 적용하고자 한다. 이를 통하여 환측사용유도 고정식자전거운동이 무릎관절의 기능 회복에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 부산 지역에 소재하고 있는 H 병원에서 퇴행성 관절염으로 인해 편측 무릎인공관절수술을 받은 65세 이상 75세 미만의 노인 환자 34명을 대상으로 선정하였다. 대상자 모집에 있어서 중추신경계 혹은 말초신경계 질병을 진단받은 경우, 당뇨나 심폐질환을 진단받은 경우, 의사소통이 어려운 경우는 대상에서 제외하였으며 연구의 목적을 이해하지 못하는 자와 동의하지 않은 자는 제외하였다. 대상자는 G-power (ver. 3.1.9.2, (G-power, Axel Buchner, Germany) 프로그램을 통하여 검정력(power(1-β))은 0.8, 1종 오류 0.05로 설정하고 탈락률 10%를 고려하여 무릎인공관절수술 후 환측사용유도 고정식자전거운동 시 다리 근육의 근활성도 변화(1차실험)와 무릎인공관절수술 후 환측사용유도 고정식자전거운동이 관절운동범위, 근력, 통증과 균형에 미치는 영향(2차실험)에 대한 대상자를 산출하였다. 환측사용유도 고정식자전거그룹의 대상자들은 1, 2차 실험에 참가하였으며 일반 고정식자전거그룹 대상자는 2차 실험에만 참여하였다. 1차 실험은 2주 중재 전 환측사용유도 고정식자전거그룹 대상자 19명으로 진행되었으며 2차 실험은 일반 고정식자전거그룹(대조군) 1명, 환측사용유도 고정식자전거그룹(실험군) 3명이 2주 중재 후 개인 사정으로 인하여 두 번째 측정을 하지 못해 중도 탈락하여 실험군 16명, 대조군 18명으로 2차 실험을 진행하였다. 본 연

구의 실험을 수행하기 전 대상자들에게 연구 방법에 대한 구체적인 설명을 하고 자발적 동의와 서면 동의를 받았으며 집단 간 대상자들의 나이(years), 체중(kg), 신장(cm) 등 신체 특성의 보편성을 검증하기 위해 일반적인 특성을 조사하였다.

2. 측정도구 및 방법

1) 관절운동범위 측정

스마트폰 각도기 어플리케이션(Smart protractor, Smart tools co, Korea)을 사용하여 대상자의 무릎관절과 발목관절의 각도를 측정하였다. 단, 무릎관절의 펴 운동범위는 0°이므로 측정에서 제외하였다.

2) 근력 측정

대상자의 근력은 디지털도수근력계(COMMANDER Muscle Testing, Jtech med, Croatia)를 사용하여 넙다리곧은근과 넙다리두갈래근, 앞정강근과 장딴지근의 근력을 측정하였다. Kendall 등(2005)이 제시한 표준 도수근력검사 자세로 측정하였고 모든 자세는 의자에 앉아 측정하였으며, 측정 시 최대 힘을 낼 수 있도록 지시하였다. 넙다리곧은근의 측정은 대상자의 넓적다리 부분을 고정하고 무릎뺨을 지시 후 발목관절 앞부분에 저항을 주어 측정하였으며, 넙다리두갈래근의 측정은 넓적다리 부분을 고정하고 무릎굽힘을 지시 후 발목관절 뒷부분에 저항을 주어 측정하였다. 앞정강근의 측정은 대상자의 뒤꿈치를 바닥에 고정하고, 발등굽힘을 지시 후 발허리뼈의 윗부분에 저항을 주어 측정하였고, 장딴지근은 뒤꿈치를 바닥에 고정하고, 발바닥굽힘을 지시 후 발바닥면의 발허리발가락관절에 저항을 주어 측정하였다. 각 근육의 근력 측정은 총 세 번씩 측정하여 평균값을 기록하였으며 동일한 조건에서 동일한 치료사가 측정을 진행하였다.

