

Effects of Resistance Exercise with Pressure Biofeedback Unit on the Gait Ability and Knee Joint Function in Subject with Total Knee Replacement Patients

Jin Park

Department of Physical Therapy, Drim Sol Hospital, Jeonju, Republic of Korea

Purpose: This study was conducted to verify the effect of applying a pressure biofeedback unit on walking ability and knee joint function while performing knee joint extensor strengthening exercises using resistance exercise equipment in total knee replacement (TKR) patients.

Methods: This study was conducted on twelve patients receiving rehabilitation treatment after being admitted to a rehabilitation hospital post-TKR. Of these, six were allocated to a feedback group with a pressure biofeedback unit, and the other 6 were allocated to a control group without a pressure biofeedback unit. The subjects performed an exercise program for 45 minutes per session, five times a week, for two weeks. Walking ability and knee joint function were evaluated and analyzed before and after exercise.

Results: The feedback group showed significantly better improvements in walking speed, gait cycle, step length on the non-operation side, time on the foot on the operation side, K-WOMAC stiffness, and K-WOMAC function than the control group ($p < 0.05$).

Conclusion: When strengthening the knee joint extensor muscles using resistance exercise equipment in TKR patients, the provision of a pressure biofeedback unit was found to improve walking ability and knee joint function by inducing concentric-eccentric contraction of the knee joint extensor muscles. Therefore, the study shows that exercise based on the provision of a pressure biofeedback unit should be considered when strengthening knee joint extensor muscles to improve the walking ability and knee joint function of TKR patients in clinical practice.

Keywords: Gait, K-WOMAC, Pressure biofeedback unit, Resistance training, Total knee replacement

서론

무릎관절은 일생 동안 지면으로부터의 스트레스와 지속적인 체중 부하로 인하여 퇴행성관절염이 호발되는 부위로 관절 형태의 변화, 근력약화, 무릎관절 주변 구조물의 기능 약화로 인한 통증이나 증상이 나타난다.¹ 무릎관절의 통증과 증상을 해결하기 위하여 운동치료와 물리치료 및 약물치료 등을 실시하여 퇴행성관절염을 치료하고 예방하지만 상태가 심각한 중증 환자의 경우 무릎관절 전치환술(total knee replacement, TKR)을 실시한다.²

무릎관절 전치환술은 통증감소, 관절가동범위의 증가, 다리 정렬 교정, 환자의 기능적인 능력의 향상에 효과적이다.³ 그러나 무릎관절 전치환술 환자는 수술 후 무릎관절 주변 근육의 약화로 인하여 보행 동안 지면반발력의 감소, 무릎 내적인 힘의 감소, 무릎의 불안정성 증

가와 같은 문제가 발생한다.⁴ 특히 시상면에서의 무릎관절 폼 움직임 범위 및 속도의 감소는 보행속도 감소와 수술측으로의 체중지지 감소와 같은 시공간적 보행변수 변화에 영향을 미치기 때문에 재활에 있어서 중요하게 고려해야 할 요소이다.⁵

무릎관절 폼근은 무릎관절의 기능적 움직임과 안정성에 중요한 역할을 담당하는데, 무릎관절 전치환술 환자들의 경우 수술 후 무릎관절 폼근의 약화로 인하여 균형과 보행의 문제가 나타나므로 무릎관절 폼근에 대한 근력강화가 필요하다.⁶ 무릎관절 폼근의 근력강화 위하여 저항 운동기구를 이용한 중재를 적용할 수 있다.^{3,7} Suh 등⁸의 연구에서는 무릎관절 전치환술 환자에게 열림사슬에서 저항훈련 장비를 이용한 무릎관절 폼근 근력강화 훈련이 보행능력을 향상시킬 수 있음을 검증하였다. 이를 바탕으로 무릎관절 전치환술 환자에게 무릎관절 폼근에 대한 근력강화가 필요하며 이는 곧 보행능력 개

Received January 15, 2024 Revised February 25, 2024

Accepted February 27, 2024

Corresponding author Jin Park

E-mail mnipj1119@gmail.com

Copyright ©2024 The Korean Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<https://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.

