

무릎 펌근 강화 운동 동안 압력 생체되먹임 장비 적용이 무릎관절 전치환술 환자들의 근력과 균형에 미치는 영향

박진¹ · 박한규^{2*}

¹ 드림솔병원 근골격계센터 물리치료사, ^{2*} 동주대학교 물리치료과 교수

Effects of Pressure Biofeedback Unit Application on Muscle Strength and Balance in Total Knee Arthroplasty Patients during Exercise for Strengthening the Knee Extensor Muscle

Jin Park, PT, Ph.D¹ · Han-Kyu Park, PT, Ph.D^{2*}

¹Center of Musculoskeletal, Drimsol Hospital, Physical Therapist

^{2*}Dept. of Physical Therapy, Dongju College, Professor

Abstract

Purpose : The purpose of this study is to verify the effect of selective muscle strengthening of the knee joint extensor muscles using a pressure biofeedback unit to improve knee extensor strength and the balance ability of total knee replacement patients. Through this, we tried to provide clinical information.

Methods : In this study, 12 patients with total knee replacement were recruited from a rehabilitation hospital. They were divided into two groups: a feedback group (n=6) and a control group (n=6). All patients received 30 minutes of continuous passive motion and leg-strengthening exercises for 15 minutes five times a week for two weeks. Subjects performed knee extension exercises with or without biofeedback units in the sitting position. The knee extensor strength and balance ability were measured before and after exercise. Knee extensor strength was measured by Biodex system 3 and balance ability was measured by Balancia software.

Results : Both the experimental group and the control group showed a significant difference in the muscle strength of the knee joint extensor muscles after intervention (p<.05). In comparison, the experimental group showed a significant difference than the control group (p<.05). Both the experimental group and the control group showed a significant difference in the velocity average, path length, area 95 % center of pressure (COP), weight distribution, five times sit to stand test (FTSST) after intervention. In comparison, the experimental group showed a significant difference in velocity average, area 95 % COP, and FTSST than the control group (p<.05).

Conclusion : In order to strengthen the knee extensor muscle and improve the balance ability in total knee replacement patients, it is necessary to consider providing pressure biofeedback unit during leg strengthening exercises.

Key Words : balance, knee strength, pressure biofeedback unit, total knee replacement

* 교신저자 : 박한규, phk8947@naver.com

논문접수일 : 2021년 1월 5일 | 수정일 : 2021년 1월 21일 | 게재승인일 : 2021년 2월 5일

I. 서론

무릎관절은 노화가 진행됨에 따라 지속적인 체중부하와 지면으로부터의 스트레스로 인한 퇴행성 관절염이 가장 호발되는 부위로서 관절 형태의 변화와 통증, 무릎관절 주변 근육들의 근력 약화, 고유수용성감각 기능의 저하에 따른 균형 능력 감소 등의 형태가 나타난다(Christanell 등, 2012; Sharma 등, 2003). 임상에서는 물리치료와 운동치료 및 스트레칭 등을 통하여 퇴행성 무릎관절염을 조절하지만 상태가 심한 중증 환자는 무릎관절 전치환술(total knee replacement; TKR)을 시행한다. 그러나 무릎관절 전치환술은 통증을 개선하는 것에 효과적이지만 수술 후에도 무릎관절 주변 근육의 약화에 따른 균형 능력 및 보행 능력 감소와 일상생활능력의 감소를 나타낸다(Bade 등, 2010; Levinger 등, 2012).

무릎관절 전치환술 환자들은 무릎관절 펌근의 약화에 따른 선 자세에서 비대칭적인 체중분포의 형태를 유발하기 때문에 무릎관절의 안정성, 움직임 및 기능 회복을 위하여 무릎관절 펌근의 역할이 중요하다(Christiansen 등, 2013; Yim 등, 2009). 무릎관절 펌근의 강화를 위하여 열림사슬과 닫힘사슬에서의 중재에 따른 효과들이 검증되었다(Barcellona 등, 2014; Bouchouras 등, 2015; Rossi 등, 2010). 특히, Suh 등(2017)의 연구에서 열림사슬에서 무릎관절 전치환술 환자에게 저항훈련 장비를 이용하여 무릎관절 펌근에 대한 훈련이 근력 강화에 효과적이며 기능의 회복을 검증하였다. Alnahdi 등(2014)의 연구에서도 열림사슬에서 무릎관절 펌근에 대한 운동이 무릎관절 전치환술 환자의 근력 강화를 바탕으로 대칭적인 자세를 유도한다고 보고하였다. 이를 바탕으로 열림사슬에서의 무릎관절 펌근의 근력 강화는 대칭적인 자세를 이끌어내고 기능 회복에 효과적인 방법임을 알 수 있다.