3) 통증 측정

통증 정도를 파악하기 위해 Huskisson(1974)이 개발한 시각적 사상척도(visual analogue scale, VAS)를 사용하였다. 이 척도는 도표 척도로써 짧은 시간 안에 통증의 정도를 0부터 10까지의 숫자로 간단히 표현할 수 있는 도구로, 대상자가 수술 측 다리에 느끼는 통증 강도를 표현하도록 하였다.

4) 균형 측정

균형 측정은 Tetrax[®] 균형측정기(Tetrax, Sunlight Medical Ltd, Israel)로 측정되었으며 4 개의 분리된 힘판으로 구성되었으며 양 발의 앞 발바닥부위와 뒤 발바닥부위의 수직 압력의 변화를 측정하였다. 앞 발바닥부위의 힘판은 가로 12cm, 세로 19cm의 직사각형이며, 뒤 발바닥부위의 힘판은 가로 12cm, 세로 12cm의 정사각형이다. 대상자가 힘판에 발을 위치시키고 섰을 때 힘판에 주어지는 수직 압력 변화량에 대한 데이터는 필터링을 거친 뒤 컴퓨터로 전달되었으며, Tetrax 소프트웨어 프로그램을 통해 분석하였다.

5) 근활성도 측정

(1) 근전도기기 및 전극부착부위

근활성도 측정을 위해 표면 근전도 시스템(Myosystem TM DTS, Noraxon Inc., USA)을 사용하였으며 측정된 결과는 근전도 분석 프로그램(Biomechanical analysis software MR 3.8, Noraxon Inc., USA)으로 분석하였다. 표면 전극은 Ag/AgCl 전극(IWC-DTS, 9113A-DTS, Noraxon Inc., USA)을 사용하였다. 측정 오류를 방지하고자 근전도의 부착 부위의 체모는 면도기를 이용하여 제거한 뒤 알코올로 닦아낸 후 각 근육의 최대 근수축이 가장 잘 나타나는 힘살을 찾아 기준 전극(Reference electrode)과 활성 전극(Activate electrode)을 수평으로 부착하였고 각 전극의 중심 사

이 거리는 2cm 이내로 부착하였다. 부착 근육은 넙다리곧은근(Rectus femoris), 넙다리두갈래근(Biceps femoris), 앞정강근(Tibialis anterior), 장딴지근(Gastrocnemius)에 부착하였다. 측정 시 움직임에 영향을 미치지 않도록 짧고 폭이 넓은 반바지를 착용하였으며 페달링 동작을 수행하는 동안 수술 측 다리와 비수술 측 다리의 근활성도를 1분간 연속측정 후 평균을 비교하였다.

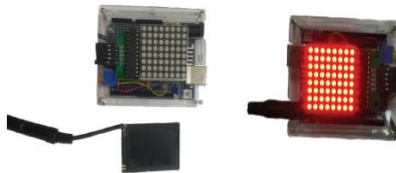
(2) 근전도신호의 표준화

근활성도를 표준화하기 위해 비수술 측 다리의 최대 수의적 등척성 수축(maximal voluntary isometric contraction; MVIC)을 측정하였으며, Kendall 등(2005)이 제시한 표준 도수근력검사 자세로 측정하였다. 모든 자세는 의자에 앉아 측정하였으며, 측정 시 최대 힘을 낼 수 있도록 지시하였다. 넙다리곧은근의 측정은 대상자의 넓적다리 부분을 고정하고 무릎땀을 지시 후 발목관절 앞부분에 저항을 주어 측정하였으며, 넙다리두갈래근의 측정은 넓적다리 부분을 고정하고 무릎굽힘을 지시 후 발목관절 뒷부분에 저항을 주어 측정하였다. 앞정강근의 측정은 대상자의 뒤꿈치를 바닥에 고정하고, 발등굽힘을 지시 후 발허리뼈의 윗부분에 저항을 주어 측정하였고, 장딴지근은 뒤꿈치를 바닥에 고정하고 발바닥굽힘을 지시 후 발바닥면의 발허리발가락관절에 저항을 주어 측정하였다. 모든 대상자의 측정은 동일한 치료사가 진행하였으며 대상자의 근 피로를 방지하기 위하여 측정 간 3분의 휴식시간을 취하도록 하였다. 근육의 최대 수의적 등척성 수축 값은 3회씩 측정하여 평균값을 구하였으며, 5초의 수축 자료 값에 처음과 끝 구간의 각 1초를 제외한 중간 3초 동안의 평균 근전도 신호량을 %MVIC로 환산하여 본 연구에 적용하였다.

