

Original Article

압력 생체피드백을 이용한 넙다리네갈래근 근력운동이 무릎 인공관절 전치환술 환자의 근 활성화도, 각도, 통증, 균형, 보행에 미치는 효과

이호준, 이승병¹⁾, 정성관²⁾

가톨릭병원, 청춘병원¹⁾, 서울정형외과의원²⁾

Effects of Quadriceps Muscle Strength Exercise with Pressure Biofeedback on Muscle Activity, Range of Motion, Pain, Balance and Gait in Patients with Total Knee Arthroplasty

Ho-jun Lee, Seung-byung Lee¹⁾, Seong-gwan Jeong²⁾

Dept. of Physical Therapy, Catholic Hospital

Dept. of Physical Therapy, Chung Chun Hospital¹⁾

Dept. of Physical Therapy, Seoul Orthopedic Clinic²⁾

ABSTRACT

BACKGROUND: The purpose of this study aimed to investigate changes in knee pain, muscle activity, range of motion (ROM), balance, gait in 40 patients with bent knee joints who underwent total knee arthroplasty (TKA). This study aimed to evaluate ankle pumping exercise and quadriceps muscle strength exercise using pressure biofeedback to assess changes in knee pain, muscle activity, ROM, balance, gait.

METHODS: Forty patients who underwent TKA were randomly assigned to an experimental group or control group. Both groups received 40 mins interventions, three times a week, for a total of 4 weeks. The experimental group received general physical therapy, gait training, quadriceps muscle strength exercise using pressure biofeedback. Conversely, the control group received general physical therapy, gait training, quadriceps muscle strength exercise to the knee joint.

RESULTS: In terms of pain levels decreased in both groups however, no significant differences were found between the groups. Muscle activity and ROM showed significant changes between the groups, and a significant difference was observed between the two groups in the post intervention comparison. Balance showed significant changes between the groups, with significant differences observed between the pre and post intervention comparisons. Gait showed significant changes between the groups, with significant differences observed between post intervention comparisons.

CONCLUSION: The experimental group who underwent TKA and performed ankle pumping exercise in the knee joint and quadriceps muscle strength exercise using pressure biofeedback exhibited improvements in muscle activity, ROM, balance, gait. In the future, it is intended to provide basic data for the treatment of patients with knee joint on quadriceps muscle activity after TKA.

Key Words:

Muscle Activity, Pressure Biofeedback, Quadriceps Muscle, Total Knee Arthroplasty

교신저자: 이호준

주소: 35301, 대전 서구 도산로 351, E-mail: manclass@naver.com



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

골관절염 환자들의 치료를 위해 보존적인 치료 방법으로 물리치료와 약물요법, 체중감량 등이 시행되고 있다. 그러나 이러한 보존적인 치료에도 무릎관절에 퇴행성 변화가 지속되면 최종적으로 수술적 치료 방법이 시행된다. 가장 흔한 수술적 치료방법은 무릎관절 전치환술(total knee arthroplasty; TKA)이 있으며, 통계에 따르면 무릎 골관절염 환자의 93%는 관절 통증 완화, 경직 완화, 움직임 개선 효과가 있다고 보고하였다(Harato 등, 2009; Goodfellow 등, 2002). 환자의 통증을 제거하고, 기능을 회복시키는 것을 목표로 한 TKA는 1908년 대부터 심한 골관절염의 기본 치료 방법으로 15~20년 이상의 장기 추적 결과에서도 매우 양호한 결과를 보여주고 있다(Dennis, 등 2003). 국민건강보험공단의 '2023 주요 수술 통계 연보'에 따르면, TAK는 2018년 71,769건, 2019년 79,342건, 2020년 72,382건, 2021년 77,614건, 2022년 82,544건, 2023년 88,829건으로 연평균 2.9% 증감 추세이다(National Health Insurance Service, 2024).

TKA 후에는 다양한 문제들이 뒤따르게 되는데 수술한 다리의 무릎 근력 감소와 무릎 펴기 가동 범위 제한을 특징으로 하는 비대칭적 움직임 패턴을 겪게 되며(Yoshida 등, 2012.) 수술한 무릎의 통증과 관절가동범위의 제한, 근력 약화가 나타나 균형 능력까지 감소시킨다(Harato 등, 2010). 따라서 TKA 후 초기 운동은 통증을 감소시키고 일상생활 동작, 낙상에 대한 두려움 감소 등에 효과적이며(Yun 과 Lee, 2015), 근력 강화와 기능적 수행 능력을 향상시키기 위한 치료가 필요하다(Piva 등 2010).

TKA 후 재활 프로그램은 일반적으로 통증 및 부종 관리, 무릎관절 가동범위의 회복, 하지 근력 및 정상적인 보행 패턴, 기능적 활동 훈련에 중점을 둔다(Pozzi 등, 2020). TKA 후 재활 프로그램으로는 지속성 수동운동과 근력 강화 운동, 균형 훈련 등이 시행되고, 그 중 넙다리네갈래근(quadriceps femoris)의 회복은 무릎관절의 체중부하와 안정성 및 정성적인 기능 수행에 있어서 가장 중요한 요소이다(MacDonald 등, 2000). 수술 1개월 후 넙다리네갈래근의 수축과 횡단면적의 감소, 그리고 근력이 60%까지 감소함으로써 결과적으로 근 기능의 감소로 인한 낙상 및 보행속도의 저하, 균형 능력의 저하가 나타난다(Mizner와 Snyder-Mackler, 2005). TKA 수술 시 넙다리네갈래근의 절개로 근력의 약화가 생기게 되어 여러 가지 문제를 일으킬 수 있다(Mizner 등, 2005).

Bade 등(2010)은 수술 후 노인과 수술하지 않은 노인을 비교해 수술 한 노인의 넙다리네갈래근 근력이 40% 감소하였고, 보행속도는 18%, 계단 오르기 속도는 51% 느린 결과가 나타나 기능적인 움직임에 큰 어려움이 있다고 보고하였다.

Zhou 등(2015)은 넙다리네갈래근의 기능장애로 TKA 후 약 1개월 동안 일시적으로 무릎관절의 가동범위 감소를 보여 일상적인 활동에도 만족도가 감소하였다. 이는 무릎관절의 가동 범위가 감소가 유의한 상관관계가 있다고 보고하였다. 넙다리네갈래근 근력과 장애 사이의 연관성은 TKA 후 넙다리네갈래근 운동의 중요성을 강조하였고, 넙다리네갈래근 근력 향상은 기능적 수행의 향상과 연관되는 것을 보여주었다(Yoon, 2016). Berman 등(1991)은 TKA 후 굴곡근의 근력은 12개월이 지나면 수술하지 않는 측과 비슷하게 회복하나 신전근의 근력은 24개월이 지나도 여전히 약화 된 상태이므로 수술 후 신전근 근력 재활의 중요성을 강조하고 있다.

