

Original Article

Open Access

시각적 되먹임의 제공에 따른 일어서기 훈련이 무릎관절 전치환술 환자의 다리 근력과 균형 능력에 미치는 영향

박진 · 박한규†

드림솔병원 물리치료실 근골격계 센터, ¹동주대학교 물리치료과

The Effects of Sit-to-Stand Training with Visual Feedback on the Strength and Balance Ability Patients with Total Knee Replacement

Jin Park, P.T., Ph.D. · Han-Kyu Park, P.T., Ph.D.†

Center of Musculoskeletal, Department of Physical Therapy, Drimsol Hospital

¹Department of Physical Therapy, Dongju College

Received: October 17, 2020 / Revised: October 29, 2020 / Accepted: November 2, 2020

© 2021 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: This study aims to verify the effectiveness of sit-to-stand training with visual feedback to improve balance ability and knee extensor strength of total knee replacement patients.

Methods: In this study, 15 patients with total knee replacement participated in this study. Subjects were assigned to two groups: a feedback group (experimental group)($n=8$) and a control group ($n=7$). They all received 30 min of continuous passive motion (CPM) and sit-to-stand training for 15 min five times per week for two weeks. Knee extensor and balance ability were measured. Knee extensor was measured by Biodex system 3; balance ability was measured by Balancia software.

Results: After the intervention, there was a significant difference in the strengthening of the knee extensor muscles in the feedback group, area 95%, weight distribution of the affected side, and the sit-to-stand test repeated five times ($p < 0.05$).

Conclusion: The results of this study showed that sit-to-stand training with visual feedback was more effective in increasing knee extensor muscle strength and balance ability than the sit-to-stand training without visual feedback. Therefore, in order to improve the knee extensor muscle and the balance of total knee replacement patients, it is necessary to consider providing visual feedback during sit-to-stand training.

Key Words: Total knee replacement, Sit to stand, Balance, Visual feedback

†Corresponding Author : Han-Kyu Park (hanqy@naver.com)

I. 서론

무릎관절은 안정성과 운동성을 동시에 제공하며, 체중의 분산과 지면으로부터 스트레스를 분산시키기 때문에 일상생활을 영위함에 있어 중요한 관절이다 (Iversen, 2010). 이러한 무릎관절은 노화가 진행됨에 따라 퇴행성 관절염이 가장 발병하는 부위로서 통증과 다리 근력의 약화, 관절 형태의 변화, 고유수용성각각 기능의 저하에 따른 균형능력의 감소 등의 형태를 나타낸다(Christanell et al., 2012; Sharma et al., 2003). 퇴행성 무릎관절염을 조절하기 위하여 항염증제와 물리치료 등을 시행하지만 중증 환자의 경우에는 무릎관절 전치환술(total knee replacement, TKR)을 한다. 무릎관절 전치환술은 통증을 조절하는 것에 효과적인 방법이지만 수술 후에도 다리 근력의 약화에 따른 균형 및 보행능력 감소, 일어서기와 계단 보행 같은 기능적인 능력의 감소를 나타낸다(Bade et al., 2010; Levinger et al., 2012).

이러한 점들을 개선하기 위하여 무릎관절 펌근 근력 향상은 무릎관절의 안정성과 움직임 및 기능을 회복함에 있어 중요하다(Yim et al., 2009). Avramidis 등(2003)은 무릎관절 전치환술 환자의 무릎 펌근 근력향상을 위하여 적용한 신경근 전기자극이 다리 근력 향상과 함께 보행속도를 향상시킨다고 보고하였다. Park 등(2012)의 연구에서도 무릎관절 전치환술 환자에게 무릎관절 펌근 근력강화 운동을 실시하는 것이 다리 근력 향상과 보행 지구력을 향상시킨다고 보고하였다. 특히 무릎관절 전치환술 환자의 경우 비대칭적인 체중분포의 형태를 가지기 때문에 재활의 과정에서 다리의 근력강화 운동이 필요하다(Christiansen et al., 2013). Rossi 등(2010)은 무릎관절 전치환술 환자에게 달린사슬에서의 다리 근력강화를 실시하는 것이 양쪽 다리의 대칭적인 체중분포에 효과적임을 보고하였다.