그러나 열림사슬에서의 무릎관절 펌근 근력 강화 동작은 무릎관절 펌근의 약화시 엉덩관절 펌근 중 넙다리뒤근들의 활성이 증가하게 되어 무릎관절 펌근에 대한 선택적인 근력 강화가 어렵다. 또한 무릎관절 전치환술 환자와 같이 무릎관절 펌근의 약화가 있을 경우 펌근육 지연(extensor lag)이 발생하기 때문에 무릎관절 펌근에

대한 선택적인 근력 강화가 필요하다(Neumann, 2010). 이를 보완하기 위해 압력 생체피드백 장비를 이용해 볼 수 있다. 압력 생체피드백 장비를 이용하면 불필요한 움직임을 제한시키고 선택적인 움직임이 가능한데, Ahn 등(2020)의 연구에서는 바로 누운 자세에서 허리 밑에 압력 생체피드백 장비를 위치시킨 후 골반 앞쪽 경사를 유지시킨 상태에서 넙다리뒤근의 스트레칭을 유도하여 무릎관절 펌근의 근활성 증가에 효과적인 방법임을 보고하였다. Horstmann 등(2017)의 연구에서도 무릎관절 전치환술 환자에게 펌 동작의 움직임 촉진을 위하여 바로 누운 자세에서 넙다리뼈 아래에 압력 생체피드백 장비를 위치시키고 누르는 힘을 수치로 확인하며 무릎관절 펌근에 대한 운동이 효과적인 방법임을 보고하였다.

이러한 선행연구들을 바탕으로 무릎관절 전치환술 환자의 무릎관절 펌근에 대한 선택적인 근력 강화를 위하여 압력 생체피드백 장비를 이용한 운동 방법을 고려해 볼 수 있다. 그러나 선행연구들은 누운 자세에서 압력 생체피드백 장비의 사용에 따른 무릎관절 펌근 강화에 효과를 검증하였기 때문에 임상에서 많이 실시하는 앉은 자세에서 압력 생체피드백 장비를 이용하여 무릎관절 펌근의 선택적 근력 강화에 따른 무릎관절 전치환술 환자의 다리 근력 변화와 균형 능력에 미치는 영향에 대한 검증이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 앉은 자세에서 무릎관절 펌근의 근력 강화 운동 시 압력 생체피드백 장비를 이용하여 무릎관절 펌근의 선택적 근력 강화를 실시하는 것이 무릎관절 전치환술 환자의 다리 근력 및 균형 능력에 미치는 영향에 대해 검증하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

2020년 6월부터 2020년 10월까지 J시에 위치한 재활전문병원에 한쪽 무릎관절 전치환술을 받고 재활을 위해 입원한 환자들중 헬싱키 선언에 입각하여 연구의 목적을 이해하고 연구에 참여하겠다고 동의한 총 12명

을 대상으로 연구를 실시하였다. 연구에 참여한 대상자들은 한쪽 다리에 관절염으로 인하여 무릎관절 전치환술을 받은 환자로써 치료사의 지시사항을 이해하고 따를 수 있는 자, 독립적인 선 자세가 가능한 자, 균형 능력에 영향을 줄 수 있는 안뜰게 손상이나 시력 장애가

없는 자로 하였으며, 다리의 다른 수술이나 질병이 있는 자와 관절염이 아닌 외부적인 손상 등에 의한 무릎관절 전치환술 환자는 제외하였다. 대상자들의 일반적인 특성은 Table 1 과 같다.