TKA 후 관절강직을 막고 관절 가동범위를 증가시키기 위해 무릎관절의 지속적 수동운동(continuous passive motion)이 조기에 실시되고 이후에 일반적으로 무릎관절 펴기의 비 체중부하 운동 및 자전거 타기 등의 운동 치료가 함께 시행되고 있다(Yim 등, 2009). Kim 등(2008b)은 넙다리네갈래근의 4주간 등척성 운동 적용 시에 유의한 근력 향상이 있었고, Park 등(2012)등은 넙다리네갈래근 근고정 운동(quadriceps femoris muscle setting exercise) 적용 후 근력과 보행에서 유의한 향상을 보고하였다. 이러한 넙다리네갈래근 근고정 운동은 불용성 위축으로 인한 근 약화 시 근력 및 지구력 증가와 같은 목적으로 광범위하게 사용된다(Kisner와 Coby, 2020). TKA 후 근력운동의 조기 시작은 무릎의 통증 감소, 관절 가동범위의 회복, 하지 근력 복구에 영향을 주었고 무릎의 뻣뻣함을 예방할 수 있다(Labraca 등, 2011). Park 등(2012)은 TKA 후 초기 노인을 대상으로 넙다리네갈래근 근 고정 운동 적용 후 근력과 보행에서 유의한 향상을 보고하였다.

Kirnap 등(2005)은 반달 연골 절제를 시행한 40명의 환자를 대상으로 근전도-생체피드백을 이용하여 근력 강화 운동을 시행한 그룹과 생체피드백을 시행하지 않은 그룹을 비교한 결과 근전도-생체피드백을 제공한 그룹의 가쪽넓은근(vastus lateralis)의 근 활성도의 유의한 향상을 보고하였다. Kim 등(2008a)은 무릎뼈 부정렬 환자 39명을 대상으로 4주간 근전도-생체피드백을 이용하여 근력 강화 운동을 시행한 그룹과 테이핑을 적용한 그룹에서 안쪽넓은근(vastus medialis) 근 활성도의 유의한

향상을 보고하였다. 최근에는 TKA 초기에 환자의 하지 근 활성도를 높이기 위해 생체피드백을 이용한 연구들이 진행되고 있다. Park과 Kim(2013)은 TKA 환자의 하지 근 활성도와 균형 향상을 위해 6주간 근전도-생체피드백을 이용한 넙다리네갈래근 고정 운동을 시행한 결과 넙다리곧은근과 가쪽넙은근의 근 활성도는 시간의 반복측정에서 시간이 경과함에 따라 유의하게 증가하였고, 대조군도 유의한 향상을 보고하였다.

Horstmann 등(2017)은 41명의 환자에게 수술 후 초기에 무릎 신전 운동을 하도록 지시했다. 혈압계 커프를 펴서 오금근 바로 아래에 놓고 20mmHg로 부풀려서 환자에게 무릎을 최대한의 힘으로 5초씩 3회 밀도록 했다. 그 결과 혈압계 장치를 이용한 재활은 환자들의 동기 부여가 높은 것으로 평가되었지만, 혈압계 수치로는 근 활성도를 평가하기 어렵다고 제한점에 기술하였다. 또한, 무릎관절 펌근을 선택적 근력 강화할 수 있음을 검증하였다고 하였으나 그 검증이 단순 설문지를 이용한 환자의 동기 부여만을 확인함으로써 환자의 근 활성도나 실제 기능에 대한 평가는 이루어지지 않았다.

이처럼 생체피드백을 이용한 연구들이 진행되었으나 TKA 후 급성기 재활 운동에 관한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 실제 근 활성도 향상 및 TKA 후 환자의 관절각도 및 균형, 보행 등 기능에 종합적으로 어떠한 영향을 미치는지에 대한 구체적 연구 또한 부족한 실정이다. 따라서 본연구의 목적은 압력 생체피드백을 이용한 무릎 신전근 근력 운동 프로그램이 TKA 후 초기 환자를 대상으로 근 활성도, 각도, 통증, 균형, 보행 등에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 기간 및 연구 대상자

본 연구는 2025년 1월부터 2025년 7월까지 대전광역시 소재한 정형외과 병원에서 TKA를 시행한 환자를 대상으로 진행하였다. 연구의 목적과 방법에 대해 충분한 설명을 듣고 동의한 환자 중 4주간 연구에 참여가 가능한 환자 78명을 대상으로 선정하였다. 연구 대상자 수는 표본크기 산출 프로그램(G-Power program, Kiel University, Germany)을 이용하여 진행하였으며, 효과 크기 .65, 유의수준 .05, 검정력 .80로 설정하여 계산한 결과 연구 대상자의 최소 표본크기는 39명으로 산출되었다. 연구 기간 중 조기 퇴원자, 컨디션 난조로 휴식이 필요한 자, 수술 부위 통증으로 치료를 거부한 이탈자 28

명을 제외한 40명을 최종 대상으로 선정하여 연구를 진행하였다. 대조군 20명 중 남성 2명, 여성 18이고 실험군 20명 중 남성 3명, 여성 17명으로 준비뿔기를 통해 무작위로 편성하였다. 연구 대상자가 어떤 이유든지 원하면 중재 도중 중단할 수 있도록 사전에 고지하였고, 본 연구에 참여로 발생하는 불이익이 없음을 설명하고 이해시켰다.

Jeong 등(2024)과 Song과 Park(2021)의 선행 연구를 참고하여 대상자의 선정 기준과 제외 기준은 설정하였다. 대상자의 선정 기준은 다음과 같다. 1) 퇴행성 골관절염 진단을 받아 본원에서 TKA 수술을 받은 환자, 2) TKA 수술 이외 무릎관절에 다른 수술을 하지 않은 환자, 3) 하지에 신경학적 결손이나 골절 진단이 없는 환자, 4) 의식이나 감각 장애가 없고, 평가 내용을 완벽히 이해하고 대화가 가능한 환자, 대상자의 제외 기준은 다음과 같다. 1) 허리 협착증으로 인한 신경통 증상으로 다리를 완전히 펴지 못하는 환자, 2) 평가 내용을 이해하지 못하고 대화가 가능하지 못한 환자, 3) TKA 수술 후 입원 기간이 짧은 환자

2. 연구설계

본 연구의 연구설계는 다음과 같다(Figure 1).