일어서기 동작은 일상생활을 영위함에 있어 빈번하게 일어나는 동작으로써 엉덩관절, 무릎관절과 발목관절에서의 모멘트(moment)를 바탕으로 움직임을 수행하게 된다(Riley et al., 1991). 일어서기 동작을 수

행하기 위해서 관절의 회전력과 좁은 지지면에서 인체의 중심을 이동시키는 능력이 요구되어 균형능력 향상에 효과적인 방법이다(Shumway-Cook et al., 2007). 또한 엉덩관절, 무릎관절과 발목관절의 펌근에 적용한 슬링은 일어서기 자세를 유지하기 위해 같은 길이(isometric) 수축이 요구된다(Millington et al., 1992). 일어서기 훈련의 효과를 검증한 선행연구들을 살펴보면 비대칭적인 자세를 나타내는 대상자에게 일어서기 훈련은 대칭적인 자세를 유도함과 동시에 다리 근력 향상에 효과적인 방법이며, 균형능력 향상에도 효과적인 방법임을 검증하였다(Farqalit & Shahnawaz, 2013; Regterschot et al., 2014; Tung et al., 2010). 특히 일어서기 훈련 동안 시각적 되먹임의 제공은 시각적 정보에 따른 대칭적인 자세로 움직임을 수행하도록 수정하여 균형능력 향상에 효과적인 방법임을 검증하였다(Abujaber et al., 2017).

이러한 선행연구들을 바탕으로 일어서기 훈련 동안 시각적 되먹임의 제공은 다리 근력향상과 균형능력 증진에 아주 효과적인 방법임을 알 수 있으나, 무릎관절 전치환술 환자에게 일어서기 훈련 동안 시각적 되먹임을 제공하여 효과를 알아본 연구는 드문 실정이다. 따라서 본 연구에서는 무릎관절 전치환술 환자에게 일어서기 동작 훈련 동안 시각적 되먹임의 제공이 다리의 근력 향상과 균형능력에 미치는 영향에 대해 검증하고 이를 바탕으로 임상적 정보를 제공하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

2020년 1월부터 5월까지 J시에 위치한 재활병원에 입원한 환자들 중 연구 참여에 동의하여 자발적으로 동의서를 작성한 15명을 대상으로 헬싱키 선언에 입각하여 연구를 실시하였다. 대상자들의 선정 기준은 한쪽 다리에 뼈관절염으로 인한 무릎관절 전치환술을

받은 환자로 치료사의 지시사항을 듣고 따를 수 있는 자, 균형능력에 영향을 줄 수 있는 시력 장애나 안뜰개 손상이 없는 자, 독립적으로 선 자세가 가능한 자로 하였다. 특히, 다리의 다른 수술이나 질병이 있는 자와 뼈관절염이 아닌 다른 원인으로 인한 무릎관절 전치환술 환자는 제외하였다. 대상자들의 일반적인 특성은 다음과 같다(Table 1).

2. 연구 절차

연구에 앞서 대상자들을 각 군에 무작위 배정하기 위하여 제비뽑기를 실시하였다. 대상자들의 진단명과 나이, 성별, 키, 몸무게에 대한 정보는 면접과 의무기록 정보를 조사하여 군 간 동질성을 확보하였다. 시각적 되먹임 제공에 따른 일어서기 훈련을 실시한 되먹임 군(feedback group)은 8명이었으며, 시각적 되먹임 제공 없이 일어서기 훈련만 실시한 대조군(control group)은 7명이었다. 두 군 모두 훈련을 실시하기 전에 지속적인 수동 운동 기구(Artromot K-3 CPM, Ormed, Germany)를 30분간 시행한 다음 일어서기 훈련을 총 2주간, 주 5회, 15분간 실시하였다. 시각적 되먹임 제공에 따른 일어서기 훈련 전과 훈련 후 수술측 다리의 무릎관절 펌근의 근력과 균형능력을 측정하여 변화량을 분석하였다.

일어서기 훈련은 대상자들의 무릎관절 높이에 맞춰 높낮이 조절이 가능한 침대(Bobath table, Kwang-won meditec, Korea)에 앉도록 한 후, 양 손을 가슴 앞에 교차하여 두도록 하였다. 대상자들의 넓다리뼈 절반만 침대에 닿도록 위치를 조절하여 앉고 무릎관절 굽

힘 각도에 맞춰 105°에서 75°로 점진적으로 실시하였다(Tung et al., 2010). 대상자들의 피로를 최대한 줄이기 위하여 10회 실시 후 30초간 쉬도록 하였으며, 통증의 증가나 근 피로를 호소할 경우 중단하도록 하였다. 또한 한 명의 치료사가 대상자의 안전을 위해 가까운 거리에서 위치하여 일어서기 훈련을 올바른 자세로 수행할 수 있도록 언어 정보를 제공하였다(Fig. 1).

