

A Study on the Effectiveness of Home-Based Virtual Reality Rehabilitation Training Content for Elderly Individuals with Degenerative Arthritis

SoungKyun Hong^{a*} 

^aDepartment of physical therapy, College of health sciences, Woosuk University

Objective: This study was conducted to investigate the effectiveness of a home-based virtual reality rehabilitation training program for elderly individuals with degenerative arthritis. The program aimed to assess its impact on muscle strength, joint range of motion, and balance.

Design: A randomized controlled trial.

Methods: A total of 16 adults aged 20 years and older participated in the study. Participants were selected through a randomization program and assigned to a fully immersive virtual reality training program group (n=8) and a traditional rehabilitation training program group (n = 8). All the subjects were trained three times per week, over four weeks. To compare effects, muscle strength, range of motion(ROM), balance were measured before and after the knee replacement.

Results: The based on fully immersive virtual reality training program group had a statistically significant increase in muscle strength(p<.05), ROM(p<.01), and balance (p<.01). And the traditional rehabilitation training program group was experienced a decrease muscle strength(p<.05), ROM(p<.01). The inter-group difference based on the intervention method showed a significant increase muscle strength(p<.001), ROM(p<.01), and balance(p<.01) in the experimental group (p<.001).

Conclusions: It is suggested that training using a home-based virtual reality rehabilitation program may be utilized as an effective intervention method for early rehabilitation in patients undergoing total knee arthro-plasty.

Key Words: virtual reality, total knee replacement

서론

전 세계적으로 의료 기술과 생활수준이 향상되고 평균 수명이 늘어남에 따라 대부분의 사람들은 노년기에 여러 만성 질환들을 겪게 되며, 그 중 골관절염은 65세 이상 인구에서 유병률이 53%에 달할 만큼 흔한 질환이자 삶의 질을 저하시키는 대표적인 노인성 질환으로, 신체 다른 관절과 비교 시 체중 부하를 받는 비중이 더 높은 무릎 관절에서 82.6%가 발생한다고 알려져 있다.[1]

퇴행성 무릎관절염의 치료로는 약물적 중재와 비약물적 중재 그리고 수술적 중재가 사용되고 있으며 수술적 중재로 사용되어지는 무릎관절 전치환술은 퇴행성 무릎

관절염의 치료를 위한 가장 일반적인 수술방법으로 무릎관절면의 노화로 인하여 무릎의 관절면을 금속 재질의 인공 대체물로 교환하는 것이며[2], 통증 완화, 관절 움직임의 향상, 무릎관절의 정렬 유지와 안정성을 위해 시행되고 있다. 하지만, 수술 후에 발생하는 통증, 관절 가동범위의 감소, 근력 약화, 고유수용성 감각 저하, 균형이나 보행 장애와 같은 합병증을 야기할 수 있어[3], 정상적인 보행을 위한 통증 경감과 관절가동범위 증가, 무릎관절의 기능적 수행능력 증진 등과 같은 최적의 수술 효과를 얻기 위해서는 가능한 조기에 운동을 시작하는 것이 권장되어지고 있다.[4]

무릎관절 전치환술을 시행한 환자에게 주로 시행되는

Received: Dec 11, 2023 Revised: Dec 26, 2023 Accepted: Dec 27, 2023

Corresponding author: SoungKyun Hong (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7581-6122>)

Department of Physical Therapy, Woosuk University, 443, Samnye-ro, Samnye-eup, Wanju-gun, Jeollabuk-do, Republic of Korea, 55338 Republic of Korea
Tel: +82-63-290-1657 E-mail: popory77@woosuk.ac.kr

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.

Copyright © 2023 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science

운동 프로그램은 오타고 운동, 고유수용성신경근촉진법, 슬링운동, 장애물 보행운동, 등척성 운동 등이 시행되고 있으며, 다양한 운동 프로그램이 무릎관절 전치환술을 시행한 환자에게 적용되고 있지만 최적의 운동프로그램을 중재하기 위해서는 최근 연구를 바탕으로 더욱 체계적이고 정량적인 비교가 필요한 실정이며[5,6,7], 그 중에서도 새로운 과학기술을 적용한 재활 프로그램인 메타버스와 같은 과학적 운동재활 프로그램 개발 선점을 위한 노력과 필요성이 꾸준히 제기되고 있다.[8]

최근 가상현실을 이용한 재활 훈련은 다양한 환자군들에게 적용되고 있으며 이는 실시간으로 변화하는 가상 현실 환경 속 눈앞에 나타나는 과제를 수행하기 위해, 착용하고 있는 헤드마운트 디스플레이를 통하여 자신의 시각의 변화에 대한 정보와 양손에 가지고 있는 모션 컨트롤러의 움직임을 통해 실시간으로 반영되는 결과를 확인하는 형태로, 환자 스스로 흥미와 동기 부여를 느끼고, 시각과 청각, 촉각 등의 피드백을 통해 운동에 대한 접근과 운동의 효과를 증가시킬 수 있는 것으로 보고되어지고 있다.