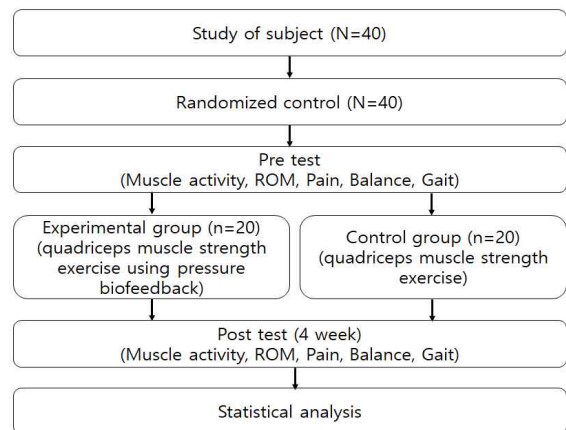


Figure 1. Design of the study

3. 연구 절차

본 연구는 중재 후 1 주차 시점과 중재 후 4 주차 시점을 비교 연구 방법으로 시행하였다. 본 연구에 참여하는 대상자는 A, B가 적인 메모지를 직접 고르게 하여 무

작위로 대조군과 실험군으로 배정하였고, 중재 기간은 1일 40분, 주 3회, 총 4주간 진행하였다.

중재 전 근 활성화도, 무릎관절 가동 범위, 통증, 균형, 보행에 대해서 측정하였다. 실험군은 일반적인 물리치료, 보행 훈련, 압력 생체피드백을 이용하여 넙다리네갈래근 근력운동(quadriceps muscle strength exercise using pressure biofeedback)을 실시하였다. 대조군은 일반적인 물리치료, 보행 훈련, 넙다리네갈래근 근력운동(quadriceps muscle strength exercise)를 실시하였다. 4주간 중재 후 근 활성화도, 무릎관절 가동 범위, 통증, 균형, 보행에 대해서 측정하였다.

3. 평가 및 방법

1) 넙다리네갈래근 근 활성화도 검사

근 활성화도 측정을 위해 표면 근전도 시스템(K-MYO, KINVENT, France)을 사용하였다. 표면 근전도는 앞위 엉덩뼈가시와 무릎뼈 중간지점에서 넙다리곧은근(Rectus femoris)에 적용하였다. 측정된 결과는 근전도 분석 프로그램(KINVENT Apps Version 2.21.0, KINVENT, FRANCE)을 이용하여 분석하였다.

표면 근전도의 신호에 대한 피부마찰 저항을 최소화하기 위해 털과 피부각질층을 제거하고 피부는 소독용 알코올 솜으로 깨끗이 닦아내었다. 표면 근전도의 신호에 대한 피부마찰 저항을 최소화하기 위해 털과 피부각질층을 제거하고 피부는 소독용 알코올 솜으로 깨끗이 닦아내었다. 표면 전극은 Ag/AgCl 전극(ECG ELECTRODES, Kendall., Germany)을 사용하였다.

측정된 근전도 표본추출률(sampling rate)은 2,000Hz로 설정하였고, 대역통과필터(band pass filter)를 사용하였으며 범위는 40~400Hz로 설정하여 움직임의 잡음과 고주파 노이즈를 효과적으로 제거하였다. 추가로, 50Hz 노치필터(notch filter)를 적용하였다. 수집된 신호는 RMS(root mean square) 값으로 정량화하였다.

자료 분석을 위해 실험군과 대조군은 실험 전, 후 넙다리네갈래근을 최대 수축 시 총 5초간 2회 측정하여 최대 수의적 등척성 수축(Maximal Voluntary Isometric Contraction; MVIC)을 MVIC%로 환산하여 본 연구 분석에 사용하였다(Figure 2).

2) 무릎관절 폼의 관절 가동 범위

본 연구에서 바로 누운 자세에서 중재 전후에 무릎관절의 폼의 관절 가동 범위(°)를 측정하였다. 담당 물리치료사는 통증이 유발되지 않는 각도 범위 안에서 3회 측

정하였다(Figure 3). 3번 측정 후 가장 좋은 결과값을 최종 측정값으로 선택하였다.



Figure 2. Quadriceps muscle activity

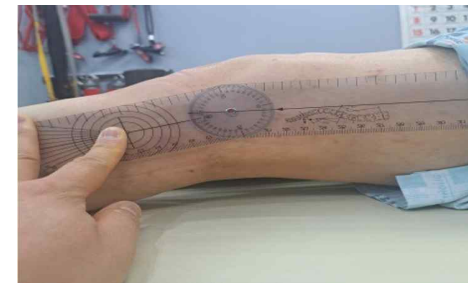


Figure 3. Knee joint extension ROM

3) 무릎 통증

본 연구에서 무릎관절의 통증 감소 효과를 평가하기 위해서 시각 상사 척도(visual analogue scale; VAS)를 사용하였다.

VAS는 환자가 주관적으로 느끼는 무릎관절 통증 정도를 스스로 0~10의 점수를 표시하도록 하였다. VAS에서 0점은 통증의 자각 증상이 전혀 없는 상태를 나타내며, 1~2는 통증이 거의 없는 상태를, 3~4는 약간의 통증이 있음을, 5~6은 오래 걸으면 시큰거림 또는 불편감이 있음을, 7~8은 계단 보행에서 통증으로 인해 난간을 잡아야 하는 상태를, 9~10점은 참을 수 없을 정도의 극심한 통증으로 지팡이나 약물치료가 필요한 것을 의미한다.

VAS는 평가-재평가가 신뢰도 $r=.99$ 이며 측정자 간 신뢰도는 $r=1.00$ 이므로 VAS는 신뢰도가 높은 것으로 나타났다(Wagner 등, 2007).

4) 균형 검사

Jeong 등(2024)의 선행 연구를 참고하여 본 연구에서 수술한 다리의 체중 지지 변화를 알아보았다. 체중 분의 수술한 다리의 지지도를 백분율로 계산하여 중재 이후

수술한 다리의 변화를 보았다. 균형 상태를 알아보기 위해 먼저 체중계 하나로 대상자의 체중을 측정하고, 양하지의 체중을 측정하기 위해 2개의 체중계(X20 PLUS, CAS, Korea)에 각각 한 다리씩 올려 바로 선 자세에서 환자는 정면을 응시하고 3초간 자세를 유지하는 동안 체중을 측정하여 균형 평가를 시행하였다(Figure 4). 총 3회 측정하여 체중(kg)의 평균값을 선정하여 백분율(%)로 분석하였다.