선에 효과적임을 알 수 있다.

그러나 무릎관절 전치환술 환자의 경우 수술 후 무릎관절 펴근이 약해지고 근육을 사용하는 상황에서 펴근육 지연(extensor lag)이 나타날 수 있다. 또한 열립사슬에서 무릎관절 펴근 근력강화 동안 무릎관절 펴근이 약한 경우 넙다리뒤근들의 활성이 증가하기 때문에 무릎관절 펴근의 선택적인 근력강화가 어렵다.⁹ 무릎관절 펴근의 선택적인 근력강화를 위하여 압력 바이오피드백 장비의 적용을 고려해 볼 수 있다. 압력 바이오피드백 장비의 적용은 대상자들이 필요한 움직임만 선택적으로 조절할 수 있도록 유도한다. 열립사슬에서 압력 바이오피드백 장비를 적용하여 선택적인 움직임과 근력강화가 가능한데, Ahn 등¹⁰은 열립사슬에서 압력 바이오피드백 장비를 적용하여 골반 전방경사를 유지시키며, 넙다리뒤근의 스트레칭을 통해 무릎관절 펴근의 활성이 증가됨을 검증하였다. Horstmann 등¹¹의 연구에서도 무릎관절 펴근의 약화가 있는 대상자에게 압력 바이오피드백 장비를 이용하여 대상자들이 스스로 움직임을 조절하게 함으로써 무릎관절 펴근을 선택적으로 근력강화 할 수 있음을 검증하였다. 압력 바이오피드백 적용에 따른 근육운동은 일반적인 운동과 비교하여 압력 수치를 일정하게 유지하기 위한 무릎관절의 이완성(eccentric), 단축성(concentric) 수축이 발생하게 되는데, 이는 단축성 수축만 중점적으로 발생하게 되는 운동과 비교하여 무릎관절 펴근의 근력을 향상시키는 장점이 있다.^{11,12}

이를 바탕으로 압력 바이오피드백 장비를 이용한 무릎관절 펴근의 선택적인 근력강화를 무릎관절 전치환술 환자에게 적용해보는 것을 고려해 볼 수 있다. 그러나 선행연구들은 누운 자세에서 압력 바이오피드백 장비를 이용하여 무릎관절 펴근 강화에 효과를 검증하였는데, Vieira 등¹³은 무릎관절 펴근의 근력강화 운동 시 누운 자세에서보다 앉은 자세에서 실시하는 것이 더 효과적인 방법임을 검증하였다. 임상에서 주로 적용하는 앉은 자세에서 압력 바이오피드백 장비를 이용한 무릎관절 펴근의 근력강화를 실시하고 이에 따른 무릎관절 전치환술 환자의 보행능력 변화에 대한 검증은 필요하다. 본 연구에서는 앉은 자세에서 압력 바이오피드백 장비를 이용하여 무릎관절 펴근의 근력강화 운동이 무릎관절 전치환술 환자의 보행능력과 무릎관절 기능에 미치는 영향을 검증하고자 실시하였다.

연구 방법

1. 연구대상

한쪽 무릎관절 전치환술을 시행 받고 재활을 위하여 J시에 위치한 재활전문병원에 입원한 환자 중 연구목적에 이해하고 헬싱키 선언에 입각한 연구동의서에 동의한 총 12명의 대상자를 바탕으로 실시하였다. 연구에 앞서 대상자에게 연구를 위해 수집된 내용들은 연구 목적이

Table 1. General characteristics of subjects

	Feedback group (n=6)	Control group (n=6)
Age (years)	67.0±5.1	64.2±5.3
Gender (Male/Female)	2/4	3/3
Operation side (Right/Left)	3/3	2/4
Height (cm)	163.0±8.8	165.7±7.6
Weight (kg)	65.3±11.0	63.3±6.1
VAS (score)	4.0±0.9	3.5±0.8

Feedback group: MET exercise with biofeedback unit group, Control group: MET exercise without biofeedback unit. VAS: Visual analogue scale. Mean±standard deviation.