이동규 등은 파킨슨병 대상자에게 가상현실 운동프로그램을 이용하여 균형 및 근력에 미치는 효과에 대해 알고자 하였고[9], 신원섭 등은 뇌손상 대상자에게 가상현실을 이용한 재활운동을 통하여 하지근력과 균형에 미치는 긍정적인 효과를 보고하였다[10]. 또한 윤삼원은 무릎관절 전치환술을 받은 대상자 중 그룹을 나누어 대조군에는 CPM을 이용한 기계치료와 운동치료를 적용하고 실험군에게는 CPM기계와 운동치료를 적용 후 추가로 가상현실 운동프로그램을 적용하여 균형과 보행 능력에 미치는 효과를 확인하였다[11]. 하지만 위와 같이 기존의 가상현실을 이용한 선행 연구들은 중추신경계 손상 환자와 노인들을 대상으로 시행되었으며, 근골격계 질환 및 수술을 받은 환자에게 적용한 연구는 미미한 실정으로, 특히 대부분의 무릎관절 전치환술의 대상이 되는 노인 퇴행성 관절염 환자에서 완전몰입형 가상현실 훈련을 적용한 연구는 더욱 부족한 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 무릎관절 전치환술을 받은 노인 퇴행성 관절염 환자에게 완전 몰입형 가상현실 게임을 이용한 재활훈련 프로그램이 근력, 관절가동범위 및 균형에 미치는 콘텐츠의 유효성에 대해 알아보하고자 하였다.

연구방법

1. 연구설계

본 연구는 무릎관절 전치환술을 받은 노인 퇴행성 관

절염 환자들에게 몰입형 가상현실 게임을 이용한 훈련 프로그램을 적용한 실험군과 전통적인 물리치료 방법을 적용한 대조군을 비교하여 몰입형 가상현실 게임을 이용한 훈련프로그램이 무릎관절의 근력, 관절가동범위 및 균형에 미치는 효과를 규명하기 위한 무작위 대조군 전후 실험설계이다.

2. 연구 대상자

본 연구는 우석대학교 기관생명윤리위원회의 심사 승인 후 연구를 진행 하였으며(WS-2023-06), 2023년 6월부터 2023년 11월까지 부산 소재 B병원에서 본 연구의 대상자 조건을 충족하는 16명의 무릎관절 전치환술을 받은 노인 퇴행성 관절염 환자를 대상으로 진행하였다. 연구 기간은 주 3회씩 4주로 총 12회이며, 훈련 전·후로 사전 평가 및 사후 평가를 진행하였다. 대상자의 선정 기준은 만 65세 이상의 중등도 이상의 퇴행성 관절염 진단 후 편측 무릎관절 전치환술을 받은 환자, 편측 무릎관절 전치환술 2주 후 최소 10m 이상을 보조도구 없이 독립적으로 보행이 가능한 자, 연구의 목적과 방법을 이해하고 실험 참여 동의서에 서명한 자로 하였으며, 이 중 과거 무릎관절 전치환술 경험이 있는 자, 수술 후 감염 등 다른 부위에 통증이 있는 자, 무릎이 아닌 다른 부위에 통증이 있는 자, 균형이나 근력 등에 영향을 줄 수 있는 약물을 복용하고 있는 자는 제외하였다.

3. 측정방법

실험군과 대조군 모두 훈련 전과 후에 무릎관절의 근력, 관절가동범위 및 균형을 측정하여 변화가 있는지 확인하였다.