Figure 4. Balance test

5) 보행 검사

연구 대상자의 중재 전·후 보행 능력 차이를 평가하기 위해 10미터 걷기 검사(10m walk test; 10MWT)를 이용한 보행속도 검사를 하였다.

10MWT는 측정자 간 및 측정자 내 신뢰도가 $r=.89$ 로 신뢰도가 검증된 평가 방법이다(Steffen 등, 2002). 평가 방법은 연구 대상자에게 정면 직선의 길이 14m 구간을 보행하는 동안 출발점과 도착점에서 가속과 감속을 고려하여 출발 지점에서 출발 후 2m, 도착 지점에서 도착 전 2m 구간, 총 4m를 제외한 총 10m 구간을 걷는 동안 소요 시간을 2회 측정하여 평균값을 사용하였다.

4. 중재 방법

본 연구에서 중재 전후 비교 연구 방법으로 진행하였다. 중재는 1일 40분, 주 3회, 총 4주간 시행하였다. 대상자는 무작위로 대조군과 실험군으로 배정하였으며 실험군은 무릎관절에 일반적인 물리치료, 보행 훈련, 압력 생체피막을 이용한 넓다리네갈래근 근력운동을 적용하였다. 대조군은 무릎관절에 일반적인 물리치료, 보행 훈련, 넓다리네갈래근 근력운동을 적용하였다.

1) 일반적인 물리치료

일반적인 물리치료는 수술 부위에 냉치료(ICE PACK, Bio Medical, Korea) 20분, 간섭파전기치료기 (IN-2300,

YOUNGIN, Korea) 15분, 저출력 레이저치료기 (HLA-200, Hanil TM, Korea) 15분, 전동식 정형용 운동장치(FLEXIEE 2.1, CARE TECH, Korea) 30분을 적용하였다.

2) 중력 조절 보행 훈련

중력조절보행시스템(Anti Gravity Gait System, ALTER-G, USA) 장비를 이용하여 보행 연습을 20분간 시행하였다(Figure 5).

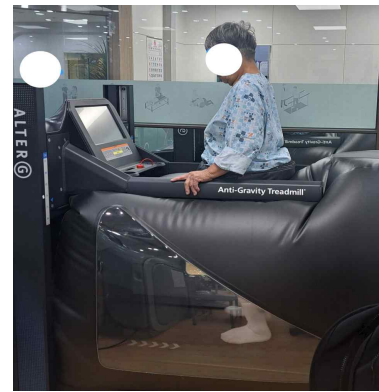


Figure 5. Anti gravity gait system

3) 발목 펌핑 운동

대상자는 바르게 누운 상태에서 발목관절의 발등굽힘 운동을 총 30회, 유지 시간은 5초 시행하였다.

4) 넓다리네갈래근 근력운동

대상자는 두 다리를 뺀고 앉은 상태에서 무릎관절 밑에 있는 수건을 힘껏 누르며 무릎에 최대 힘을 주도록 하였다. 근수축 유지 시간은 5초간 10회씩 3세트, 세트당 휴식 시간은 1분으로 설정하였다(Figure 6).

5) 압력 생체피막을 이용한 넓다리네갈래근 근력운동

대상자는 두 다리를 뺀고 앉은 상태에서 오금에 위치한 압력 생체피막을 적용하였다. Park(2024)의 연구에 의하면 넓다리뼈 아래에 압력 바이오피드백 장비를 대고 40mmHg로 압력을 설정한 후 근수축 시 35~45mmHg 압력이 유지될 수 있도록 하였다.

선행 연구를 참고하여 본 연구는 넓다리뼈 아래가 아닌 오금근에 대고 대상자가 바닥에 누를수 있는 힘이 생기도록 1주차에는 40mmHg 압력으로 대상자는 최대한 오금을 바닥에 닿도록 무릎에 힘을 주면서 발등굽힘도 같

이 시행하였다. 2주차에는 30mmHg, 3주차에는 20mmHg, 4주차에는 10mmHg 압력을 점점 감소한 상태로 설정 후 최대 수축 시 설정값보다 10mmHg 이상 눈금이 이동할 수 있게 무릎에 최대한 힘을 주도록 하였다. 근수축 유지 시간은 5초간 10회씩 3세트, 세트당 휴식 시간은 1분으로 하였다(Figure 7)(Figure 8).

5. 분석 방법

본 연구의 자료는 통계프로그램(Windows SPSS ver. 21.0, IBM, USA)을 이용하여 통계분석 하였다. 정규성 검정(Shapiro-Wilk)에서 정규분포를 만족하여 이를 분석 방법으로 적용하였다.

대상자의 일반적인 특성은 기술통계(descriptive statistics)를 사용하여 분석하였다. 실험군과 대조군 각 그룹의 중재 전·후의 비교는 대응표본 t-검정으로 분석하였고, 각 그룹 간의 효과를 확인하기 위해 독립표본 t-검정을 하였다. 모든 자료의 통계학적 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 정하였다.



Figure 6. Quadriceps muscle strength exercise



Figure 7. Pressure Biofeedback



Figure 8. Quadriceps muscle strength exercise with pressure biofeedback

III. 연구 결과

1. 연구 대상자의 일반적인 특성

본 연구의 실험군의 평균 연령은 72.60 ± 4.26 세이고 체중은 55.55 ± 11.69 kg이다. 대조군의 평균 연령은 70.60 ± 5.13 세이고 체중은 60.25 ± 7.69 kg이다(Table 1).

Table 1.

General characteristics of the subjects

Variables	EG (n=20)	CG (n=20)	p
Sex (M/F)	2 / 18	3 / 17	.643
Age (yrs)	72.60 ± 4.26^a	70.60 ± 5.13	.188
Weight (kg)	55.55 ± 11.69	60.25 ± 7.69	.143
OP (Lt./Rt.)	8 / 12	8 / 12	1.000

^aMean \pm SD, * $p < .05$, EG: Experimental group, CG: Control group, OP: Operation

2. 넙다리네갈래근의 근활성도

압력 생체피드백을 이용한 넙다리네갈래근 근력 운동 전후 및 집단 간 %MVIC 결과는 표 2와 같다. 실험군은 중재 전, $2.89 \pm 0.81\%$ MVIC, 중재 후, $4.35 \pm 1.19\%$ MVIC 로 통계적으로 유의한 변화가 나타났다($p < .000$). 대조군은 중재 전, $2.51 \pm 0.67\%$ MVIC, 중재 후, $3.52 \pm 0.72\%$ MVIC 으로 통계적으로 유의한 변화가 나타났다($p < .000$). 집단 간의 비교에서는 통계적으로 유의한 변화가 나타났다($p < .05$).