6) 환측사용유도 고정식자전거

연구에 사용되는 자전거는 모니터가 달려 있는 고정식자전거(V SERIES RECUMBENT BIKE 300, Life

Fitness, USA)를 사용하였다. 환측사용유도를 위해 시각적 피드백 방식을 적용한 LED 압력센서(LED Force Sensing Resistor, QA3040P, Marveldex, Korea)를 사용하였다. LED 압력센서는 아두이노 보드(Arduino Board Uno Rev 3, Arduino, Italy)를 통하여 압력을 측정하며, 압력 측정값이 설정된 값보다 높으면 자전거에 설치된 LED 도트 매트릭스를 점등하여 대상자에게 시각적 피드백 방식을 제공하였다. 압력센서의 문턱값은 아두이노 보드에 연결된 가변저항값을 110Ω로 설정하였다. 환측사용유도 고정식자전거 운동은 LED 압력센서를 양 쪽 페달 발판의 앞부분에 설치하여 대상자의 수술 측 다리가 밟는 페달에 센서를 작동시켜 수술 측 다리도 사용하며 힘을 가해 밟을 수 있도록 유도하였고 대상자는 센서가 작동되어 켜지는 조명을 자전거 모니터 옆으로 확인하며 운동을 할 수 있도록 하였다(Fig. 1). 고정식자전거의 기본 페달 저항값은 최저 기준 저항 25N이며, 강도는 0으로 설정하였고 대상자 각각의 다리 길이를 고려하여 페달 축이 90°일 때 무릎 각도를 90°로 설정하여 자전거 페달과 신체의 거리를 통제하였다.



3. 실험 절차

1) 무릎인공관절수술 후 환측사용유도 고정식자전거운동 시 다리 근육의 근활성도 변화(1차실험)

대상자는 환측사용유도 고정식자전거그룹으로 무작위 배정된 19명을 대상으로 실험을 실시하였다. “준비”, “시작”이라는 구령 후 대상자는 1분간 압력센서가 작동되지 않는 페달링 운동을 하였고 근 피로를 방지하기 위하여 1분간 휴식시간을 가졌다. 휴식 후 압력센서를 작동시킨 페달링 운동을 1분 실시하였다. 페달링 회전 속도는 메트로놈 어플리케이션(메트로놈, NixGame, Russia) 80BPM으로 일정하게 페달을 밟을 수 있도록 하였으며 모든 대상자는 측정 전 속도에 맞춰 페달링 동작을 충분히 숙지한 후 실험을 진행하였다.

2) 무릎인공관절수술 후 환측사용유도 고정식자전거운동이 관절운동범위, 근력, 통증과 균형에 미치는 영향(2차실험)

무릎인공관절수술을 받은 대상자들은 무작위로 일



Fig. 1. Bicycle exercise for inducing movement of the affected side.