1) 무릎 관절의 근력

하지의 근력 평가를 위해 바이오텍스(Biodex medical systems, USA)를 이용하여 최대 회전력을 측정하였다. 최대 회전력은 하나의 근육군이 전체 가동 범위에서 발휘된 회전력 곡선의 가장 높은 지점이며, 단위는 ft-lbs 또는 N-m 이다. 대상자들은 검사대에 앉은 후 정확한 측정을 위해 회전축과 대상자의 무릎관절 축을 일치시켰으며 굽힘과 펴 운동을 반복할 때 하지를 제외한 다른 신체 부위의 보상작용이 일어나지 않도록 고정띠를 이용하여 가슴과 복부 및 허벅지 부위를 고정시키고 운동의 힘점인 발목관절의 바깥쪽 외과 위 1cm 부근에 레버암을 묶고 굽힘 및 펴 운동을 통해 측정 하였다. 검사 프로토콜은 Simões 등(2010)이 절대 근력 지표로 보고한 각속도 60°/sec에서 단축성 수축을 시행하였으며, 본



Figure 1. General Characteristics of Participants

검사의 검사-재검사 간의 신뢰도는 ICC = 0.90로 높은 신뢰도를 나타낸다[12](Figure 1).

2) 관절가동범위

무릎관절의 관절가동범위 검사를 위해 무릎관절의 굽힘 각도의 정확한 각도 표시를 위하여 스마트폰 각도기 어플리케이션(각도기 및 각도게이지, Toolkit, 한국)을 사용하였으며 본 검사의 검사-재검사 간의 신뢰도는 ICC = 0.96으로 높은 신뢰도를 나타낸다[13].

3) 균형검사

균형 검사를 위해 버그 균형 척도를 사용하였으며 이는 노인의 균형을 측정하기 위하여 개발된 것으로 평가 문항으로 총 14개의 항목에 0~4점의 5점 척도로 구성되며, 정적 및 동적 균형을 측정할 수 있음다. 이 도구의 검사자 내 신뢰도와 검사자 간 신뢰도는 각각 $r = .98$, $r = .97$ 이다[14].

4. 중재방법

본 연구에서는 모든 대상자에게 수술 후 1일부터 무릎의 지속적 수동 운동 장비를 이용하여 하루에 30분씩 각도 운동을 시켰으며 수술 후 1주일 후 부터 실험군에게는 일반적인 물리치료 30분 후 완전 몰입형 가상현실 게임을 이용한 훈련을 20분간 진행하였다. 가상훈련은 10분씩 2회로 나누어 진행하였으며, 사이에 5분간의 휴식을 주어 피로감 및 어지러움증을 예방하도록 하였다. 대조군에게는 지속적 수동 운동 장비를 제외한 일반적인 물리치료만 50분간 실시하였다.

1) 완전몰입형 가상현실 게임 훈련

연구에 사용된 완전 몰입형 가상현실 게임 장비는 Meta Quest2(CUH-7117B, Meta, USA) 머리에 착용하는 헤드마운트 디스플레이(CUH-ZVR2, Meta, USA), 모션 컨트롤러(CECH-ZCM2G, Meta, USA)로 구성되어 있으며, 72인치 LCD TV를 영상 표시 장치로 사용하였다. 대상자는 낙상의 위험 요소가 없는 넓은 공간에서 헤드마운트 디스플레이를 머리에 맞게 착용한 후 머리가 움직이는 변화에 따라 실시간으로 달라지는 가상현실 환경 속 눈앞에 나타나는 과제를 수행하였으며, 착용하고 있는 헤드마운트 디스플레이를 통하여 자신의 움직임과 양손에 가지고 있는 모션 컨트롤러의 움직임을 통해 실시간으로 반영되는 결과를 확인하였다. 또한 헤드마운트 디스플레이에 같이 부착 되어있는 이어폰을 통해 제공되는 청각적인 효과를 통해 현실감을 더 제공해 주었다. 본 연구에 이용된 가상현실게임 콘텐츠는 ping pong 및 OHSHAPE라는 게임으로 pin-pong의 경우 반대쪽에서 날아오는 공을 받아 넘기기 위한 정확한 상체의 움직임을 뒷받침하기 위해서 하체를 계속적으로 이동해야 하기 때문에 허벅지를 비롯한 하체부위의 근력에 계속적인 자극을 통한 근력증가 효과를 기대할 수 있으며, OHSHAPE는 화면 앞쪽에서 다가오는 벽에 사람 모양 구멍이 뚫어져 있어 이 구멍 모양에 맞춰 정확한 자세를 잡는 게임이며 다가오는 구멍에 정확한 자세를 트래킹하기 위해서 정해진 위치로 정확히 발을 움직이는 것으로 관절의 위치 감각을 최대한 이용해야 하는 게임으로 하체의 고유수용성감각 증가 효과를 기대할 수 있다.