되먹임군은 균형능력 측정장비(Balancia software, Mintosys, Korea)를 사용하여 시각적 되먹임을 제공하였다(Fig. 2). 일어서기 훈련을 실시하는 동안 대상자의 발 밑에 Wii Balance Board(Wii Balance Board, Nintendo, Japan)를 위치하여 몸통의 압력중심(center of pressure, COP) 정보를 연결된 모니터를 통해 확인하도록 하여 대칭적인 자세가 이루어지도록 하였다.

대조군은 균형능력 측정장비를 발판에 위치시키고 화면을 제공하지 않은 상태에서 일어서기 훈련을 실시하였다.

3. 평가 방법

대상자들의 무릎관절 펌근의 근력을 측정하기 위하여 Biodex system 3(Biodex Medical System, Shirley, USA)를 사용하였다. 측정에 앞서 예비 연습을 2회 실시한 후 3회 측정하여 최대값을 사용하였다. 측정 동안 근 피로를 최소한으로 줄이기 위하여 무릎관절 전치환술을 실시한 수술 부위와 정상 부위를 교대로 측정하였고, 30초 휴식시간을 제공하였다. 또한 통증이 없는 범위 내에서 무릎 관절 펌근의 근력을 수행하도록 하였다.

Table 1. General characteristics of subjects (n= 15)

Characteristics	Feedback group ^a (n ₁ =8)	Control group ^b (n ₂ =7)	p
Age (years)	66.00±6.14 ^d	66.43±5.97	0.89
Gender (M/F)	4/4	3/4	0.80
Height (cm)	162.25±7.99	167.57±8.56	0.24
Weight (kg)	65.86±9.46	66.29±9.60	0.94
Operation side (Rt/Lt)	5/3	4/3	0.80
VAS ^c (score)	4.13±1.45	3.86±1.68	0.75

^aSit to stand training with visual feedback, ^bSit to stand training without visual feedback, ^cVisual analogue scale, ^dMean±SD



Fig. 1. Sit to stand training with visual feedback.

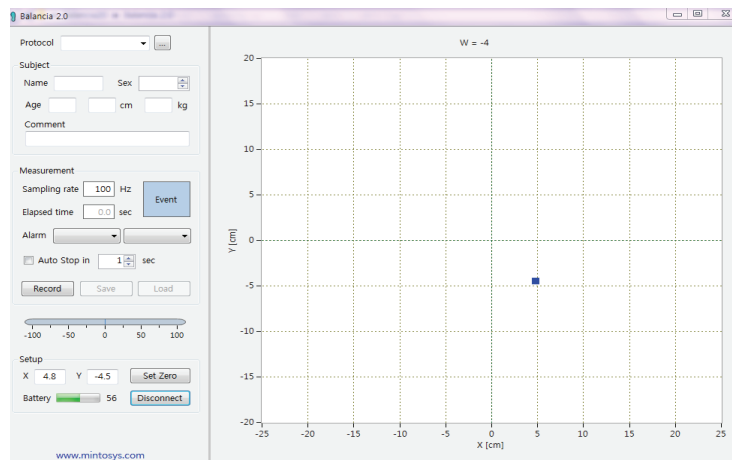


Fig. 2. Balancia software.

균형능력 변화를 측정하기 위하여 균형능력 측정 장비(Balancia software, Mintosys, Korea)를 사용하였다. 이 장비는 대상자의 압력중심을 인식하는 Wii balance board와 컴퓨터 프로그램(Balancia software)을 블루투스로 연결하여 분석된다. 대상자들은 압력판 위에 정면을 바라보며 선 자세 후 양 팔은 팔짱을 끼도록 하고, 1분간 측정을 실시하였으며, 3회 측정 후 평균 값을 통계 처리하였다. 대상자들의 안전을 위하여 연

구자가 가까운 거리에서 보조하였다. 뇌졸중 환자를 대상으로 측정자간 신뢰도는 .79 - .96이었으며, 타당도는 .85-.96로 매우 높은 신뢰도와 타당도를 나타냈다 (Park et al., 2013).