반 고정식자전거그룹(대조군)과 환측사용유도 고정식자전거그룹(실험군)으로 나누어져 중재를 적용받았다. 대조군은 물리치료 중재 30분 후 일반 고정식자전거운동을 15분 진행하였고, 실험군은 30분간의 물리치료 중재 후 압력센서가 작동되는 환측사용유도 고정식자전거운동을 15분 진행하였다. 실험군의 운동시 압력센서를 이용한 고정식자전거운동을 할 수 있도록 연구 책임자가 직접 교육을 시행 후 옆에서 관찰하고 기록, 운영하였다. 대상자들은 물리치료 중재(근육 이완 마사지 5분, 수동관절운동 5분, 근력강화운동 20분) 30분 후 고정식자전거운동 15분을 2주간 주 5회 적용받았다. 근력운동방법으로는 안쪽넓은근을 주동근으로 하는 운동법과 뒤넙다리근을 주동근으로 하는 운동법을 수정, 보완하여 적용하였다(Bolgia, 2008; Bynum, 1995; Lee & Min, 2019). 1주 차는 안쪽넓은근 강화를 위해 무릎 밑에 폼롤러를 두고 무릎뺨을 하는 운동과 하지직거상운동을 10회 3세트 적용 후 뒤넙다리근 강화를 위해 엎드린 자세에서 무릎을 굽히는 운동을 10회 3세트 적용하였으며, 2주 차에는 편평한 바닥에 선 자세에서 수평발을 잡고 스텝박스를 오르 내리는 운동을 5회 3세트 적용하고 뒤넙다리근 강화를 위해 교각운동을 5회 3세트 실시하였다.

4. 자료 분석

본 연구는 통계프로그램 SPSS 25.0(IBM SPSS Inc. USA)을 사용하여 분석 하였다. 모든 결과 값은 평균화한 다음 반올림하여 소수점 둘째 자리까지 표기하였다. 무릎인공관절수술 후 환측사용유도 고정식자전거운동 시 다리 근활성도의 변화를 보기 위해 대응표본 t검정(Paired t-test) 실시하였으며 무릎인공관절수술 후 환측사용유도 고정식자전거운동이 관절운동범위, 근력, 통증과 균형에 미치는 영향을 알아보기 위하여 일반 고정식자전거운동그룹과 환측사용유도 고정식자전거그룹 간 비교검정을 위해 독립표본 t검정(Independent t-test)를 실시하였다. 통계학적 유의수준 α 는 0.05로 설정하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 무릎인공관절수술 후 환측사용유도 고정식자전거운동 시 다리 근육의 근활성도 변화(1차실험)

1) 대상자들의 일반적인 특성

1차 실험의 대상자는 무릎인공관절수술을 받은 노인 환자 총 19명이며 일반적 특성은 평균 연령 69.50 ± 3.65 세, 신장 158.63 ± 2.53 cm, 체중 55.75 ± 3.53 kg 이었다.

Table 1. General characteristics of subjects for each group (n=19)

Variables	Mean \pm SD
Age (years)	69.50 \pm 3.65
Height(cm)	158.63 \pm 2.53
Weight(kg)	55.75 \pm 3.53

2) 무릎인공관절수술 후 환측사용유도 고정식자전거운동 시 다리 근육의 근활성도 변화

일반 고정식자전거운동그룹과 환측사용유도 고정식자전거운동그룹을 비교한 결과, 비수술 측 넙다리곧은근, 넙다리두갈래근, 앞정강근, 장딴지근의 근활성도에 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 수술 측 넙다리곧은근, 넙다리두갈래근, 앞정강근, 장딴지근의 근활성도는 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$)(Table 1).

2. 무릎인공관절수술 후 환측사용유도 고정식자전거운동이 관절운동범위, 근력, 통증과 균형에 미치는 영향 측정(2차실험)

1) 대상자들의 일반적인 특성

2차 실험에 참여한 대상자는 일반 고정식자전거그룹(대조군) 18명, 환측사용유도 고정식자전거그룹(실

험군) 16명으로, 대조군의 경우 평균연령 68.55±3.17세, 신장 158.50±3.33cm, 체중 57.33±4.42kg이었고, 실험군의 경우 평균 연령 69.50±3.65세, 신장 158.63±2.53cm, 체중 55.75±3.53kg이었다. 그룹 간 연령, 신장과 체중은 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).

2) 중재 전 대조군과 실험군 간 관절운동범위, 근력, 통증과 균형 비교

중재 시작 전 대조군과 실험군 모두 비수술 측과 수술 측의 무릎과 발목관절의 관절운동범위, 근력, 통증과 균형은 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).