Table 1. General characteristics of subjects

(n=12)

Characteristics	Feedback group (n=6)	Control group (n=6)	p
Age (years)	67.00±5.14 ^b	64.17±5.27	0.37
Gender (M/F)	2/4	3/3	0.60
Height (cm)	163.00±8.76	165.67±7.58	0.59
Weight (kg)	65.33±11.02	63.33±6.12	0.71
Operation side (Rt/Lt)	3/3	2/4	0.60
VAS ^a (score)	4.00±0.89	3.50±0.84	0.34

^aVisual analogue scale, ^bMean±standard deviation

2. 연구 절차

연구에 앞서 제비뽑기를 실시하여 대상자들을 각 군에 무작위 배정하였다. 대상자들의 나이, 성별, 키, 몸무게, 수술 부위와 통증에 대한 정보를 면접과 의무기록을 통해 조사하여 군 간 동질성을 확보하였다. 압력 생체되먹임 장비의 제공에 따른 근력 강화운동을 실시한 실험군(feedback group)은 6명이었으며, 압력 생체되먹임 장비의 제공 없이 근력 강화운동을 실시한 대조군(control group)은 6명이었다. 두 군 모두 운동을 실시하기 전 지속성 수동 운동 기구(Artromot K-3 CPM, Ormed, Germany)를 30분간 실시한 후 저항운동 장비를 이용하여 무릎관절 펌근의 근력 강화 운동을 15분간 주 5회, 총 2주간 실시하였다. 운동 전과 운동 후 무릎관절 펌근의 근력과 균형 능력을 측정하여 평가하였다.

무릎관절 펌근의 근력 강화 운동은 저항운동 장비(CyberMedic MET 200, Iksan, Korea)를 이용하여 실시하였다. 운동 방법은 앉은 자세에서 양 손의 사용을 제한하기 위하여 가슴 앞에 교차하여 두도록 하였다. 넓다리뼈가 절반만 지면에 닿도록 한 후 무릎관절 굽힘 90°에서 45° 사이에서 무릎관절 펌 동작을 실시하는 동안 1RM의 70% 저항을 제공하여 운동을 실시 하였으며,

무릎관절 펌 동작을 실시한 후 5초 동안 버티도록 하였다. 대상자들의 피로를 최소화하기 위하여 10회 실시 후 30초간 쉬도록 하였다. 또한 운동 중에 통증이나 피로를 호소할 경우 중단하도록 하였다.

실험군은 압력 생체되먹임 장비(AB Bracing, Core Movement Training, Korea)를 이용하여 무릎관절 펌 동작을 실시하는 동안 되먹임을 제공하였다. 무릎관절 펌 동작을 실시하는 동안 넓다리뼈 아래에 압력 생체되먹임 장비를 위치시키고, 한 손으로 눈금계를 들고 확인하도록 하여 압력을 40 mm Hg로 조절한 후, 35 mm Hg에서 45 mm Hg 사이로 압력이 유지되도록 하였다(McBeth 등, 2012)(Fig 1). 대조군은 압력 생체되먹임 장비를 이용하

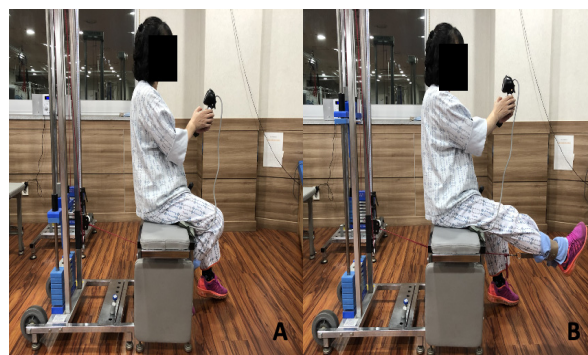


Fig 1. MET exercise with biofeedback unit (A; Starting position, B; End position)

지 앉은 상태로 앉은 자세에서 저항운동 장비를 이용하여 무릎관절 펌 근력 강화운동을 실시하였다.

3. 평가 방법

대상자들의 무릎관절 펌근의 근력 변화를 평가하기 위하여 근력평가 장비(Biodex Medical System, Shirley, USA)를 사용하였다. 평가에 앞서 2회 예비 연습을 실시하고, 3회 실시하여 최대값을 통계 처리하였다. 평가를 실시하는 동안 근 피로를 최소화하기 위하여 1회 실시한 후 30초 동안 휴식시간을 제공하였으며, 통증이 없는 범위 내에서 수행하도록 하였다.

대상자들의 균형 능력 변화를 평가하기 위하여 균형 능력 측정장비(Balancia software, Mintosys, Korea)를 사용하였다. 이 장비는 대상자의 압력중심을 압력판을 통하여 인식하고 블루투스 컴퓨터 프로그램(Balancia software)과 연결하여 분석된다. 평가 방법은 대상자들이 압력판 위에 선 자세에서 정면을 바라보고 양 팔은 팔짱을 끼도록 하였다. 1분간 평가를 실시하였으며, 3회 반복 평가 후 평균값을 사용하였다. 평가 동안 안전을 고려하여 연구자가 가까운 거리에서 보조하였다. 이 프로그램의 측정자간 신뢰도는 .79~.96이었으며, 타당도는 .85~.96로 높은 신뢰도와 타당도를 나타냈다(Park 등, 2013).