Table 2.
Comparison of quadriceps muscle activation within and between groups

Variables	EG (n=20)	CG (n=20)	p
Pre	2.89±.81 ^a	2.51±.67	.116
Post	4.35±1.19	3.52±.72	.011 [*]
Diff	-1.46±-.38	-1.01±-.05	.018 [*]
p	.000 ^{**}	.000 ^{**}	

^aMean(%MVIC)±SD, *p<.05, **p<.01, MVIC: Maximal voluntary isometric contraction, EG: Experimental group, CG: Control group, Diff: Difference

3. 무릎관절 폼의 관절 가동 범위

압력 생체피막임을 이용한 넙다리네갈래근 근력운동 전후 및 집단 간 ROM 결과는 표 3과 같다. 실험군은 중재 전, 170.30±4.27°, 중재 후, 178.00±1.75°로 통계적으로 유의한 변화가 나타났다(p<.000). 대조군은 중재 전, 169.95±3.56°, 중재 후, 176.35±2.93°로 통계적으로 유의한 변화가 나타났다(p<.000). 집단 간의 비교에서는 통계적으로 유의한 변화가 나타나지 않았다.

Table 3.
Comparison of ROM within and between groups

Variables	EG (n=20)	CG (n=20)	p
Pre	170.30±4.27 ^a	169.95±3.56	.780
Post	178.00±1.75	176.35±2.93	.037 [*]
Diff	-7.70±2.52	-6.40±.63	.152
p	.000 ^{**}	.000 ^{**}	

^aMean(°)±SD, *p<.05, **p<.01, ROM: Range of motion, EG: Experimental group, CG: Control group, Diff: Difference

4. 통증 척도의 변화

압력 생체피막임을 이용한 넙다리네갈래근 근력운동 전후 및 집단 간 VAS 결과는 표 4와 같다. 실험군은 중재 전, 5.95±1.79점, 중재 후는 2.45±1.10점으로 통계적으로 유의한 변화가 나타났다(p<.000). 대조군의 중재 전, 6.70±1.53점, 중재 후, 2.75±1.02점으로 통계적으로 유의한 변화가 나타났다(p<.000). 집단 간의 비교에서는 통계적으로 유의한 변화가 나타나지 않았다.

Table 4.
Comparison of pain score within and between groups

Variables	EG (n=20)	CG (n=20)	p
Pre	5.95±1.79 ^a	6.70±1.53	.162
Post	2.45±1.10	2.75±1.02	.397
Diff	3.50±.69	3.95±.51	.399
p	.000 ^{**}	.000 ^{**}	

^aMean(score)±SD, *p<.05, **p<.01, VAS: Visual analogue scale, EG: Experimental group, CG: Control group, Diff: Difference

5. 균형의 집단 간 전후 비교

압력 생체피막임을 이용한 넙다리네갈래근 근력운동 전후 및 집단 간 체중부하 결과는 표 5와 같다. 체중(kg)을 측정 후 이를 백분율(%)로 다시 분석하였다. 실험군은 중재 전, .32±.03%, 중재 후, .48±.05%로 통계적으로 유의한 변화가 나타났다(p<.000). 대조군은 중재 전, .28±.05%, 중재 후, .41±.06%로 통계적으로 유의한 변화가 나타났다(p<.000). 집단 간의 비교에서는 통계적으로 유의한 변화가 나타났다.

Table 5.
Comparison of balance ability within and between groups

Variables	EG (n=20)	CG (n=20)	p
Pre	.32±.03 ^a	.28±.05	.006 ^{**}
Post	.48±.05	.41±.06	.000 ^{**}
Diff	-.16±-.02	-.13±.01	.034 [*]
p	.000 ^{**}	.000 ^{**}	

^aMean(%)±SD, *p<.05, **p<.01, WB: Weight bearing, EG: Experimental group, CG: Control group, Diff: Difference

6. 보행속도에서 집단 간 전후 비교

압력 생체피막임을 이용한 넙다리네갈래근 근력운동 전후 및 집단 간 보행 결과는 표 6과 같다. 실험군은 중재 전, 31.75±5.49sec, 중재 후, 21.65±6.04sec로 통계적으로 유의한 변화가 나타났다(p<.000). 대조군은 중재 전, 30.20±5.48sec, 중재 후, 25.65±5.68sec로 통계적으로 유의한 변화가 나타났다(p<.000). 집단 간의 비교에서는 통계적으로 유의한 변화가 나타났다(p<.000).

Table 6.
Comparison of gait ability within and between groups

Variables	EG (n=20)	CG (n=20)	p	
10MWT	Pre	31.75±5.49 ^a	30.20±5.48	.378
	Post	21.65±6.04	25.65±5.68	.037
	Diff	10.10±-.55	4.55±-.20	.000 [*]
p	.000 [*]	.000 [*]		

^aMean(sec)±SD, *p<.05, **p<.01, 10MWT: 10m walk test, EG: Experimental group, CG: Control group, Diff: Difference

IV. 고찰

TKA 실시 후 초기 재활 과정에서 통증의 발생과 관절 가동범위의 제한, 근력 약화, 균형 능력의 감소가 발생한다(Christensen 등, 2018). 따라서 모든 재활 프로그램의 목적은 통증 조절, 운동 범위와 근력 향상, 보행을 개선하여 환자의 일상생활을 정서적으로 지원하는 것이다(Ranawat 등, 2003). 이에 따라 본 연구는 TKA를 시행한 환자 중 40명을 대상으로 4주간 발목 펌핑 운동과 압력 생체피드백을 이용한 넙다리네갈래근 등척성 운동을 적용하여 무릎 통증, 근력, 관절 가동 범위, 균형, 보행의 변화를 확인하고자 하였다.