3) 중재 후 대조군과 실험군 간 관절운동범위 비교

2주 중재 후 각 그룹의 관절운동범위는 다음과 같다. 대조군과 실험군 간 수술 측 무릎의 굽힘 관절운동범위는 대조군이 129.94±3.54, 실험군이 133.06±2.98로 대조군보다 실험군이 유의하게 높았으나($p<0.05$), 비

수술 측 무릎과 발목의 관절운동범위와 수술 측 무릎관절의 폼, 발목관절의 발등굽힘과 폼 운동범위는 두 그룹간 유의한 차이가 없었다($p>0.05$)(Table 2). 무릎관절의 폼 운동범위는 대상자들이 모두 동일하게 0°로 측정되어 비교 분석하지 않았다.

4) 중재 후 대조군과 실험군 간 근력 비교

2주 중재 후 각 그룹의 근력은 다음과 같다. 대조군과 실험군 간 수술 측 무릎굽힘 근력은 대조군이 87.86±9.98, 실험군이 94.78±8.69로 대조군보다 실험군이 유의하게 높았으며($p<0.05$), 수술 측 무릎 폼 근력은 대조군이 90.12±16.53, 실험군이 101.99±16.39로 실험군이 유의하게 높았다($p<0.05$). 수술 측 발바닥굽힘 근력은 대조군이 80.09±13.31, 실험군이 88.76±11.13로 유의하게 높았으나($p<0.05$), 비수술 측 무릎과 발목의 근력과 수술 측 발목의 발등굽힘 근력은 대조군과 실험군 모두 유의한 차이가 없었다($p>0.05$)(Table 2).

Table 2. Comparison of muscle activity according to two types of bicycles

(n=19, unit : %MVIC)

Variables		General bicycle exercise	Bicycle exercise for inducing movement of the affected side	t	p
Non-Replaced Limb	Rectus femoris	56.18±12.64†	62.11±12.88	-1.21	0.24
	Tibialis anterior	61.82±11.42	57.35±23.39	0.68	0.51
	Biceps femoris	64.17±21.90	63.45±16.96	0.11	0.91
	Gastrocnemius	60.16±13.54	63.38±13.11	-0.65	0.52
Replaced Limb	Rectus femoris	44.94±17.34	66.29±12.99	-4.47	0.00*
	Tibialis anterior	50.11±14.61	66.37±17.83	-4.17	0.00*
	Biceps femoris	50.61±19.76	67.89±19.78	-3.92	0.00*
	Gastrocnemius	52.48±12.62	66.02±10.55	-3.36	0.00*

†Mean±SD, * $p<0.05$

Table 3. General characteristics of subjects for each group

(n=34)

Variables	General bicycle group (n=18)	Bicycle for inducing movement of the affected side group (n=16)	t	p
Age (years)	68.55±3.17	69.50±3.65	-0.80	0.42
Height(cm)	158.50±3.33	158.63±2.53	-0.12	0.90
Weight(kg)	57.33±4.42	55.75±3.53	1.14	0.26

5) 중재 후 대조군과 실험군 간 통증과 균형 비교

2주 중재 후 대조군과 실험군 간 통증과 균형은 유의한 차이가 없었다($p>0.05$)(Table 2).

IV. 고찰

무릎인공관절수술은 수술 후 회복 과정에서 관절 운동범위 감소, 염증, 통증 및 부종 등 여러 문제점이 있으며(황현숙 등, 2004) 특히 보행 시 통증으로 인해 비대칭적인 체중 부하와 신체 균형 능력의 감소가 나타난다(Christensen et al., 2018). 고정식자전거운동은 재활 운동으로 권장되고 있으나(Kuster et al., 1997), 편측 무릎인공관절 수술 후 고정식자전거운동 시 무릎 기능 약화로 인해 수술 측 다리와 비수술 측 다리에