2) 일반 물리치료

일반 물리치료는 무릎에 관절 범위 가동 운동 10분(수동 운동 5분, 능동 운동 5분), 넵다리네갈래근의 근력 강화를 위한 운동 10분, 균형 패드를 이용한 균형 운동 5분, 보행 운동 5분으로 구성되었으며 그 외에 경피신경자극치료기와저출력레이저 치료를 각 10분씩 적용하였다.

자료분석

본 연구에서 통계적 분석은 SPSS 18.0을 이용하였으며, 모든 자료들은 Shapiro-Wilk test 검정 방법을 이용해 정규성 검정을 실시 하였다. 그룹 내 훈련에 따른 종속 변수의 전과 후 비교를 위하여 대응표본 t 검정을 실시 하였으며, 실험군과 대조군의 중재 방법에 따른 그룹 간 종속 변수의 차이를 비교를 위하여 독립표본 t 검정을 실시하였다. 통계적 유의 수준은 .05 이하로 설정하였다.

연구결과

본 연구에 참여한 참가자들의 일반적인 특성은 다음과 같다(Table 1).

실험군의 중재 전 근력은 41.61 N-m에서 중재 후 45.20 N-m로 증가하였으며 통계적으로 유의한 변화가 나타났다($p < .05$). 대조군은 33.49 N-m에서 중재 후 32.14 N-m로 감소하였으며 통계적으로 유의한 변화가 나타나지 않았다. 또한 중재 방법에 따른 그룹 간의 차이는 실험군에서 유의하게 증가된 결과를 보였다($p < .001$).

실험군에서 관절각도의 변화는 중재 전 100.64 ± 11.410 에서 중재 후 104.30 ± 10.900 로 증가하였으며 통계적으로 유의한 변화가 나타났다($p < .01$). 대조군은 110.36 ± 13.050 에서 중재 후 105.31 ± 16.090 로 감소하였으며 통계적으로 유의한 변화가 나타났다($p < .05$). 그리고 중재 방법에 따른 그룹 간의 차이는 실험군에서

유의하게 증가된 결과를 보였다($p < .01$).

실험군의 중재 전 균형능력은 46.04 ± 4.90 (점)에서 중재 후 51.16 ± 4.18 (점)으로 증가하였으며 통계적으로 유의한 변화가 나타났다($p < .01$). 대조군은 50.31 ± 3.27 (점)에서 중재 후 48.48 ± 3.31 (점)으로 감소하였으며 통계적으로 유의한 변화가 나타났다($p < .05$). 또한 중재 방법에 따른 그룹 간의 차이는 실험군에서 유의하게 증가된 결과를 보였다($p < .001$)(Table 2).

논의

본 연구는 퇴행성 관절염 노인용 가정 기반의 가상현실 이용 재활훈련 프로그램이 근력, 관절가동범위 및 균형에 미치는 콘텐츠의 유효성에 대해 알아보려고 하였다. 그 결과로 VR을 이용한 운동을 적용한 실험군에서 근력, 관절가동범위, 균형능력에서 중재 전과 후 긍정적인 변화의 차이를 보였다.

무릎의 퇴행성 변화로 인해 무릎관절 전 치환술을 받은 환자들은 유병기간의 따른 만성적인 대퇴사두근의 약화와 위축을 겪으며[15], 무릎관절 치환술을 받는 환자의 대부분이 고령임을 고려하면 수술 전 근력 상태를 정확히 평가하고 수술 후 떨어진 근력을 재활 운동을 통하여 활성화 시키는 것은 매우 중요하다고 하겠다.

Lee 등 [16]이 보고한 바에 따르면 가상현실을 이용한 훈련이 지역사회 노인들의 하지근력에 도움을 주었다는 연구 결과와, 가상현실을 통한 운동이 척수손상 환자의 하지 근력증가를 가져 왔다는 Micheal 등 [17]의 연구 결과를 통하여서도 가상현실 훈련이 무릎관절 전 치환술을 받은 환자의 근력증가에 긍정적인 영향을 미쳤다는 본 연구의 결과를 뒷받침하고 있으며, 이는 수술 후 강도 높은 재활이 쉽지 않은 고령의 노인들에게 통증으로 인한 신경의 분산과 체중 이동 훈련 등과 같이 재활초기에 가능한 운동들을 흥미와 동기유발에 도움을 주었기 때문이라고 생각되어진다.