외에 사용하지 않으며 비밀 보장을 설명하였으며, 대상자가 원하면 언제든지 연구를 중단할 수 있음을 설명하였다. 연구 참여대상자 기준은 Kellgren-Lawrence Grading에서 3단계 이상의 관절염으로 진단받고 한쪽 무릎관절 전치환술을 받은 자, 무릎관절 전치환술 후 2주가 지난 자, 연구의 목적과 운동프로그램을 이해하며 수행할 수 있는 자, 운동프로그램 수행 시 통증이 나타나지 않는 자, 무릎관절 펴근의 근력이 3단계 이상인 자, 독립적인 서기와 보행이 가능한 자로 하였으며, 하지의 무릎관절 전치환술을 제외한 다른 수술을 한적이 있는 자, 외부적인 손상 등에 의해 무릎관절 전치환술을 실시한 자는 연구대상에서 제외하였다. 대상자들의 일반적인 특성은 Table 1과 같다.

2. 실험방법

1) 실험절차

운동프로그램을 실시하기 전 참여한 대상자들의 균을 나누기 위하여 체비뿔기를 실시하고 무작위 배정하였으며, 대상자에게 어떤 군에 속해 있는가에 대한 정보를 제공하지 않는 단일맹검법(single-blind test)을 실시하였다. 대상자들의 나이, 성별, 키, 몸무게, 수술 부위, 통증에 대한 정보를 의무기록과 면담을 바탕으로 조사하였다. 압력 바이오피드백에 따른 운동을 실시한 피드백군(feedback group)은 6명이었으며, 압력 바이오피드백 없이 운동을 실시한 대조군(control group)은 6명이었다. 두 군 모두 본 운동에 앞서 30분 동안 지속성 수동 운동 기구(Artromot K-3 CPM, Ormed, Germany)를 실시한 후 저항 운동 장비(CyberMedic M.E.T 200, Iksan, Korea)를 이용하여 무릎관절 펴근에 대한 근력강화를 15분, 주 5회, 총 2주 동안 실시하였다. 운동 전과 운동 후 대상자들의 보행능력과 무릎관절 기능을 평가하여 변화량을 분석하였다.

대상자들에게 저항운동 장비에 넙다리가 절반만 지면에 닿도록 앉은 자세를 취하도록 하였다. 이후 무릎관절 전치환술을 실시한 쪽의 무릎관절을 굽힘 90°에서 45° 사이에서 펴 동작을 실시하였다. 동시에 각 대상자의 IRM의 70% 저항을 저항운동 장비를 통하여 제공하였으며, 무릎관절 펴 동작의 마지막 범위에서 5초 동안 버티도록

하였다. 대상자들의 피로도를 고려하여 10회 실시하고 30초 동안 쉬도록 하였고, 운동 중 통증이나 피로를 호소할 경우 중단하였다.

퇴척임군은 근력강화 운동 동안 압력 바이오피드백 장비(AB bracing, Core movement training, Korea)를 이용하였다. 넓다리뼈 아래에 압력 바이오피드백 장비를 위치시키고, 대상자에게 한 손으로 눈금계를 들어 무릎관절 폼을 실시하는 동안 압력계를 확인하도록 하였다. 처음 압력은 40mmHg로 조절한 후, 35mmHg에서 45mmHg 사이로 압력이 유지될 수 있도록 하였다(Figure 1). 대조군은 저항운동 장비에서 양손을 대상자의 가슴 앞에 교차하도록 하고 압력 바이오피드백 장비를 제공하지 않은 상태로 퇴척임군과 동일한 근력강화 운동을 실시하였다(Figure 1).