본 연구에서 사용된 변수는 인체압력중심(center of pressure)의 이동 거리를 시간으로 나누는 움직임 속도 평균(average velocity), 인체압력중심의 총 이동거리를 나타내는 이동거리(path length), 선 자세 동안의 중심을 기준으로 95%의 인체압력중심 움직임 영역을 나타내는 95% 움직임 영역(area 95% COP), 수술측 다리 체중분포도(weight distribution of operated side)이다. 또한 5회

반복 앉고 일어서기 평가(five times sit to stand test; FTSST)를 실시하여 대상자들의 기능적인 균형 능력의 변화를 측정하였다. 이 검사는 대상자들을 무릎 높이의 의자에 앉도록 하고 양 팔을 교차하여 가슴 앞에 위치시킨 후 최대한 빠른 속도로 앉았다 일어서기 동작을 5회 반복하도록 하여 시간을 측정하는 방법으로써 3회 실시하여 평균값을 통계 분석하였다(Medina-Mirapeix 등, 2018).

4. 자료분석

대상자들의 측정된 값에 대한 통계처리를 위하여 SPSS 22.0(SPSS Inc., Chicago IL, USA)을 통하여 분석하였다. Kolmogorov-Smirnov test를 통해 정규성 검정을 실시하였고, 실험군과 대조군의 일반적 특성에 대한 동질성 검정을 위하여 독립 표본 t-검정(independent t-test)을 실시하였다. 각 군의 근력, 균형 능력의 전과 후 변화를 분석하기 위하여 대응표본 t-검정(paired t-test)을 실시하였다. 군 간 근력, 균형 능력의 차이를 검증하기 위하여 중재 전 값을 공변량으로 설정하고 공분산분석(analysis of covariance)을 실시하였다. 자료의 모든 통계학적 유의수준(p)은 .05로 검정하였다.

III. 결과

1. 무릎관절 펌근의 근력 변화 비교

두 군 모두 운동 전과 비교하여 운동 후 무릎관절 펌근의 근력이 통계학적으로 유의하게 향상되었다

Table 2. Comparison of knee extension muscle strength variables within groups and between groups (unit: Nm)

	Feedback group (n=6)	Control group (n=6)	p
Pre	30.88±17.49 ^a	29.50±12.76	
Post	41.57±22.44	33.83±13.04	
Changes	10.68±6.45	4.33±1.97	.03 [†]
p	.01 [*]	.00 [*]	

^aMean±standard deviation, ^{*}Within-group change from pre to post treatment, [†]Between-group comparison on the change from pre to post intervention

($p < .05$). 군 간 비교에서는 실험군이 대조군과 비교하여 무릎관절 펌근의 근력이 향상된 것으로 나타났다 ($p < .05$)(Table 2).

2. 균형 능력의 변화비교

두 군 모두 운동 전과 비교하여 운동 후 모든 균형변수에서 향상된 결과가 나타났다($p < .05$). 군 간 비교에서는 실험군이 대조군과 비교하여 움직임 속도 평균, 95 % 움직임 영역, FTSST 가 통계학적으로 유의하게 감소하였다($p < .05$)(Table 3).

Table 3. Comparison of balance ability variables within groups and between groups (n=12)

	Feedback group (n=6)	Control group (n=6)	<i>p</i>
Velocity average (cm/s)	Pre	2.75±0.54 ^b	2.71±0.43
	Post	2.12±0.38	2.51±0.46
	Changes	-0.63±0.20	-0.20±0.09
	<i>p</i>	.00*	.00*
Path length (cm)	Pre	82.39±16.14	81.28±12.91
	Post	72.51±16.22	74.02±11.71
	Changes	-9.88±3.42	-7.27±4.29
	<i>p</i>	.00*	.01*
Area 95% COP (cm ²)	Pre	3.59±0.86	3.94±0.42
	Post	2.53±0.74	3.42±0.39
	Changes	-1.06±0.45	-0.52±0.17
	<i>p</i>	.00*	.00*
Weight distribution (%)	Pre	44.74±0.97	44.97±1.68
	Post	48.97±1.26	47.57±1.58
	Changes	4.23±1.58	2.61±1.71
	<i>p</i>	.00*	.01*
FTSST ^a (s)	Pre	16.25±5.10	15.63±2.85
	Post	12.47±3.54	14.36±3.00
	Changes	-3.78±2.33	-1.38±1.07
	<i>p</i>	.01*	.03*