서 수직페달반력 및 무릎뎀 움직임에서 역학적 차이가 발생한다고 하였다(Hummer et al., 2021). 이에 따라 본 연구는 두 가지 실험이 진행되었으며 1차 실험은 무릎인공관절수술 후 환측사용유도 고정식자전거운동 시 다리 근육의 근활성도 변화를 알아보고자 하였고 2차 실험은 무릎인공관절수술 후 환측사용유도 고정식자전거운동이 관절운동범위, 근력, 통증과 균형에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

1차 실험에서 일반 고정식자전거운동과 환측사용유도 고정식자전거운동 시 비수술 측 다리 근육의 근활성도 변화는 유의한 차이를 보이지 않았으나 ($p>0.05$), 수술 측 다리 근육의 근활성도 변화는 유의한 증가를 보였다($p<0.05$). 이는 환측사용유도 고정식자전거운동이 수술 측 다리의 능동적 사용을 유도하여 페달링 시 비수술 측 다리 근육과 수술 측 다리 근육의 비대칭을 감소시켰다는 것을 의미한다.

Table 4. Comparison of ROM, muscle strength, stability and pain between General bicycle group and Bicycle for inducing movement of the affected side group after Intervention (n=34, unit : °, N, point)

Variables			General bicycle exercise	Bicycle exercise for inducing movement of the affected side	t	p
Range of motion	Non-Replaced Limb	Flexion	143.00±4.30 [†]	142.56±4.37	0.29	0.77
		Dorsiflexion	14.17±4.29	16.00±5.54	-1.08	0.28
		Plantarflexion	36.39±2.87	35.63±3.59	0.68	0.49
	Replaced Limb	Flexion	129.94±3.54	133.06±2.98	-2.76	0.00*
		Dorsiflexion	13.67±4.03	15.44±4.87	-1.16	0.25
		Plantarflexion	36.67±2.97	35.63±4.03	0.86	0.39
Muscle Strength	Non-Replaced Limb	Flexion	122.06±5.37 [†]	119.36±9.78	0.97	0.33
		Extension	143.28±15.29	138.50±13.64	0.95	0.34
		Dorsiflexion	117.11±17.49	113.59±15.32	0.62	0.53
	Replaced Limb	Plantarflexion	89.41±18.96	93.82±11.17	-0.81	0.42
		Flexion	87.86±9.98	94.78±8.69	-2.14	0.04*
		Extension	90.12±16.53	101.99±16.39	-2.09	0.04*
Stability	Replaced Limb	Dorsiflexion	102.83±10.33	108.53±7.43	-1.82	0.07
		Plantarflexion	80.09±13.31	88.76±11.13	-2.04	0.04*
Stability			75.17±14.48 [†]	65.38±21.49	1.57	0.12
Pain			2.06±0.64	2.00±0.89	0.21	0.83

[†]Mean±SD, * $p<0.05$

2차 실험에서 2주 중재 후 실험군에서 수술 측 무릎의 굽힘 관절운동범위가 대조군보다 유의하게 높았으며($p<0.05$), 수술 측 무릎굽힘근과 무릎뽀근, 발바닥굽힘 근력도 대조군보다 유의하게 높았다($p<0.05$). 2주 중재 후 대조군의 무릎굽힘 관절운동범위와 무릎굽힘근, 뽀근, 발바닥굽힘 근력은 실험군보다 유의하게 높지 않았다($p>0.05$). 실험군의 발등굽힘, 발바닥굽힘 운동범위와 발등굽힘 근력은 대조군과 유의한 차이가 없었으며($p>0.05$), 대조군과 실험군 모두 균형과 통증은 유의한 차이를 보이지 않았다($p>0.05$).