2) 보행평가

대상자들의 시공간적 보행변수의 측정을 위하여 보행분석 장비(Biodex gait trainer 2, Biodex medical system, Shirley, USA)를 사용하였다. 보행변수의 측정 전 대상자들이 보행분석 장비에 익숙해지도록 편안한 속도를 측정하여 보행분석 장비 위에서 5분 동안 보행하도록 하였다. 편안한 속도는 10m 간격이 표시된 장소에서 걷도록 하여 시간을 측정하고 정하였다. 대상자가 보행분석 장비에 적응할 때까지 3회 반복하였다. 이후 대상자에게 확인하여 편안해지면 분석을 실시하였다. 분석과정은 처음 1분간 측정 없이 보행을 실시하고 이후 5분 동안 보행하도록 하여 분석하였다. 마지막으로 1분간 측정 없이 추가 보행을 실시하여 보행분석을 마무리 하였다.¹⁴ 측정된 시공간적 보행변수는 보행속도(walking speed), 보행주기(step cycle), 수술측과 비수술측

의 보장(step length), 수술측 체중분포 시간(time on each foot)이다.

3) 무릎관절 기능 평가

대상자들의 무릎관절 기능 평가를 위하여 K-WOMAC index (Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis)를 이용하였다. K-WOMAC index는 무릎관절의 기능상태를 평가하는 도구로서 통증과 관련된 항목, 무릎관절의 뻣뻣함을 평가하는 항목, 신체기능을 평가하는 24문항으로 구성되어 있다. 5점 척도로 평가할 수 있으며, 점수가 높을수록 무릎관절 기능장애를 나타낸다.¹⁵ K-WOMAC의 신뢰도와 타당도 Cronbach α 는 통증항목 0.83 이상, 뻣뻣함을 평가하는 항목 0.86, 신체기능을 평가하는 항목은 0.91 이상으로 높은 신뢰도를 나타낸다.¹⁶

4) 자료분석

측정된 변수들의 통계처리는 SPSS 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하였다. 정규성 검정은 Kolmogorov-Smirnov test를 실시하였고, 퇴척임군과 대조군의 일반적 특성의 동질성 검정은 독립 표본 t-검정 (independent t-test)을 실시하였다. 각 군의 보행능력, K-WOMAC index의 전과 후 변화 비교는 대응표본 t-검정 (paired t-test)을 실시하였다. 군 간 보행능력, K-WOMAC index 차이는 전 값을 공변량으로 설정하여 공분산분석 (analysis of covariance)을 실시하였다. 자료의 모든 통계학적 유의 수준은 0.05로 검정하였다.



Figure 1. Resistance exercise (A) With biofeedback unit, (B) Without biofeedback unit.

결 과

1. 시공간적 보행변수

중재 전 측정된 시공간적 보행변수에서는 통계학적 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 보행속도, 보행주기, 수술측 체중분포 시간은 두 군 모두 중재 전과 비교하여 중재 후 통계학적 유의한 차이가 나타났다($p < 0.05$). 비수술측 보장은 되먹임군에서만 중재 전과 비교하여 중재 후 증가된 결과가 나타났다($p < 0.05$).

군 간 비교에서 보행속도는 되먹임군에서 대조군과 비교하여 통계학적 유의하게 증가하였으며, 보행주기는 되먹임군에서 대조군과 비교하여 통계학적 유의하게 감소하였다($p < 0.05$). 비수술측 보장과 수술측 체중 분포 시간은 되먹임군에서 대조군과 비교하여 통계학적 유의하게 증가하였다($p < 0.05$)(Table 2).

2. K-WOMAC index

중재 전 평가한 K-WOMAC 점수에서는 통계학적 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 통증, 뻣뻣함, 신체기능 점수는 두 군 모두 중재 전과 비교하여 중재 후 통계학적 유의한 차이가 나타났다($p < 0.05$).