본 연구에서 사용된 변수는 COP의 이동거리를 시간으로 나누는 동요속도 평균(average velocity), COP의 총 이동거리를 의미하는 이동거리(path length), 선 자세 동안 중심을 기준으로 95%의 COP 동요영역을

나타내는 95% 동요영역(area 95%), 수술측 다리의 체중분포도(weight distribution of affected side)이다. 또한 대상자들의 기능적인 균형능력의 변화를 측정하기 위하여 5회동안 반복적으로 앉고 일어서기 평가(five times sit to stand test, FTSST)를 실시하였다. 이 검사는 무릎높이의 의자에 대상자들을 앉도록 하고 양 팔을 가슴앞에 교차시킨 후 가능한 최대한 빠른 속도로 앉았다 일어서기 동작을 5회 반복하는 동안 시간을 측정하는 방법으로 3회 실시하여 평균값을 분석하였다 (Medina-Mirapeix et al., 2018).

4. 자료분석

측정된 값에 대한 통계처리를 위하여 PASW 22.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였으며 Kolmogorov-Smirnov test를 통해 정규성 검정을 실시하였다. 대상자들의 일반적 특성에 대한 동질성 검정은 독립 표본 t-검정(independent t-test)을 실시하였다. 각 군의 훈련 전과 후 근력 및 균형능력 차이를 분석하기 위하여 대응표본 t-검정(paired t-test)을 실시하였다. 군 간 근력 및 균형능력의 차이를 분석하기 위하여 훈련 전 값을 공변량으로 설정한 공분산분석(analysis of covariance)을 실시하였다. 연구에 사용된 자료의 통계학적 유의 수준(p)은 0.05로 검정하였다.

III. 연구 결과

1. 무릎관절 펴근의 근력 변화 비교

일어서기 훈련 전 측정된 양쪽 무릎관절 펴근의 근력에서는 군 간 통계학적 차이는 없었다($p>0.05$). 두 군 모두 훈련 후 양쪽 무릎관절 펴근의 근력이 통계학적으로 유의하게 증가하였다($p<0.05$). 군 간 비교에서는 되먹임군이 대조군과 비교하여 양쪽 모두 무릎관절 펴근의 증가가 나타났다($p<0.05$)(Table 2).

2. 시공간적 균형변수의 훈련 전, 후 변화비교

훈련 전 측정된 균형능력의 군 간 비교에서는 유의한 차이가 없었다($p>0.05$). 되먹임군에서는 균형변수 중 Area 95%와 수술측 다리의 체중분포, FTSST 결과 훈련 후 통계학적으로 유의한 차이가 나타났다($p<0.05$). 대조군에서는 Path length와 Area 95%에서 훈련 전과 비교하여 통계학적으로 유의하게 감소하였다($p<0.05$).

군 간 비교에서는 되먹임군이 대조군과 비교하여 Area 95%가 통계학적으로 유의하게 감소하였으며, 수술측 다리의 체중분포가 증가하였다($p<0.05$). FTSST의 결과에서도 되먹임군이 대조군과 비교하여 통계학적으로 유의한 차이가 나타났다($p<0.05$)(Table 3).

Table 2. Comparison of pre and post training outcome measures of knee extensor strength within and between groups

		Feedback group ^a (n ₁ =8)	Control group ^b (n ₂ =7)	p
Knee extensors (Nm)				
Affected	Pre	30.93±16.10 ^c	27.71±12.57	0.01 [†]
	Post	41.19±21.21	30.94±11.99	
	p	0.00 [*]	0.00 [*]	
Unaffected	Pre	54.64±32.05	54.46±37.93	0.00 [†]
	Post	62.78±32.66	56.67±37.19	
	p	0.00 [*]	0.00 [*]	

^aSit to stand training with visual feedback, ^bSit to stand training without visual feedback, ^cMean±SD, significant difference between pre and post intervention within the group (^{*} $p<0.05$), significant difference between the change values among the groups ([†] $p<0.05$)

Table 3. Comparison of pre and post training outcome measures of balance within and between groups

		Feedback group ^a (n ₁ =8)	Control group ^b (n ₂ =7)	p
Velocity average (cm/s)	Pre	2.78±0.45 ^d	2.68±0.52	0.67
	Post	2.63±0.53	2.54±0.66	
	p	0.05	0.09	
Path length (cm)	Pre	83.51±13.54	80.45±15.60	0.43
	Post	78.78±15.90	77.44±16.33	
	p	0.05	0.01*	
Area 95% (cm ²)	Pre	4.46±2.51	3.85±0.60	0.03 [†]
	Post	2.94±1.98	3.17±0.39	
	p	0.00*	0.01*	
Weight distribution (%)				
Affected	Pre	44.75±1.06	46.25±2.59	0.02 [†]
	Post	48.69±1.56	47.35±1.56	
	p	0.00*	0.18	
FTSST ^c (s)	Pre	15.78±4.62	14.34±4.67	0.03 [†]
	Post	12.40±3.50	13.36±4.04	
	p	0.01*	0.06	