인공관절 전치환술로 인해 발생하는 여러 가지 문제

Table 1. General Characteristics of Participants

(n=16)

| Characteristics | Study group (n=8) | Control group (n=8) |
|-------------------------|----------------------|------------------------|
| Age(years) | 66.00 ± 2.35 | 67.20 ± 2.39 |
| Height(cm) | 156.60 ± 8.02 | 152.80 ± 2.95 |
| Weight(kg) | 56.80 ± 5.54 | 65.80 ± 6.72 |
| BMI(kg/m ²) | 23.12 ± 0.75 | 28.29 ± 2.76 |

The values are presented mean±SD

Table 2. Comparison of Muscle strength, ROM, Balance changes before and after intervention of groups and between groups (n=16)

| Variables | | Experimental Group (n=8) | Control Group (n=8) | t |
|--------------------------|--------|-----------------------------|------------------------|----------|
| Muscle Strength (N-m) | Pre | 41.61± .16.83 | 33.49 ± 9.04 | 1.203 |
| | Post | 45.20 ± 17.37 | 32.14 ± 10.26 | |
| | change | -3.59 ± 3.58 | 1.35 ± 4.45 | 5.694*** |
| | t | -2.833* | .858 | |
| Flexion(°) | Pre | 100.64 ± 11.41 | 110.36 ± 13.05 | -1.714 |
| | Post | 104.30 ± 10.90 | 105.31 ± 16.09 | |
| | change | -3.66 ± 2.16 | 5.04 ± 4.83 | 4.349** |
| | t | -4.793** | 2.725* | |
| Balance (point) | Pre | 46.04 ± 4.90 | 50.31 ± 3.27 | -2.054 |
| | Post | 51.16 ± 4.18 | 48.48 ± 3.31 | |
| | change | -5.12 ± 3.45 | 1.84 ± 1.52 | 5.222*** |
| | t | -4.201** | 3.419* | |

The values are presented mean (SD)

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

점 중 무릎 관절 굽힘의 제한은 수술환자의 재활을 위한 운동성에 큰 영향을 미치는 요인 중 하나이다[18]. 무릎의 인공관절 전치환술 후 발생하는 극심한 통증과 불편감은 수동적인 근수축에 영향을 미치며 이는 점차 다리 근육이 약화와 관절가동범위의 감소를 일으켜, 환자의 52%가 한달 이내에 기능적 활동 제한의 문제점을 만든다[19]. 따라서 가능한 수술 조기에 운동을 시작할 것을 권장하고 있으며, 가상현실을 이용한 고유수용성 감각을 비롯한 관절가동범위의 증가를 보고한 Deblock-Bellamy 등 [20]의 연구와 말초 신경 장애가 있는 환자들에게 가상현실을 이용한 훈련이 관절가동범위의 증가에 긍정적인 영향을 미쳤다고 보고한 연구[21]들과의 유사한 결과가 흥미와 동기를 유발해 통증에 대한 지각을 줄일 수 있게 만드는 가상현실을 이용한 재활훈련이 관절가동범위의 긍정적인 효과를 나타내었다고 사료된다.

균형은 기저면 안에서 체중의 중심을 유지하는 것이며, 균형을 조절은 다양한 감각 운동 신경들의 상호작용을 이용해 지지면, 시각, 중력, 또는 외부적 환경에 대응해 신체의 안정성과 긴장성을 스스로 조절하여 신체 기저면내에서 안정화가 일어나는 것이라 할 수 있다[22]. 하지만 인공관절 전치환술을 받은 환자들이 수술 받지 않은 환자들에 비해 이동성과 균형능력이 낮게 나왔으며[23,24], 무릎인공관절 전치환술 후 평형 능력의 저하는 무릎관절의 균형능력을 감소시켜 낙상의 위험을 높

인다[25]. Duque 등[26]의 연구에 따르면 낙상 경험이 있는 30명의 노인을 대상으로 실시한 가상현실 운동 프로그램 적용 후에 균형 능력이 유의하게 증가하였다고 보고하였으며, 척수 손상 환자에게 가상현실을 이용한 운동프로그램이 척수 손상 환자의 동적 및 정적 균형 운동을 증가시켰다고 보고한 Kizony 등[27]의 연구에서도 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 이는 VR 장비에 달려 있는 이어폰을 이용한 청각적 피드백이 시각적 피드백과 함께 하지의 체중 분배와 압력의 조절에 영향을 미쳐 균형감각을 증진시켰다고 생각되어지며, 시각과 청각을 같이 사용하는 재활 방법이 하지의 적절한 체중 분배와 압력 조절에 도움을 주어 균형훈련에 더 많은 도움을 준다고 보고한 Langhorne 등[28]의 연구에서도 확인 할 수 있다.