군 간 비교에서 되먹임군의 뻣뻣함과 신체기능 점수가 대조군과 비교하여 통계학적 유의하게 감소하였다($p < 0.05$)(Table 3).

Table 2. Comparison of pre and post training outcome measures of gait ability

		Feedback group (n=6)	Control group (n=6)	p
Walking speed (m/s)	Pre	0.30±0.18	0.30±0.13	0.02 [†]
	Post	0.35±0.07	0.32±0.12	
	p	<0.001 [*]	0.01 [*]	
Gait cycle (cycle/s)	Pre	0.60±0.10	0.63±0.17	0.01 [†]
	Post	0.56±0.10	0.61±0.15	
	p	<0.001 [*]	0.03 [*]	
Step length (cm)				
	Operation side	Pre 29.33±13.16	33.17±12.53	0.33
		Post 32.33±14.59	33.67±12.36	
	p 0.25	0.08		
Non-operation side	Pre	29.67±15.33	30.00±16.96	0.01 [†]
	Post	34.17±14.27	32.00±15.30	
	p	<0.001 [*]	0.07	
Time on each foot (%)				
	Operation side	Pre 43.00±1.55	42.83±1.47	<0.001 [†]
		Post 48.00±1.41	44.83±1.17	
	p <0.001 [*]	0.04 [*]		

Feedback group: MET exercise with biofeedback unit group, Control group: MET exercise without biofeedback unit. Mean±standard deviation. Significant difference between pre and post intervention within the group ($^{\dagger}p < 0.05$), significant difference between the change values among the groups ($^*p < 0.05$).

고 찰

본 연구에서는 무릎관절 전치환술 환자의 보행능력과 무릎관절 기능의 향상을 위하여 앉은 자세에서 무릎관절 펌근의 근력강화 운동 시 압력 바이오피드백 장비를 이용하는 것에 따른 효과를 검증하기 위하여 실시하였다.

그 결과 무릎관절 펌근에 대한 근력강화 운동을 실시한 두 군에서 모두 중재 전과 비교하여 중재 후 보행능력과 무릎관절 기능이 향상된 것으로 나타났다. 이는 앉은 자세에서 무릎관절 펌근에 대한 근력 강화 운동을 실시하는 것이 보행능력과 무릎관절 기능 향상에 효과적인 것으로 볼 수 있다. 무릎관절 전치환술 환자는 수술측 무릎관절 펌근의 약화로 인하여 잘못된 보행형태를 나타낸다. 따라서 무릎관절 전치환술 환자에게 무릎관절 펌근 근력은 보행능력에 있어 중요하게 고려해야 할 요소이다.² An 등¹⁷의 연구에서도 무릎관절 전치환술을 실시한 환자에게 앉은 자세에서 무릎관절 펌근에 대한 근력 강화 운동이 보행능력과 신체적 기능향상에 효과적인 방법임을 검증하였다. 무릎관절 펌근은 일어서기, 계단, 보행과 같은 일상생활에서 일어나는 움직임의 중요한 근육인데 반복적으로 무릎관절 펌근에 대한 운동을 실시함으로써 근력이 강화되고 근활성이 증가된 것에 따른 보행능력과 무릎관절 기능의 향상된 결과가 나타난 것으로 볼 수 있다.¹⁸ 보행을 실시하는 동안 무릎관절 펌근은 발이 지면에 닿는 순간부터 발을 지면에서 들기까지 근육의 활성이 발생하여 무릎관절의 안정성이 향상되고 원활하게 앞으로 나갈 수 있도록 한다.¹⁹ 본 연구에서도 대상자들이 무릎관절 전치환술로 인하여 무릎관절 펌근의 약화가 발생하지만 반복적인 운동을 통하여 무릎관절 펌근의 근력이 강화가 되었고, 이를 바탕으로 무릎관절 기능 향상과 더불어 무릎관절의 안전성 향상 및 앞으로 원활하게 전진할 수 있도록 함