2주 중재 후 실험군의 수술 측 무릎의 굽힘 관절운동범위가 대조군보다 유의하게 높았던 것은 환측사용유도 고정식자전거운동이 수술 측 무릎굽힘근의 능동적 움직임을 유도하고 제한되었던 가동성을 증진시켜 관절운동범위가 유의하게 높았을 것으로 사료된다. 실험군의 무릎굽힘근과 무릎뽀근, 발바닥굽힘근의 근력이 대조군보다 유의하게 높았던 것은 선행연구에 따르면 Raymond 등(2005)은 페달링 시 무릎뽀근은 힘을 생성하는 작용근 역할을 담당하고 무릎굽힘근은 무릎뽀근에 대항하여 다리 근육의 힘을 조절하는 반작용근의 기능을 담당한다고 하였다. 환측사용유도 고정식자전거 페달에 부착된 압력센서가 페달링 시 무릎뽀근과 발바닥굽힘근을 더욱 활성화시켰고 무릎굽힘근이 함께 작용하며 무릎뽀근의 근력 강화가 무릎굽힘근 강화에 상호적인 영향을 주었을 것으로 사료된다.

대조군의 굽힘 관절운동범위와 무릎굽힘근, 무릎뽀근, 발바닥굽힘근의 근력이 실험군보다 유의하게 높지 않았던 것은 대조군의 굽힘 관절운동범위와 무릎굽힘근, 무릎뽀근, 발바닥굽힘근의 근력은 비대칭적 페달링과 수술 측 다리의 수동적인 운동패턴으로 수술 측 다리의 근육을 주로 사용하지 않았기 때문에 유의하게 높지 않았을 것이라 사료된다. 그러나 실험군의 발등굽힘, 발바닥굽힘 운동범위와 발등굽힘 근력은 대조군과 차이를 보이지 않았는데 먼저 발목관절의 운동범위가 유의한 차이를 보이지 않았던 것은 무릎인공관절수술이 발목관절의 운동범위에 직접적

인 영향을 미치지 않아 대조군과 차이를 보이지 않았을 것이라 사료된다. 발등굽힘 근력이 유의한 차이를 보이지 않았던 것은 편측 무릎인공관절수술 후 고정식자전거운동 시 비수술 측 다리보다 수술 측 다리가 페달에 가하는 수직페달반력이 현저히 낮으며 대신 엉덩관절뽀근과 발목관절의 발바닥굽힘근에서 모멘트 값이 높게 나타난다는 Hummer 등(2021)의 선행연구와 일치한다. 마지막으로 대조군과 실험군 모두 균형과 통증에서 유의한 차이를 보이지 않았던 것은 2주의 제한된 중재 적용 기간으로 유의한 차이를 보이지 않았을 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점으로는 대상자의 수가 제한적이며 실험에 참여한 환자의 대부분이 여성으로 구성되어 일반화에 어려움이 있을 것으로 생각된다. 또한 중재 기간이 2주로 제한되어 장기적인 적용의 효과를 확인하지 못하였다. 차후 연구에서 대상자 수의 확대와 중재 적용 기간의 다양화를 통해 환측사용유도 고정식자전거의 적용 효과에 대한 검증이 추가적으로 되어야 할 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구는 무릎인공관절 수술을 받은 65세 이상 75세 미만의 노인환자 34명을 대상으로 무릎인공관절 수술 후 환측사용유도 고정식자전거운동이 다리 근육의 근활성도 변화와 무릎 기능에 미치는 영향을 알아보기 위해 연구하였고 결과적으로 무릎인공관절수술 후 일반 고정식자전거운동보다 환측사용유도 고정식자전거운동이 수술 측 다리 근활성도 증가, 무릎과 발목관절의 운동범위 증가와 근력의 효과적인 개선을 증명하였다. 더 나아가 환측사용유도 고정식자전거운동의 임상적 적용은 무릎인공관절수술 환자들의 빠른 회복과 일상생활 복귀를 도울 것으로 생각된다.