근활성도에서 실험군은 중재 전 2.89±.81%MVIC, 중재 후 4.35±1.19%MVIC으로 증가하였고, 대조군은 2.51±.67%MVIC, 중재 후 3.52±.72%MVIC으로 증가하였다. 각 군 간의 중재 전과 후의 비교에서 유의한 변화가 나타났고(p<.05), 두 군 간의 중재 후의 비교에서 유의한 변화가 나타났다(p<.05). 시각 피드백과 고유수용성 감각 피드백이 개별적으로 운동조절에 긍정적인 영향을 미치지만, 고유수용성감각 피드백보다 시각 피드백이 더욱 강력한 효과를 보이며, 시각 피드백과 고유수용성감각 피드백의 중복사용은 고유수용성 감각 사용을 줄인다(Adams 등, 1975). Oh와 Hwangbo(2018)는 시각 피드백 기반 고유수용성 감각 훈련을 시각 아날로그 척도와 균형판 자체의 균형기능 검사로 측정하여 무릎 TKA 환자의 통증과 균형 기능에서 증진이 있었음을 확인하였다. Hwangbo(2015)은 성인 20명을 대상으로 시각 피드백 기반 스크트를 실시하여 넙다리네갈래근 근육활성 효과에 관한 연구를 6주간 시행하였는데, 시각 마커를 무릎뼈에 붙이고 90도 스크트를 수행한 군이 시각 마커 없이 90도 스크트를 수행한 군보다 실험군의 근육 활성도

가 더 높게 나타났다. 선행 연구 결과와 마찬가지로 본 연구에서도 시각적으로 압력 생체피드백을 이용한 중재를 적용했을 때 근 활성도가 매우 유의하게 증가했음을 확인할 수 있었다.

관절가동범위에서 실험군은 중재 전 170.30±4.27°, 중재 후 178.00±1.75°으로 증가하였고, 대조군은 169.95±3.56점, 중재 후 176.35±2.93°으로 증가하였다. 각 군 간의 중재 전과 후의 비교에서 유의한 변화가 나타났고(p<.05), 두 군 간의 중재 후의 비교에서 유의한 변화가 나타났다(p<.05). Kubota 등(2022)은 TKA 수술 후 4시간 안에 무릎 펌 근력운동을 동반한 운동 프로그램을 적용하였고 대조군에게는 수술 2일 후부터 운동 프로그램을 적용하여 비교하였다. 3주 후 평가에서 실험군과 대조군 모두에서 최대 각도가 유의하게 증가하였으며, 24주 후에는 실험군이 대조군에 비해 유의한 차이로 향상되었으며, 수술 1년 후에는 대조군보다 유의하게 증가하였다. Pozzi 등(2020)은 TKA 환자 165명을 대상으로 점진적 저항 훈련을 시행하였고 관절 가동범위에서 유의한 향상을 확인하였다. TKA 초기에 적극적인 운동 치료는 관절 가동범위 증가에 긍정적 영향을 미치는 것으로 생각된다.

Min 등(2011)은 TKA 환자 30명을 대상으로 무릎 근력강화 운동 프로그램을 적용한 결과 무릎 통증에 감소를 보였다. Gstoettner 등(2011)과 Piva 등(2010)의 선행 논문에서도 슬링운동군에 동적 균형 훈련이 무릎 통증 개선에서 유의한 효과를 보였다. 본 연구에서도 통증의 변화는 실험군은 중재 전 5.95±1.79점, 중재 후 2.45±1.10점으로 감소하였고, 대조군은 중재 전 6.70±1.53점, 중재 후 2.75±1.02점으로 감소하였고, 각 군 간의 중재 전과 후의 비교에서 유의한 변화가 나타나(p<.05) 선행연구와 유사한 결과를 얻었다. 그러나 두 군 간의 중재 전과 후의 비교에서 유의한 변화는 나타나지 않았다(p>.05).

균형에서 실험군은 중재 전 .32±.03%, 중재 후 .48±.05%으로 증가하였고, 대조군은 .28±.05%, 중재 후 .41±.06%으로 증가하였다. 각 군 간의 중재 전과 후의 비교에서 유의한 변화가 나타났고(p<.05), 두 군 간의 중재 전과 후의 비교에서 유의한 변화가 나타났다(p<.05).

보행속도 시간 검사에서 실험군은 중재 전 31.75±5.49sec, 중재 후 21.65±6.04sec으로 감소하였고, 대조군은 30.20±5.48sec, 중재 후 25.65±5.68sec으로 감소하였다. 각 군 간의 중재 전과 후의 비교에서 유의한 변화가 나타났고(p<.05), 두 군 간의 중재 후의

비교에서 유의한 변화가 나타났다($p < .05$). Lee 등(2018)은 TKA 환자에게 체간 안정화 운동을 실시한 결과 무릎 기능, 균형, 보행 능력에 유의한 차이를 확인하였고, Ryu(2017)도 슬링을 이용하여 TKA 환자의 가동범위, 통증, 균형, 보행에 미치는 영향에 관한 연구에서 기계를 이용한 수동관절 운동그룹보다 슬링 운동을 병행하는 그룹에서 더 효과적임을 확인하였다. TKA 이후 특히 보행 능력에서 보행속도는 3분의 1까지 감소하고, 6분 걷기 검사에서는 20% 감소하였다(Bolanos 등, 1998; Moffet 등, 2019). 이러한 수술 이후 보행 능력의 문제는 수술 초기 하지 근력의 회복으로 보행 능력을 개선하고 일상 생활에서의 기능적인 보행 능력을 향상시킬수 있다(Meier 등, 2008). 이처럼 대부분의 선행 연구들에서 본 연구 결과와 같이 적극적인 운동치료가 균형과 보행에 긍정적 영향을 미침을 알 수 있었다.

TKA 이후 초기에 급격한 하지 근력의 감소가 나타남에도 불구하고(An 등, 2021), 일반적으로 수술 이후 초기 운동 치료들은 적은 강도의 운동 방식과 수술 후 늦은 시기부터 운동치료를 제공함으로써 효과적으로 신체 기능을 향상시키기에 효과적이지 않았다(Bandholm과 Kehlet, 2012). 따라서 초기 운동치료를 신체기능을 효과적으로 향상하기 위한 운동프로그램 중 압력 생체피드백을 이용한 운동치료를 고려해야 할 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점으로는 퇴행성관절염 진단을 받고 TKA를 시행한 대상자 40명을 대상으로 하여 모든 TKA 환자에게 일반화하여 적용하기는 어려웠다. 또한 내원 기간을 고려하여 4주간 중재를 적용할 수밖에 없어 장기 간 효과를 판단할 수가 없었다. 따라서 TKA를 시행한 환자를 대상으로 연구와 추적 관찰을 하여 초기 운동이 장기간에도 효과가 있는지 연구가 필요할 것으로 생각된다.

V. 결론

본 연구는 TKA를 시행한 환자 중 40명을 대상으로 발목펌핑 운동과 압력 생체피드백을 이용한 넙다리네갈래근 근력운동을 적용하여 근활성도, 각도, 통증, 균형, 보행의 변화를 확인하고자 하였다.