Table 3. Comparison of pre and post training outcome measures of K-WOMAC

		Feedback group (n=6)	Control group (n=6)	p
Pain (score)	Pre	12.50±2.43	14.83±1.47	0.19
	Post	10.17±2.32	11.67±1.51	
	p	<0.001 [*]	<0.001 [*]	
Stiffness (score)	Pre	5.17±0.98	5.67±0.82	0.03 [†]
	Post	3.17±0.98	4.67±0.82	
	p	0.01 [*]	0.01 [*]	
Function (score)	Pre	34.50±1.87	32.00±4.56	0.04 [†]
	Post	27.50±2.35	27.33±4.68	
	p	<0.001 [*]	<0.001 [*]	

Feedback group: MET exercise with biofeedback unit group, Control group: MET exercise without biofeedback unit. Mean±standard deviation. Significant difference between pre and post intervention within the group ($^{\dagger}p < 0.05$), significant difference between the change values among the groups ($^*p < 0.05$).

으로써 보행능력의 향상된 결과가 나타난 것으로 생각된다.

본 연구에서 되먹임군은 대조군과 비교하여 보행능력과 무릎관절 기능의 향상된 결과가 나타났다. Horstmann 등¹⁾은 무릎관절 펌근 강화훈련 동안 압력 바이오피드백의 제공이 펌근의 선택적인 근력강화를 위한 효과적인 방법임을 검증하였다. 이는 압력 바이오피드백의 수치를 맞춰 움직임을 수행하기 위하여 펌근을 주로 사용하게 되는 것에 따른 결과라고 하였다. 압력 바이오피드백 장비를 이용하여 목표가 되는 근육의 스트레칭이나 선택적인 근력강화가 가능하다.¹⁰⁾ 또한 무릎관절 전치환술 환자는 수술로 인한 무릎관절의 고유수용 감각의 문제가 발생하는데, 압력 바이오피드백 장비 적용에 따른 선택적인 근력강화는 대상자가 움직임을 수행하는 동안 근육의 수축을 이해하고 스스로 조절하게 함으로써 고유수용 감각의 문제를 개선한다.²⁰⁾ 무릎관절 펌근의 약화가 있는 무릎관절 전치환술 환자의 근력강화 운동 동안 넙다리뒤근의 역할보다 무릎관절 펌근의 선택적 근력강화가 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 되먹임군에 압력 바이오피드백을 제공하여 넙다리뒤근의 역할을 억제시키고 펌근을 역할을 반복적으로 강조하였다. 이는 곧 보행주기 중 입각기에 긍정적 영향을 미치고 무릎관절 고유수용 감각의 개선에 따른 보행능력의 향상된 결과가 나타난 것으로 생각된다.

무릎관절 기능 평가를 위하여 실시한 K-WOMAC index에서는 뺨뺨함과 신체기능 점수가 되먹임군에서 대조군과 비교하여 개선된 것으로 나타났다. 압력 바이오피드백 제공에 따른 무릎관절 펌근 근력강화 운동이 무릎관절 기능 향상에 효과적임을 알 수 있다. 선행연구에서 압력 바이오피드백에 따른 근력강화 운동에서 압력 수치의 변화를 조절하기 위하여 무릎관절의 이완성(eccentric), 단축성(concentric) 수축이 반복적으로 발생하게 되는데, 이는 단축성 수축만 중점적으로 발생하게 되는 운동과 비교하여 무릎관절 펌근의 근력이 향상되고 K-WOMAC index의 향상된 결과를 보고하였다.^{8,11)} 본 연구에서도 되먹임군에서 압력 바이오피드백의 수치 변화를 확인하며 무릎관절 펌을 실시하고 돌아오는 동안 펌근의 이완성, 단축성 수축이 반복적으로 일어나게 되어 대조군과 비교하여 무릎관절 펌근의 근력이 향상되는 것에 따른 무릎관절 기능의 향상된 결과가 나타난 것으로 사료된다. 대조군에서는 무릎관절 펌을 실시하는 동안 펌근의 단축성 수축이 일어나게 되지만 시작 자세로 돌아오는 동안 피드백이 제공되지 않기 때문에 이완성 수축이 적절히 일어나지 않았을 것으로 생각된다.