본 연구는 퇴행성 관절염 노인용 가정 기반의 가상현실 이용 재활훈련 프로그램이 근력, 관절가동범위 및 균형에 미치는 콘텐츠의 유효성 연구이다. 본 연구를 통해 가정 기반의 가상현실 재활프로그램이 무릎관절 전치환술 환자의 근력, 관절가동범위, 균형능력에 효과적임을 확인 하였다, 하지만 본 연구에는 몇 가지의 제한점이 있다.

첫 번째 중재 기간이 길지 않고 대상자의 수가 적어서 일반화 하기는 어렵다는 단점이 있으며, 두 번째로 손상 수준이나 개인의 균형 능력에 맞는 정확한 난이도

의 콘텐츠를 선정하기에는 콘텐츠의 종류에 한계가 있었다. 따라서 제시한 제한점을 개선하여 근골격계 재활에 맞춘 적절한 가상 현실 콘텐츠의 개발이 필요할 것이며, 이러한 제한점을 고려하여 다양한 콘텐츠의 개발과 체계화된 가상현실 프로그램을 개발할 수 있는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론

본 연구는 퇴행성 관절염 노인용 가정 기반의 가상현실 이용 재활훈련 프로그램이 근력, 관절가동범위 및 균형에 미치는 콘텐츠의 유효성을 연구하기 위하여 시행되었다. 그 결과 무릎관절 전치환술을 받은 환자들의 근력, 관절가동범위, 균형능력이 개선되어 짐을 알 수 있었으며, 가정 기반이 가상현실을 이용한 재활훈련 프로그램을 이용한 훈련을 통해 초기 재활이 중요한 무릎관절 전치환술 환자들에게 효과적인 중재 방법으로 활용될 수 있을 것이라 사료된다.

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT: Ministry of Science and ICT) (No. NRF-2021R1G1A1095066)

참고문헌

1. Yoon JD, Lee JN. The effects of ankle mobilization with movements on the ankle range of motion, balance, and gait of patients after total knee arthroplasty. *J Korean AcadOrthop Man Phys Ther.* 2021;27(1):51-62.
2. Kennedy DM, Stratford, PW, Hanna SE, Wessel J, Gollish JD. Modeling early recovery of physical function following hip and knee arthroplasty. *BMC MusculoskeletDisord.* 2006;7:100.
3. Park GH, Kim TW, Song HB. Effect of Knee Stabilization Exercise on Balance and Walking Ability in Patients with Total Knee Replacement. *J Korean AcadOrthop Man Phys Ther.* 2021;27(2):69-76.
4. Lee J, Min D, Lee S. The Effect of an Exercise Program with Patella Mobilization on Range of Motion, Muscle Strength and Gait in Patients with Total Knee Arthroplasty. *J Korean Soc Integr Med.* 2020;8(1):1-14.
5. Kim CH, Kang TW, Kim BR. The Effect of Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Exercise on the Range of Motion, Pain, and Functional Activity of Total Knee Arthroplasty Patients. *PNF and Movement.* 2018;16(1):75-83.
6. Ryu J, Jung BC, Yu KT. 슬링을 이용한 능동 운동프로그램이 무릎 관절 전치환술 환자의 통증과 균형에 미치는 영향. *융합정보논문지 (구 중소기업융합학회논문지).* 2022;12(2):174-183.
7. Park SJ. 무릎관절 전치환술 환자에게 적용한 운동 프로그램이 통증 및 균형에 미치는 효과. *메타분석. Korean J Comput Inf.* 2021;26(5):119-126.
8. Yang JO, Lee JS. Utilization Exercise Rehabilitation Using Metaverse (VR• AR• MR• XR). *Korean J Sport Biomech.* 2021;31(4):249-258.
9. Lee DG, Kim EK, Kim YN, Kim YS, Hwang TY. 가상현실 운동프로그램이 파킨슨병 환자의 균형 및 하지 근력에 미치는 효과. *JKPT.* 2013;25(2):96-102.
10. Shin WS, Lee SM. 가상현실을 이용한 재활운동이 뇌손상 환자의 기능회복에 미치는 효과. *특수교육재활과학연구.* 2009;48(3):49-64.
11. Yoon SW. 완전몰입형 가상현실 훈련이 무릎관절 전치환술을 받은 환자의 균형과 보행 능력에 미치는 영향 (국내석사학위논문). 2018.
12. Sole G, Hamrén J, Milosavljevic S, Nicholson H, Sullivan SJ. Test-retest reliability of isokinetic knee extension and flexion. *Arch Phys Med Rehabil.* 2007;88(5):626-631.
13. Milanese S, Gordon S, Buettner P, Flavell C, Ruston S, Coe D, et al. Reliability and concurrent validity of knee angle measurement: smart phone app versus universal goniometer used by experienced and novice clinicians. *Man Ther.* 2014;19(6):569-574.
14. Berg KO, Wood-Dauphinée SL, Williams JI, Maki B. Measuring balance in the elderly: validation of an instrument. *Can J Public Health.* 1992;83(suppl 2):S7-S11.
15. Lewek MD, Rudolph KS, Snyder-Mackler L. Quadriceps femoris muscle weakness and activation failure in patients with symptomatic knee osteoarthritis. *J Orthop Res.* 2004;22(1):110-115.
16. Lee Y, Choi W, Lee K, Song C, Lee S. Virtual Reality Training With Three-Dimensional Video