References

- Bae HS. Effect of Degenerative Arthritis on Health-related Quality of Life in the Elderly. Graduate School of Daegu Haany University. Master's thesis; 2011.
- Bolgla LA, Shaffer SW, Malone TR. Vastus medialis activation during knee extension exercises: Evidence for exercise prescription. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2008; 17(1):9-10.
- Boonstra MC, Schwering PJ, De WM, et al. Sit-to-stand movement as a performance-based measure for patients with total knee arthroplasty. *Physical Therapy*. 2010;90(2):149-156.
- Buddhadev HH, Crisafulli DL, Suprak DN, et al. Individuals with knee osteoarthritis demonstrate interlimb asymmetry in pedaling power during stationary cycling. *Journal of Applied Biomechanics*. 2018;34(4):306-311.
- Bynum EB, Barrack RL, Alexander AH. Open versus closed chain kinetic exercises after anterior cruciate ligament reconstruction: A prospective randomized study. *The American Journal of Sports Medicine*. 1995;23(4): 401-406.
- 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):2355-2363.
- Dupee M, Forneris T, Werthner P. Perceived outcomes of biofeedback and neurofeedback training intervention for optimal performance: Learning to enhance self-awareness and self-regulation with Olympic athletes. *The Sport Psychologist*. 2016;30(4):339-349.
- Fujiwara T, Liu M, Tanuma A, et al. Pedaling exercise for neuromuscular re-education: A review. *Critical Review in Physical and Rehabilitation Medicine*. 2005;17(3).
- Galley PM & Forster AL. Human movement. 2nd ed. Churchill Livingstone. 1985;8(2).
- Hancock NJ, Shepstone L, Rowe P, et al. Clinical efficacy and prognostic indicators for lower limb pedalling exercise early after stroke: Study protocol for a pilot randomised controlled trial. 2011;12(1):68.
- Hummer E, Thorsen T, Weinhandl JT, et al. Knee joint biomechanics of patients with unilateral total knee arthroplasty during stationary cycling. *Journal of Biomechanics*. 2021;7(3):111-115.
- Huskisson EC. Measurement of pain. *The Lancet*. 1974;7(4).
- Jeon SJ, Choi KS, Ko SK. The effect of rehabilitation training on knee muscular strength and function recovery after total knee arthroplasty. *Journal of the Korea Sport Research*. 2005;18(6):441-448.
- Jo US, Park JH, KIM JM. Factors Affecting Range of Motion after total knee arthroplasty. *Journal of The Korean Orthopaedic Association*. 2003;38(7):683-688.
- Katz-Leurer M, Sender I, Keren O, et al. The influence of early cycling training on balance in stroke patients at the subacute stage. results of a preliminary trial. *Clinical Rehabilitation*. 2006;20(5):398-405.
- Kell DT, Greer BK. Use of the wattbike cycle ergometer for attenuation of bilateral pedaling asymmetry in trained cyclists. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2017;31(2):468-473.
- Kendall FP, McCreary EK, Provance PG, et al. *NMuses: Testing and function with posture and pain*. Philadelphia PA. 2005.
- Kim HU, Lee SW, Choi WJ. The Effect of Visual Feedback Bicycle Training on Maximal Oxygen Uptake, Quadriceps Muscle Strength, and Running Performance in Healthy Young Adults. *Physical Therapy Rehabilitation Science*. 2022;11(1):58-65.
- Kremers HM, & Gabriel S. Epidemiology of the rheumatic diseases. Editors. *Kelley's Textbook of Rheumatology*. 7th Ed. Philadelphia PA. 2005.

- Kuster MS, Wood GA, Stachowiak GW, et al. Joint load considerations in total knee replacement. *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 1997;79(1):109-113.
- Levangie PK & Cynthia CN. Joint structure and function: a comprehensive analysis. 4th ed. Philadelphia PA. 2002.
- 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.
- Mun MS. Rehabilitation therapy for patients with knee joint disease. *Journal of Korean Academy of Rehabilitation Medicine*. 1979;3(2):41-44.
- Raymond CH, Joseph KN, Gabriel YN. Muscle recruitment pattern in cycling: a review. *Physical therapy in sport*. 2005;6(2):89-96.
- Shin JY, Jeon JE. Effect of rehabilitation program on pain, range of motion, and behavior of elderly patients with total knee arthroplasty. *Journal of Korean Society of Adult Nursing*. 2010;3(1):70-70.
- Yin C, Hsueh Y, Yeh C, et al. A virtual reality-cycling training system for lower limb balance improvement. *BioMed Research International*. 2016;45(2):547-549.