^aFive times sit to stand test, ^bMean±standard deviation, *Within-group change from pre to post treatment, †Between-group comparison on the change from pre to post intervention

IV. 고찰

본 연구에서는 한쪽 무릎관절 전치환술 환자에게 저항운동 장비를 이용하여 무릎관절 펌근에 대한 근력 강화 운동 시 압력 생체피드백 장비 제공에 따라 다리 근력의 변화와 균형 능력에 미치는 영향에 대해 검증하여 임상적 정보를 제공하고자 실시하였다.

무릎관절 펌근 근력에 대한 변화 비교 결과 두 군 모두 중재 전보다 중재 후 향상되었다. Suh 등(2017)의 연구에서는 무릎관절 전치환술 환자에게 저항운동 장비를 이용하여 근력 강화 운동이 무릎관절 펌근의 근력과 통증 및 무릎기능 향상에 효과적인 방법임을 보고하였다. Alnahdi 등(2014)의 연구에서도 무릎관절 전치환술 환자의 경우 무릎관절 펌근의 근력이 약해지기 때문에 저항

운동 장비를 이용하여 무릎관절 펴근에 대한 근력 강화 운동이 필요하다고 보고하였다. 앉은 자세에서의 무릎관절 펴 동작은 체중지지 없이 펴근의 동심성 수축 (concentric contraction)이 발생하는 것에 따른 근력 강화의 효과가 있다. 특히 동심성 수축 시 무릎관절 굽힘 90 °에서 45 ° 사이에서 움직임을 실시하는 동안 펴근의 활성이 증가되는데, 본 연구에서는 두 군 모두 이 범위에서의 움직임을 반복하는 것에 따른 근력 강화의 효과가 나타난 것으로 생각된다.

군 간 비교에서는 실험군에서 대조군과 비교하여 무릎관절 펴근의 근력이 향상된 결과가 나타났다. Horstmann 등(2017)의 연구에서는 바로 누운 자세에서 무릎관절 아래에 압력 생체되먹임 장비를 제공하여 무릎관절 펴근에 대한 근력 강화를 실시하였을 때, 펴근 강화에 효과적인 방법임을 보고하였다. 이는 압력 생체되먹임 장비를 통하여 수치를 확인하고 이에 맞춰 대상자가 움직임을 조절하여 펴근의 활성을 이끌어내는 것에 따른 결과라고 보고하였다. 본 연구에서도 무릎관절 펴근에 대한 근력 강화 운동을 실시하는 동안 압력 생체되먹임 장비를 제공하여 선택적으로 무릎관절 펴근만 사용할 수 있도록 유도하였기 때문에 실험군에서 대조군과 비교하여 펴근의 근력이 강화된 것으로 생각된다.

균형 능력에 대한 변화 비교 결과 두 군 모두 중재 전과 비교하여 중재 후 모든 균형 변수에서 향상된 것으로 나타났다. Lim 등(2016)의 연구에서는 무릎관절 전치환술 환자에게 앉은 자세에서 무릎관절 펴근의 근력 강화 운동이 균형 능력 향상에 효과적인 방법임을 보고하였다. Pua 등(2011)의 연구에서도 무릎관절 펴근의 근력은 균형 능력에 영향을 미치기 때문에 근력 강화가 필요하다고 보고하였다. 이는 무릎관절의 펴근이 무릎과 골반 및 몸통의 안정성에 관여를 하기 때문에 외부 움직임 (sway)에 대항하여 균형을 유지하는 것에 영향을 미치기 때문이라 하였다. 본 연구에서도 두 군 모두 무릎관절 펴근의 약화가 있는 인공관절 전치환술 환자에게 펴근에 대한 반복적인 근력 강화 운동을 실시하였기 때문에 무릎의 안정성을 향상시키고 수술측으로의 체중이동을 향상시킨 것에 따른 균형 능력의 향상된 결과가 나타난 것으로 생각된다.