^aSit to stand training with visual feedback, ^bSit to stand training without visual feedback, ^cFive times sit to stand test, ^dMean±SD, significant difference between pre and post intervention within the group (*p<0.05), significant difference between the change values among the groups ([†]p<0.05)

IV. 고찰

본 연구에서는 무릎관절 전치환술 환자에게 일어 서기 동작 훈련 동안 시각적 되먹임의 제공이 다리의 근력 향상과 균형능력에 미치는 영향에 대해 검증하고 이를 바탕으로 임상적 정보를 제공하고자 실시하였다.

무릎관절 펌근의 근력변화 비교 결과 두 군 모두 훈련 전보다 훈련 후가 향상되었다. Tung 등(2010)의 연구에서는 일어서기 훈련이 무릎관절 펌근 근력 향상에 효과적임을 보고하였다. Fujita 등(2019)의 연구에서도 반복적인 일어서기 훈련은 무릎관절 펌근 근력 향상에 효과적인 방법을 보고하였다. 이는 일어서기 동작이 앉은 자세에서 일어서는 동안 3개의 넓은 지지면에서 2개의 좁은 지지면으로의 변화하는 것에 따른 균형능력이 요구되는데, 무릎관절 펌근이 균형을 유지하기 위하여 사용되기 때문이라 하였다. 본 연구에서도 반복적으로 일어서기 훈련을 실시하는 동안 균형능력 유지를 위하여 무릎관절 펌근이 사용되

는 것에 따른 무릎관절 전치환술 환자의 근력이 증가한 것으로 생각된다. 군 간 비교에서는 되먹임군에서 대조군과 비교하여 양쪽 다리 무릎관절 펌근의 향상된 결과가 나타났다. Bouchouras 등(2015)은 한 쪽 무릎의 뼈관절염이 있는 환자의 경우 일어서기 동작 동안 근 수축의 순서에 영향을 미치게 되는데, 비대칭적인 자세로 인하여 일어서기 동작을 수행하는 시간이 길어지고 무릎관절 펌근의 수축이 무릎관절 굽힘근의 수축보다 늦게 발생하며, 펌근의 활성도가 감소한다고 보고하였다. 그러나 체중분포에 대한 대칭성을 향상시키게 되면 일어서기 동작의 수행 시간이 빨라지게 되고, 무릎관절의 펌근에 대한 활성이 증가한다고 보고하였다. 본 연구에서는 시각적 되먹임을 사용하여 일어서기 훈련을 통하여 체중분포도의 대칭성이 향상된 결과가 나타났는데, 일어서기 동작 수행시간이 빨라지게 되고 양쪽 다리의 무릎관절 펌근의 활성이 증가하여 결과적으로 근력이 증가된 것으로 생각된다.

균형능력에 대한 비교 결과 되먹임군에서는 Area

95%와 수술측 다리의 체중분포, FTSST의 결과가 훈련 후 향상된 것으로 나타났고, 대조군에서도 Path length와 Area 95%가 향상된 것으로 나타났다. 이는 일어서기 훈련을 통하여 균형능력의 향상된 결과를 이끌어 낼 수 있음을 뜻한다. 선행연구를 살펴보면 Tung 등(2010)의 연구에서 뇌졸중 환자에게 반복적으로 일어서기 훈련이 균형능력 향상에 효과적임을 보고하였다. Yamashita 등(2012)의 연구에서는 반복적으로 일어서기 훈련이 한 발 서기 훈련보다 균형능력 향상에 효과적인 방법을 검증하였다. 이는 일어서기 동작이 넓은 지지면에서 좁은 지지면으로 낮은 중력중심에서 높은 중력중심으로 이동되는 과정을 반복하는 것에 따른 균형능력이 요구되기 때문에 나타난 결과라 보고하였다. 본 연구에서도 일어서기 훈련을 실시하여 균형능력의 향상된 결과가 나타났는데, 이는 반복적인 일어서기 훈련을 실시하는 것에 따른 지지면과 중력중심의 변화에 대응하기 위하여 무릎관절 펴근의 향상된 결과가 나타났고, 이를 바탕으로 균형능력이 향상된 것으로 생각된다.