- Games Improves Postural Balance and Lower Extremity Strength in Community-Dwelling Older Adults. *J Aging Phys Act.* 2017;25(4):621-627.
17. Michael V, Jasmin L, Lea A, Rahel S, Pawel P, Ron C, et al. Home-Based Virtual Reality-Augmented Training Improves Lower Limb Muscle Strength, Balance, and Functional Mobility following Chronic Incomplete Spinal Cord Injury. *Front Neurol.* 2017;8:635.
18. Steultjens MPM, Dekker JV, Van Baar ME, Oostendorp RAB, Bijlsma JWJ. Range of joint motion and disability in patients with osteoarthritis of the knee or hip. *Rheumatology.* 2000;39(9):955-961.
19. Yun JY, Lee JK. Effects of a thera-band exercise program on pain, knee flexion ROM, and psychological parameters following total knee arthroplasty. *J Korean AcadNurs.* 2015;45(6):823-833.
20. Deblock-Bellamy A, Batcho CS, Mercier C, Blanchette AK. Quantification of upper limb position sense using an exoskeleton and a virtual reality display. *J NeuroEngineeringRehabil.* 2018;15(1):24.
21. Grewal GS, Sayeed R, Schwenk M, Bharara M, Menzies R, Talal TK, et al. Balance rehabilitation: promoting the role of virtual reality in patients with diabetic peripheral neuropathy. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2013;103(6):498-507.
22. Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing.* 2006;35(2):7-11.
23. Levinger P, Menz HB, Wee E, Feller JA, Bartlett JR, Bergman NR. Physiological risk factors for falls in people with knee osteoarthritis before and early after knee replacement surgery. *Knee Surg Sports TraumatolArthrosc.* 2011;19(7):1082-1089.
24. Scott CEH, Bugler KE, Clement ND, MacDonald D, Howie CR, Biant LC. Patient expectations of arthroplasty of the hip and knee. *J Bone Joint Surg Br.* 2012;94(7):974-981.
25. Kim IJ, Kim HA, Seo Y-I, Jung YO, Song YW, Jeong JY, Kim DH. Prevalence of knee pain and its influence on quality of life and physical function in the Korean elderly population: a community-based cross-sectional study. *J Korean Med Sci.* 2011;26(9):1140-1146.
26. Duque G, Boersma D, Loza-Diaz G, Hassan S, Suarez H, Geisinger D, Suriyaarachchi P, Sharma A, Demontiero O. Effects of balance training using a virtual-reality system in older fallers. *Clin Interv Aging.* 2013;8:257-263.
27. Kizony R, Raz L, Katz N, Weingarden H, Weiss PLT. Video-capture virtual reality system for patients with paraplegic spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev.* 2005;42(5):595-608.
28. Langhorne P, Coupar F, Pollock A. Motor recovery after stroke: a systematic review. *Lancet Neurol.* 2009;8(8):741-754.