군 간 비교에서는 실험군이 대조군과 비교하여 움직

임 속도 평균, 95 % 움직임 영역, FTSST 의 향상된 결과가 나타났다. 압력 생체되먹임 장비의 제공은 수치를 확인하며 움직임을 조절하는 것에 따른 보상 움직임을 감소시키는데, 이에 선행연구와 본 연구에서 압력 생체되먹임 장비 제공에 따른 무릎관절 펴근의 선택적 근력 향상에 효과적인 방법임을 검증하였다. 무릎관절 펴근은 균형을 유지하는 것에 관여를 하기 때문에 실험군에서의 무릎관절 펴근 근력 향상이 대조군 보다 높게 나타난 결과를 토대로 균형 능력을 비교한 본 연구 결과에서도 무릎관절 펴근의 근력이 높은 실험군에서 균형 능력의 향상이 나타난 것으로 생각된다.

본 연구에서는 무릎관절 펴근의 선택적 근력 강화를 위하여 저항운동 장비에 앉은 상태에서 압력 생체되먹임 장비를 제공하여 근력 강화 운동을 실시하였는데, 무릎관절 펴 동작을 실시하는 동안 넓다리뼈가 압력 생체되먹임 장비를 누르지 않도록 하였다. 그러나 Horstmann 등(2017)의 연구에서는 바로 누운 자세에서 무릎관절 펴근을 선택적으로 강화시키기 위해 넓다리뼈로 압력 생체되먹임 장비를 누르는 힘을 유지한 상태로 근력 강화 운동을 실시하였다. 앉은 상태에서 무릎관절 펴 동작을 실시하는 것은 누운 자세에서 무릎관절 펴 동작을 실시하는 것과 비교하여 중력에 대항하여 더 많은 힘을 필요로 하기 때문에 압력 생체되먹임 장비를 누르도록 한다면 무릎관절 펴근의 수축보다는 엉덩관절 펴근의 보상 작용이 나타날 수 있다. 또한 선행연구에서는 누운 자세에서 무릎관절 펴 동작을 실시하는 동안 넓다리뼈가 움직였지만, 본 연구에서는 앉은 상태에서 무릎관절 펴 동작 동안 정강이뼈가 움직이기 때문에 넓다리뼈가 압력 생체되먹임 장비를 누르게 된다면 무릎관절 펴근 보다는 엉덩관절 펴근이나 무릎관절 굽힘근의 근 활성이 증가하게 된다(Neumann, 2010). 따라서 본 연구의 결과를 토대로 앉은 상태에서 무릎관절 펴근의 근력 강화 운동 시 압력 생체되먹임 장비를 누르지 않은 상태에서 정강이뼈를 움직이는 동작은 엉덩관절 펴근과 무릎관절 굽힘근의 역할을 감소시키고 무릎관절 펴근이 저항에 대항하여 반복적으로 사용되는 것에 따른 선택적 근력 강화에 효과적인 방법으로 생각된다.

본 연구에서는 저항운동 장비를 이용하여 앉은 자세에서 무릎관절 펴 동작을 반복적으로 실시하였는데, 연

구자가 대상자의 몸통 정렬이 유지 될 수 있도록 언어로 지시하였으나 지속적으로 정렬이 유지되었는가에 대한 부분이 확인하기 어려웠다. 따라서 추후 연구에서는 한 쪽 무릎관절 전치환술 환자에게 앉은 자세에서의 무릎관절 펌 동작 시 몸통의 정렬이 유지되고 있는가에 대한 부분을 확인해야 할 것이다.

V. 결론

본 연구에서는 무릎관절 전치환술 환자에게 앉은 자세에서 무릎관절 펌근에 대한 근력 강화 운동 시 압력 생체피드백 장비 제공에 따른 운동을 실시하는 것은 무릎관절 펌근 근력의 향상된 결과와 균형 능력의 향상된 결과가 나타났다. 따라서 무릎관절 전치환술 환자의 무릎관절 펌근 근력의 강화와 균형 능력 향상을 위하여 앉은 자세에서 근력 강화 운동을 실시하고자 한다면 압력 생체피드백 장비의 제공에 따른 방법도 고려하여야 할 것이다.

참고문헌

Ahn JO, Weon JH, Koh EK, et al(2020). Effectiveness of hamstring stretching using a pressure biofeedback unit for 4 weeks: a randomized controlled trial. *Hong Kong Physiother J*, 40(2), 99-107. <https://doi.org/10.1142/S1013702520500092>.