본 연구에서는 무릎관절 펌근의 근력강화를 위하여 앉은 자세에서 저항운동 장비를 이용하였다. 앉은 자세에서는 무릎관절 펌 동안 넙다리뼈가 고정된 상태에서 정강이뼈가 움직이기 때문에 엉덩관절 펌근이나 무릎관절 굽힘근의 역할을 감소시키고 무릎관절 펌근의 역할을 증가시키는 것이 필요하다.⁹⁾ 이를 바탕으로 본 연구에서 되먹

임군은 넙다리뼈 밑에 압력 바이오피드백 장비를 위치시켜 누르지 않는 상태를 유지하며 무릎관절을 펴도록 하여 펌근에 대한 근력강화를 실시하였고, 보행능력과 무릎관절 기능의 향상된 결과가 나타났다. 따라서 앉은 자세에서 무릎관절 펌근에 대한 근력강화 운동 시 압력 바이오피드백 장비를 활용하고자 한다면 넙다리뼈로 장비를 누르지 않도록 수치를 확인하고 움직임을 실시하는 것이 무릎관절 펌근의 선택적 근력강화에 효과적인 방법으로 사료된다.

본 연구는 무릎관절 전치환술 환자를 대상으로 실시하였으나 연구에 앞서 효과를 검증하기 위한 적절한 표본 수를 산출하지 않았고, 적은 수의 대상자에게 연구를 실시하였기 때문에 모든 무릎관절 전치환술 환자에게 일반화하기에 제한이 있다. 대상자들은 재활병원에 입원한 상태에서 연구가 진행되었기 때문에 약물치료에 대한 부분을 통제하기에 제한이 있으며, 퇴원 후 일상생활을 영위함에 있어서 효과가 유지되고 있는가에 대한 부분을 판단하기 어렵다. 또한 대상자들이 앉은 자세에서 근력강화 운동을 실시하는 동안 무릎관절 펌근의 약화에 따른 체간의 보상움직임을 제한하기 위하여 연구자가 옆에서 확인 후 구두로 지시하였으나 정확하게 보상움직임을 제한하고 있는가에 대한 평가가 이루어지지 않았다. 따라서 추후 연구에서는 많은 수의 무릎관절 전치환술 환자를 대상으로 연구가 필요하며, 앉은 자세에서 체간의 정렬을 유지할 수 있는가에 대한 평가와 더불어 체간의 정렬을 스스로 조절할 수 있는 피드백의 제공에 따른 효과를 검증하고 장기간 지속되고 있는가에 대한 연구가 필요하다.

무릎관절 전치환술 환자의 무릎관절 펌근 근력강화 운동 동안 압력 바이오피드백의 제공은 보행능력과 무릎관절 기능의 향상된 결과가 나타났다. 이는 압력 바이오피드백의 수치를 맞춰 펌근의 선택적인 근력강화와 동시에 이완성, 단축성 수축을 적절하게 발생시키고 조절하는 것에 따른 영향으로 생각된다. 따라서 임상에서 무릎관절 전치환술 환자에게 앉은 자세에서 무릎관절 펌근에 대한 근력강화를 실시한다면 압력 바이오피드백의 제공에 따른 방법도 고려하여야 할 것이다.