시각적 되먹임 제공에 따른 일어서기 훈련을 실시한 되먹임군은 일어서기 훈련만 실시한 대조군과 비교하여 Area 95%, 수술측 다리의 체중분포, FTSST의 향상된 결과가 나타났다. Abujaber 등(2017)의 연구에서는 엉덩관절 전치환술 환자에게 일어서기 훈련을 실시하는 동안 양 다리의 체중분포도를 시각적 되먹임으로 제공하는 것이 양 다리의 대칭성 향상에 효과적인 방법이며 이를 통해 균형능력이 향상됨을 보고하였다. Foo 등(2013)의 연구에서도 신체적인 장애로 인하여 비대칭적인 자세를 가지고 있는 대상자에게 일어서기 훈련을 실시하는 동안 체중분포도를 시각적 되먹임으로 제공하는 것이 대칭적인 자세를 유도하고 균형능력 향상에 효과적인 방법임을 검증하였다. 이는 일어서기 동작을 실시하는 것은 엉덩관절, 무릎관절과 발목관절 등의 움직임이 일어나야 하는데 수술측 다리에서의 움직임을 시각적 되먹임을 통하여 촉진하게 됨으로써 대칭성이 증가된 결과로 나타난 것이라 하였다. 본 연구에서도 되먹임군에서 수술측 다

리의 체중분포가 증가된 것에 따른 대칭성이 향상된 결과가 나타났다. 특히 한쪽 무릎관절 전치환술 환자에게 있어서 양쪽 다리의 대칭을 이끌어내는 것은 낙상의 예방과 근육뼈대계 측면에서 중요하게 고려해야 할 요소이다. 이를 위해 일어서기 훈련을 실시하는 것은 대칭적인 자세를 유도함에 있어 장점이 있다. 본 연구에서의 대칭적인 자세의 향상된 결과는 COP이동 경로를 시각적 되먹임을 통하여 확인하며 일어서기 훈련을 실시함으로써 수술측 다리로의 움직임을 유도하는 운동조절을 이끌어내기 때문이라고 생각된다.

본 연구에서는 무릎관절 전치환술 환자의 다리 근력 향상과 균형능력 향상을 위하여 일어서기 훈련을 실시하였는데, 일어서기 동작은 무릎관절 펴근의 역할 뿐 아니라 발목관절이나 엉덩관절, 척추 등의 영향을 받기 때문에 이와 관련된 근력의 평가가 이루어지지 않아 향상된 균형능력에 대한 연관성을 검증하는 것에 제한이 있다. 또한 일어서기 훈련을 올바른 자세로 할 수 있도록 옆에서 치료사가 관찰하였으나, 지속적인 자세를 유지하며 실시하였는가에 대한 부분은 조절하지 못하였다. 따라서 추후 연구에서는 무릎관절 전치환술 환자에게 일어서기 훈련을 통한 여러 관절에서의 근력 평가와 동작에 대한 기준을 명확하게 하여 훈련을 실시하고 균형능력과의 연관성을 검증해야 할 것이다.

V. 결론

본 연구는 무릎관절 전치환술을 시행한 환자에게 일어서기 동작 훈련 동안 시각적 되먹임을 제공하는 것이 다리 근력과 균형능력에 미치는 영향에 대해 검증하고 이를 바탕으로 임상적 정보를 제공하고자 실시하였다.

무릎관절 전치환술 환자에게 일어서기 훈련 시 시각적 되먹임을 제공하는 것은 수술측 다리에서의 움직임을 촉진하여 무릎관절 펴근 근력 강화 및 균형능력의 향상된 결과가 나타났다. 따라서 무릎관절 전치

환술 환자에게 무릎관절 펌근 근력 강화와 균형능력 향상을 위하여 일어서기 훈련을 실시하고자 한다면 시각적 되먹임을 이용한 방법도 고려하여야 할 것이다.