1. 통증은 실험군과 대조군 간의 전·후 비교에서 집단 내 중재 전·후에서 유의한 변화가 나타났고, 집단 간의 비교에서 유의한 차이가 나타나지 않았다.
2. 넙다리네갈래근의 근활성도에서는 실험군과 대조군 간의 전·후 비교에서 집단 내 중재 전·후에서 유의

한 변화가 나타났고, 중재 후에 실험군이 대조군에 비해 더 큰 근활성도의 변화를 보였다.

3. 무릎관절 펌핑 관절가동범위는 실험군과 대조군 간의 전·후 비교에서 집단 내 중재 전·후에서 유의한 변화가 나타났고, 집단 간의 비교에서 유의한 차이가 나타나지 않았다.
4. 균형에서는 실험군과 대조군 간의 전·후 비교에서 집단 내 중재 전·후에서 유의한 변화가 나타났고, 중재 후에 실험군이 대조군에 비해 더 큰 양하지 체중에 차이를 보였다.
5. 보행속도 시간 검사에서는 실험군과 대조군 간의 전·후 비교에서 집단 내 중재 전·후에서 유의한 변화가 나타났고, 집단 간의 비교에서 유의한 차이가 나타났다. 실험군이 대조군에 비해 보행속도 시간이 더 크게 감소하였다.

위의 결과를 토대로 TKA를 시행한 환자를 대상으로 무릎관절에 발목펌핑 운동과 압력 생체피드백을 이용한 넙다리네갈래근 근력운동을 시행한 실험군이 근활성도, 균형, 보행에서 유의한 효과가 있었고, 통증과 관절가동범위는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 임상에서 TKA 후 초기 운동프로그램의 기초 자료로 제시할 수 있다고 생각된다.

참고문헌

- Adams JA, Gopher J D, Lintern G. The effects of visual and proprioceptive feedback on motor learning. *Proc Hum Factors Soc Annu Meet.* 1975;19(2):11-22. <https://doi.org/10.1177/154193127501900204>.
- An J, Ryu HK, Lyu SJ, et al. Effects of preoperative telerehabilitation on muscle strength, range of motion, and functional outcomes in candidates for total knee arthroplasty: A single-blind randomized controlled trial. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(11):6071. <https://doi.org/10.3390/ijerph18116071>.
- Bade MJ, Kohrt WM, Stevens-Lapsley JE. Outcomes before and after total knee arthroplasty compared to healthy adults. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2010;40(9):559-567. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3317>.

Lee et al. Effects of Quadriceps Muscle Strength Exercise with Pressure Biofeedback on Muscle Activity, Range of Motion, Pain, Balance and Gait in Patients with Total Knee Arthroplasty.

- Bandholm T, Kehlet H. Physiotherapy exercise after fast-track total hip and knee arthroplasty: Time for reconsideration? *Arch Phys Med Rehabil.* 2012;93(7):1292-1294. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.02.014>.
- Berman AT, Bosacco SJ, Israelite C. Evaluation of total knee arthroplasty using isokinetic testing. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;271:106-113.
- Bolanos AA, Colizza WA, McCann PD, et al. A comparison of isokinetic strength testing and gait analysis in patients with posterior cruciate-retaining and substitution knee arthroplasties. *J Arthroplasty.* 1998;13(8):906-915. [https://doi.org/10.1016/s0883-5403\(98\)90198-x](https://doi.org/10.1016/s0883-5403(98)90198-x).
- Christensen JC, Mizner RL, Foreman KB, et al. Quadriceps weakness differentially predicts detrimental gait compensations among common impairments after total knee arthroplasty. *J Orthop Res.* 2018;36(9):2355-2363. <https://doi.org/10.1002/jor.23894>.
- Dennis DA, Komistek RD, Mahfouz MR, et al. Multicenter determination of in vivo kinematics after total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2003;416:37-57. <https://doi.org/10.1097/10.1097/01.blo.0000092986.12414.b5>.
- Goodfellow J, O'Connor J, Murray DW. The Oxford meniscal unicompartmental knee. *J Knee Surg.* 2002;15(4):240-246.
- Gstoettner M, Rashner C, Dirnberger E, et al. Preoperative proprioceptive training in patients with total knee arthroplasty. *Knee.* 2011;18(4):265-270. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2010.05.012>.
- Harato K, Nagura T, Mastumoto H, et al. Extension limitation in standing affects weight-bearing asymmetry after unilateral total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2010;25(2):225-229. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2009.02.003>.
- Harato K, Otani T, Nakayama N, et al. When does postoperative standing function after total knee arthroplasty improve beyond preoperative level of function. *Knee.* 2009;16(2):112-115. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2008.10.008>.
- Horstmann H, Colcuc C, Lobenhoffer P, et al. Evaluation of the acceptability of a sphygmomanometer device in knee extension training following surgical procedures of the knee. *Int J Orthop Trauma Nurs.* 2017;25:41-47. <https://doi.org/10.1016/j.ijotn.2016.10.003>.
- Hwangbo PN. The effects of squatting with visual feedback on the muscle activation of the vastus medialis oblique and the vastus lateralis in young adults with an increased angle. *J Phys Ther Sci.* 2015;27(5):1507-1510. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.1507>.
- Jeong SG, Lee SB, Lee HJ. Effect of joint mobilization with movement for ankle joint inversion on knee pain, ankle joint range of motion, balance, and gait: Total knee arthroplasty patients. *Kor Acad Ortho Man Phys Ther.* 2024;30(2):85-94. <https://doi.org/10.23101/kaompt.2024.30.2.85>.
- Kim DY, Kim SH, Lim YE, et al. Effect of EMG biofeedback training and taping on vastus medialis oblique for function improvement of patient with patella malalignment. *J Kor Soc Phys Ther.* 2008a;20(3):35-44.
- Kim TY, Won SH, Park HS. The comparison of quadriceps femoris muscle strength by isometric exercise and electrical stimulation in healthy subjects. *Kor Acad Ortho Man Phys Ther.* 2008b;14(1):31-38.
- Kirnap M, Calis M, Turgut AO, et al. The efficacy of EMG-biofeedback training on quadriceps muscle strength in patients after arthroscopic meniscectomy. *N Z Med J.* 2005;118(1224):U1704.
- Kisner C, Colby LA. *Therapeutic Exercise.* F.A. Davis Company. Philadelphia. 4th ed. 2020.