Alnahdi AH, Zeni JA, Snyder-Mackler L(2016). Quadriceps strength asymmetry predicts loading asymmetry during sit-to-stand task in patients with unilateral total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 24(8), 2587-2594. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3827-x>.

Bade MJ, Kohrt WM, Stevens-Lapsley JE(2010). Outcomes before and after total knee arthroplasty compared to healthy adults. *J Orthop Sports Phys Ther*, 40(9), 559-567. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3827-x>.

Barcellona MG, Morrissey MC, Milligan P, et al(2015). The effect of knee extensor open kinetic chain resistance training in the ACL-injured knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 23(11), 3168-3177. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3110-6>.

Bouchouras G, Patsika G, Hatzitaki V, et al(2015). Kinematics and knee muscle activation during sit-to-stand movement in women with knee osteoarthritis. *Clin Biomech*, 30(6), 599-607. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2015.03.025>.

Christanell F, Hoser C, Huber R, et al(2012). The influence of electromyographic biofeedback therapy on knee extension following anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol*, 4(1), 41. <https://doi.org/10.1186/1758-2555-4-41>.

Christiansen CL, Bade MJ, Weitzenkamp DA, et al(2013). Factors predicting weight-bearing asymmetry 1 month after unilateral total knee arthroplasty: a cross-sectional study. *Gait Posture*, 37(3), 363-367. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.08.006>.

Horstmann H, Colcuc C, Lobenhoffer P, et al(2017). Evaluation of the acceptability of a sphygmomanometer device in knee extension training following surgical procedures of the knee. *Int J Orthop Trauma Nurs*, 25, 42-47. <https://doi.org/10.1016/j.ijotn.2016.10.003>.

Levinger P, Menz HB, Morrow AD, et al(2012). Lower limb proprioception deficits persist following knee replacement surgery despite improvements in knee extension strength. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 20(6), 1097-1103. <https://doi.org/10.1007/s00167-011-1710-y>.

Lim SJ, Cho SH, Nam GS(2016). The effects of standing balance in anteroposterior and mediolateral directions on knee strengthening in post-total knee replacement. *J Phys Ther Sci*, 28(1), 261-263. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.261>.

Mcbeth JM, Earl-Boehm JE, Cobb SC, et al(2012). Hip muscle activity during 3 side-lying hip-strengthening

- exercises exercises in distance runners. *J Athl Train*, 47(1), 15-23. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.1.15>.
- Medina-Mirapeix F, Vivo-Fernandez I, Lopez-Canizares J, et al(2018). Five times sit-to-stand test in subjects with total knee replacement: reliability and relationship with functional mobility tests. *Gait Posture*, 59, 258-260. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.10.028>.
- Neumann DA(2010). *Kinesiology of the musculoskeletal system: foundations for physical rehabilitation*. 2nd ed, London, Elsevier Health Sciences, pp.560.
- Park DS, Lee DY, Choi SJ, et al(2013). Reliability and validity of the balancia using Wii balance board for assessment of balance with stroke patients. *JKAIS*, 14(6), 2767-2772. <https://doi.org/10.5762/JKAIS.2013.14.6.2767>.
- Pua YH, Liang Z, Ong PH, et al(2011). Associations of knee extensor strength and standing balance with physical function in knee osteoarthritis. *Arthritis Care Res*, 63(12), 1706-1714. <https://doi.org/10.1002/acr.20615>.
- Rossi MD, Everle T, Roche M, et al(2010). Closed-chain exercise after simultaneous bilateral knee replacement surgery: a case report. *Physiother Theory Pract*, 26(3), 204-214. <https://doi.org/10.3109/09593980902751020>.
- Sharma L, Dunlop DD, Cahue S, et al(2003). Quadriceps strength and osteoarthritis progression in malaligned and lax knees. *Ann Intern Med*, 138(8), 613-619. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-138-8-200304150-00006>.
- Suh MJ, Kim BR, Kim SR, et al(2017). Effects of early combined eccentric-concentric versus concentric resistance training following total knee arthroplasty. *Ann Rehabil Med*, 41(5), 816-827. <https://doi.org/10.5535/arm.2017.41.5.816>.
- Yim SJ, Min KD, Lee YK, et al(2009). Efficacy of physiotherapist after total knee arthroplasty. *Knee Surg Relat Res*, 21(4), 258-264.