References

- Abujaber S, Pozzi F, Zeni Jr J. Influence of weight bearing visual feedback on movement symmetry during sit to stand task. *Clinical Biomechanics*. 2017;47:110-116.
- Avramidis K, Strike PW, Taylor PN, et al. Effectiveness of electric stimulation of the vastus medialis muscle in the rehabilitation of patients after total knee arthroplasty. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2003;84(12):1850-1853.
- Bade MJ, Kohrt WM, Stevens-Lapsley JE. Outcomes before and after total knee arthroplasty compared to healthy adults. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*. 2010;40(9):559-567.
- Bouchouras G, Patsika G, Hatzitaki, et al. Kinematics and knee muscle activation during sit-to-stand movement in women with knee osteoarthritis. *Clinical biomechanics*. 2015;30(6):599-607.
- 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 Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology*. 2012;4(1):41.
- Christiansen CL, Bade MJ, Weitzenkamp DA, et al. Factors predicting weight-bearing asymmetry 1 month after unilateral total knee arthroplasty: a cross-sectional study. *Gait & posture*. 2013;37(3):363-367.
- Farqalit R, Shahnawaz A. Effect of foot position during sit-to-stand training on balance and upright mobility in patients with chronic stroke. *Hong Kong Physiotherapy Journal*. 2013;31(2):75-80.
- Foo J, Paterson K, Williams G, et al. Low-cost evaluation and real-time feedback of static and dynamic weight bearing asymmetry in patients undergoing in-patient physiotherapy rehabilitation for neurological conditions. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. 2013;10(1):1-8.
- Fujita E, Taaffe DR, Yoshitake Y, et al. Repeated sit-to-stand exercise enhances muscle strength and reduces lower body muscular demands in physically frail elders. *Experimental Gerontology*. 2019;116:86-92.
- Iversen MD. Managing hip and knee osteoarthritis with exercise: what is the best prescription? *Therapeutic Advances in Musculoskeletal disease*. 2010;2(5):279-290.
- Levinger P, Menz HB, Morrow AD, et al. Lower limb proprioception deficits persist following knee replacement surgery despite improvements in knee extension strength. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2012;20(6):1097-1103.
- Medina-Mirapeix F, Vivo-Fernandez I, Lopez-Canizares J, et al. Five times sit-to-stand test in subjects with total knee replacement: reliability and relationship with functional mobility tests. *Gait & posture*. 2018;59:258-260.
- Millington PJ, Myklebust BM, Shambes GM. Biomechanical analysis of the sit-to-stand motion in elderly persons. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 1992;73(7):609-617.
- Park D, Kim J, Lee H. Effectiveness of modified quadriceps femoris muscle setting exercise for the elderly in early rehabilitation after Total knee arthroplasty. *Journal of physical therapy science*. 2012;24(1):27-30.
- Park DS, Lee DY, Choi SJ, et al. Reliability and validity of the balancia using wii balance board for assessment of balance with stroke patients. *Journal of the Korea*

- Academia Industrial cooperation Society. 2013;14(6):2767-2772.
- Regterschot GRH, Folkersma M, Zhang W, et al. Sensitivity of sensor-based sit-to-stand peak power to the effects of training leg strength, leg power and balance in older adults. *Gait & posture*. 2014;39(1):303-307.
- Riley PO, Schenkman ML, Mann RW, et al. Mechanics of a constrained chair-rise. *Journal of biomechanics*. 1991;24(1):77-85.
- Rossi MD, Everle T, Roche M, et al. Closed-chain exercise after simultaneous bilateral knee replacement surgery: a case report. *Physiotherapy theory and practice*. 2010;26(3):204-214.
- Sharma L, Dunlop DD, Cahue S, et al. Quadriceps strength and osteoarthritis progression in malaligned and lax knees. *Annals of internal medicine*. 2003;138(8):613-619.
- Shumway-Cook A, Silver IF, LeMier M, et al. Effectiveness of a community-based multifactorial intervention on falls and fall risk factors in community-living older adults: a randomized, controlled trial. *Journal of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*. 2007;62(12):1420-1427.
- Tung FL, Yang YR, Lee CC, et al. Balance outcomes after additional sit-to-stand training in subjects with stroke: a randomized controlled trial. *Clinical rehabilitation*. 2010;24(6):533-542.
- Yamashita F, Iwamoto J, Osugi T, et al. Chair rising exercise is more effective than one-leg standing exercise in improving dynamic body balance: a randomized controlled trial. *Journal of musculoskeletal & neuronal Interactions*. 2012;12(2):74-79.
- Yim SJ, Min KD, Lee YK, et al. Efficacy of physiotherapist after total knee arthroplasty. *Knee Surgery & Related Research*. 2009;21(4):58-64.