- Kubota M, Kokubo Y, Miyazaki T, et al. Effects of knee extension exercise starting within 4 h after total knee arthroplasty. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2022;32(5):803-809. <https://doi.org/10.1007/s00590-021-03042-9>.
- Labraca NS, Castro-Sánchez AM, Matarán-Penarrocha GA, et al. Benefits of starting rehabilitation within 24 hours of primary total knee arthroplasty: Randomized clinical trial. *Clin Rehabil.* 2011;25(6):557-566. <https://doi.org/10.1177/0269215510393759>.
- Lee JH, Min DK, Lee SJ. The effects of trunk stability exercise on knee function, balance, gait in patients after total knee arthroplasty. *J Korea Acad Ind Coop Soc.* 2018;19(2):422-428. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.2.422>.
- MacDonald SJ, Bournce RB, Rorabeck CH, et al. Prospective randomized clinical trial of continuous passive motion after total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2000;380:30-35. <https://doi.org/10.1097/00003086-200011000-00005>.
- Meier W, Mizner RL, Marcus RL, et al. Total knee arthroplasty: muscle impairments, functional limitations, and recommended rehabilitation approaches. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2008;38(5):246-256. <https://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2008.2715>.
- Min HS, Jung YH, Kim ES, et al. Effects of muscle strengthening exercise program on pain, fatigue, physical function in elderly women with total knee arthroplasty. *J Muscle Joint Health.* 2011;18(2):203-214. <https://doi.org/10.5953/JMJH.2011.18.2.203>.
- Mizner RL, Snyder-Mackler L. Altered loading during walking and sit to stand is affected by quadriceps weakness after total knee arthroplasty. *J Orthop Res.* 2005;23(5):1083-1090. <https://doi.org/10.1016/j.orthres.2005.01.021>.
- Mizner RL, Petterson SC, Stevens JE, et al. Early quadriceps strength loss after total knee arthroplasty, The contributions of muscle atrophy and failure of voluntary muscle activation. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(5):1047-1053. <https://doi.org/10.2106/JBJS.D.01992>.
- Moffet H, Bernard S, Choinière F, et al. Reference Values for Pain and Range of Motion and Exercise Profiles after Total Knee Arthroplasty: Results from a Randomized Controlled Trial. *Phys Med Rehabil Int.* 2019;6(2):1165.
- National Health Insurance Service. Main Surgery Statistical Yearbook 2024.
- Oh HT, Hwangbo G. The effects of proprioception exercise with and without visual feedback on the pain and balance in patients after total knee arthroplasty. *J Phys Ther Sci.* 2018;30(1):124-126. <https://doi.org/10.1589/jpts.30.124>.
- Park DJ, Kim JH, Lee HO. Effectiveness of modified quadriceps femoris muscle setting exercise for the elderly in early rehabilitation after total knee arthroplasty. *J Phys Ther Sci.* 2012;24(1):27-30. <https://doi.org/10.1589/jpts.24.27>.
- Park J. Effects of resistance exercise with pressure biofeedback unit on the gait ability and knee joint function in subject with total knee replacement patients. *J Kor Phys Ther* 2024;36(1):27-32. <https://doi.org/10.18857/jkpt.2024.36.1.27>.
- Park SK, Kim JH. Effects of EMG-biofeedback training on total knee replacement patients' lower extremity muscle activity and balance. *J Kor Phys Ther.* 2013;25(2):81-87.
- Piva SR, Gil AB, Almeida GJM, et al. A balance exercise program appears to improve function for patients with total knee arthroplasty: A randomized clinical trial. *Phys Ther.* 2010;90(6):880-894. <https://doi.org/10.2522/ptj.20090150>.
- Pozzi F, White DK, Snyder-Mackler L, et al.

Lee et al. Effects of Quadriceps Muscle Strength Exercise with Pressure Biofeedback on Muscle Activity, Range of Motion, Pain, Balance and Gait in Patients with Total Knee Arthroplasty.

- Restoring physical function after knee replacement: a cross sectional comparison of progressive strengthening vs standard physical therapy. *Physiother Theory Pract.* 2020;36(1):122-133. <https://doi.org/10.1080/09593985.2018.1479475>.
- Ranawat CS, Ranawat AS, Meththa A. Total knee arthroplasty rehabilitation protocol: What makes the difference? *J Arthroplasty.* 2003;18(3):27-30. <https://doi.org/10.1054/arth.2003.50080>.
- Ryu JJ. The Effects of Sling Exercise on the Range of Motion, Pain, Balance, and Gait Ability Following Total Knee Replacement. Namseoul University. Master Thesis. 2017.
- Song HB, Park GH. Effects of muscle energy technique on knee extensor muscle strength knee range of motion, balance and walking ability in elderly women during the chronic phase after total knee replacement. *Kor Acad Ortho Man Phys Ther.* 2021;27(2):55-67. <https://doi.org/10.23101/kaompt.2021.27.2.55>.
- Steffen TM, Hacker TA, Mollinger L. Age-and gender-related test performance in community dwelling elderly people: Six-minute walk test, berg balance scale, timed up & go test, and gait speeds. *Phys Ther.* 2002;82(2):128-137. <https://doi.org/10.1093/ptj/82.2.128>.
- Wagner DR, Tatsugawa K, Parker D, et al. Reliability and utility of a visual analog scale for the assessment of acute mountain sickness. *High Alt Med Biol.* 2007;8(1):27-31. <https://doi.org/10.1089/HAM.2006.0814>.
- Yim SJ, Min KD, Lee YK, et al. Efficacy of physiotherapist after total knee arthroplasty. *Knee Surg Relat Res.* 2009;21(4):258-264.
- Yoon JS. The Effect of Quadriceps Isometric Exercise Method on Pain, Muscle Strenth and Balance of Early Phase of Total Knee Arththroplasty Patients. Daegu University. Master Thesis. 2016.
- Yoshida Y, Zeni J, Snyder-Mackler L. Do patients achieve normal gait patterns 3 years after total knee arthroplasty? *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012;42(12):1039-1049. <https://doi.org/10.2519/jospt.2012.3763>.
- Yun JY, Lee JK. Effects of a thera-band exercise program on pain, knee flexon rom, and psychological parameters follwing total knee arthroplasty. *J Kor Acad.* 2015;45(6):823-833. <http://doi.org/10.4040/jkan.2015.45.6.823>.
- Zhou Z, Yew KS, Arul E, et al. Recovery in knee range of motion reaches a plateau by 12 months after total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(6):1729-1733. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3212-1>.

논문접수일(Date received) : 2025년 07월 31일
논문수정일(Date Revised) : 2025년 08월 11일
논문게재확정일(Date Accepted): 2025년 08월 18일