REFERENCES

1. Christanell F, Hoser C, Huber R et al. The influence of electromyographic biofeedback therapy on knee extension following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol.* 2012;4(1):41.
2. Christensen JC, Capin JJ, Hinrichs LA et al. Gait mechanics are influenced by quadriceps strength, age, and sex after total knee arthroplasty. *J Orthop Res.* 2021;39(7):1523-3.
3. Furu M, Ito H, Nishikawa T et al. Quadriceps strength affects patient satisfaction after total knee arthroplasty. *J Orthop Sci.* 2016;21(1):38-43.
4. Bade MJ, Kohrt WM, Stevens-Lapsley JE. Outcomes before and after to-

- tal knee arthroplasty compared to healthy adults. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2010;40(9):559-67.
5. McClelland JA, Webster KE, Feller JA. Gait analysis of patients following total knee replacement: a systematic review. *Knee.* 2007;14:253-63.
 6. Mizner RL, Petterson SC, Snyder-Mackler L. Quadriceps strength and the time course of functional recovery after total knee arthroplasty. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2005;35:424-36.
 7. Barcellona MG, Morrissey MC, Milligan P et al. The effect of knee extensor open kinetic chain resistance training in the ACL-injured knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(11):3168-77.
 8. Suh MJ, Kim BR, Kim SR et al. Effects of early combined eccentric-concentric versus concentric resistance training following total knee arthroplasty. *Ann Rehabil Med.* 2017;41(5):816-27.
 9. Neumann DA. *Kinesiology of the musculoskeletal system: foundations for physical rehabilitation.* Mosby & Elsevier, Missouri, 2010:560-69.
 10. Ahn JO, Weon JH, Koh EK et al. Effectiveness of hamstring stretching using a pressure biofeedback unit for 4 weeks: a randomized controlled trial. *Hong Kong Physiother J.* 2020;40(2):99-107.
 11. 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; 25:42-7.
 12. Kim GJ, Kong KW, Kwon SO et al. The study of stability exercise using pressure biofeedback unit for low back pain. *J Korean Phys Ther Sci.* 2012;19(2):63-71.
 13. Vieira DCL, Dourado MAA, Ugliara L et al. Can hip joint position affect quadriceps muscle responses during knee extension exercise? *Int J Sports Med.* 2020;41(13):929-35.
 14. Gharib NM, AbdEl Maksoud GM, Rezk-Allah SS. Efficacy of gait trainer as an adjunct to traditional physical therapy on walking performance in hemiparetic patients: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2011;25(10):924-34.
 15. Bae SC, Lee HS, Yun HR et al. Cross-cultural adaptation and validation of Korean western ontario and McMaster Universities (WOMAC) and lequesne osteoarthritis indices for clinical research. *Osteoarthr Cartil.* 2001;9(8):746-50.
 16. Ko TS, Kim SY, Lee JS. Reliability and validity of the Korean western ontario and McMaster Universities (WOMAC) osteoarthritis index in patients with osteoarthritis of the knee. *J Korean Med Rehabil.* 2009;19(2): 251-60.
 17. An J, Son YW, Lee BH. Effect of combined kinematic chain exercise on physical function, balance ability, and gait in patients with total knee arthroplasty: a single-blind randomized controlled trial. *Int J Environ Res Public Health.* 2023;20(4):3524.
 18. Collins NJ, Misra D, Felson DT et al. Measures of knee function: international knee documentation committee (IKDC) subjective knee evaluation form, knee injury and osteoarthritis outcome score (KOOS), knee injury and osteoarthritis outcome score physical function short form (KOOS-PS), knee outcome survey activities of daily living scale (KOS-ADL), lysholm knee scoring scale, oxford knee score (OKS), western ontario and McMaster Universities osteoarthritis index (WOMAC), activity rating scale (ARS), and tegner activity score (TAS). *Arthritis Care Res.* 2011;63(11):208-28.
 19. Umberger BR. Stance and swing phase costs in human walking. *J R Soc Interface.* 2010;7(5):1329-40.
 20. Turkmen C, Harput G, Kinikli GI et al. Correlation of force sense error test measured by a pressure biofeedback unit and EMG activity of quadriceps femoris in healthy individuals. *J Electromyogr Kinesiol.* 2019;49: 102366.