Effects of Repetitive Sit to Stand Training on the Knee Extensor Strength and Walking Ability in Subject with Total Knee Replacement Patients

Jin Park

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

Purpose: The purpose of this study was to verify the effectiveness of repetitive sit to stand training to improve knee extensor strength and walking ability of total knee replacement patients.

Methods: In this study, 12 patients with total knee replacement patients were recruited from a rehabilitation hospital. They were divided into two groups: a repetitive sit to stand group (n=6) and a control group (n=6). They all received 30 minutes of continuous passive motion (CPM). After that, the repetitive sit to stand group performed repetitive sit to stand training, and the control group performed resistance exercise for 15 minutes five times a week for 2 weeks. After 2 weeks of training, knee extensor strength and spatiotemporal gait parameters were measured. Knee extensor strength was measured by Biodex system 3, walking ability was measured by Biodex gait trainer 2. Paired t test was performed to verify the difference between before and after intervention within the group, and analysis of covariance was used to verify the differences between the two groups.

Results: After the training periods, the repetitive sit to stand group showed a significant improvement in knee extensor muscle strength, walking speed, step length of the operated side, and step length of the non-operated side ($p < 0.05$).

Conclusion: The results of this study showed that repetitive sit to stand training was more effective in improving knee extensor muscle strength and walking ability. Therefore, to strengthen knee extensor muscles and improve the walking ability of total knee replacement patients, it is necessary to consider repetitive sit to stand training.

Keywords: Gait, Repetitive sit to stand, Strength, Total knee replacement

서론

무릎관절은 체중을 분산시키고 지면으로부터의 스트레스를 흡수하여 안정성과 운동성을 동시에 제공하는 중요한 관절이다.¹ 무릎관절은 노화가 진행되는 것에 따른 다리 근력의 약화와 관절 형태의 변화로 인하여 퇴행성 관절염이 호발되는 관절로써, 균형능력과 보행능력의 감소 등의 형태를 나타낸다.² 임상에서 퇴행성 무릎관절염은 약물치료와 물리치료, 운동치료 등을 실시하여 예방 및 관리하지만 상태가 심한 중증 환자는 무릎관절 전치환술(total knee replacement, TKR)을 실시한다. 무릎관절 전치환술은 통증을 조절하고 일상생활을 영위함에 있어 도움이 되지만 다리 근력의 약화로 인해 균형능력 및 보행능력이 감소된다.^{3,4}

무릎관절 전치환술 환자의 보행특성을 살펴보면 수술측 무릎관

절 편근의 근력 약화에 따른 체중지지 능력의 감소와 반대측 보장의 감소, 통증으로 인한 절뚝거리기 보행, 보행속도와 보행지구력이 감소된 형태를 나타낸다.⁵ 이러한 무릎관절 전치환술 환자의 보행능력을 향상시키기 위하여 편근의 근력은 중요하게 고려해야 할 요소이다.⁶ 특히 한쪽에 무릎관절 전치환술 환자는 무릎관절 편근의 약화에 따른 비대칭적인 체중분포 형태가 나타나기 때문에 대칭성을 향상시키기 위한 무릎관절 편근의 근력 강화가 필요하다.⁷

Suh 등⁸은 한쪽 무릎관절 전치환술 환자의 경우 무릎관절 편근의 근력 향상이 보행속도와 분속수, 활보에 영향을 미친다고 보고하였다. 또한 저항훈련 장비를 이용하여 무릎관절 편근에 대한 근력 강화 훈련이 무릎관절 전치환술 환자의 보행지구력과 보행속도 향상에 효과적임을 검증하였다.⁹ Teissier 등¹⁰은 무릎관절 편근의 근력 강화를 위한 프로그램을 무릎관절 전치환술 환자에게 적용 시 보행속도

Received Jan 14, 2021 Revised Feb 08, 2021

Accepted Feb 11, 2021

Corresponding author Jin Park

E-mail mnipj1119@gmail.com

Copyright ©2021 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.

의 향상된 결과를 보고하였다. 이를 통해 무릎관절 펌근의 근력 향상이 보행능력 향상에 효과적인 방법임을 알 수 있는데, Rossi 등¹¹은 무릎관절 전치환술 환자의 무릎관절 펌근에 대한 재활 과정에서 닫힌 사슬에서의 근력 강화를 실시하는 것이 효과적임을 보고하였다.

일어서기 동작은 엉덩관절, 무릎관절, 발목관절의 펌근들이 일어서기 자세를 유지하기 위한 등척성 수축이 요구되며, 일어서기 동작의 반복은 닫힌사슬에서 무릎관절 펌근에 대한 근력 강화가 가능하다.^{12,13} Resterschot 등¹⁴은 반복적인 일어서기 훈련이 무릎관절 펌근의 근력 향상에 효과적인 방법이며, 비대칭적인 자세를 나타내는 대상자에게 반복적인 일어서기 훈련은 무릎관절 펌근의 근력 향상에 따른 대칭적인 자세의 유도에 효과적인 방법임을 검증하였다. Yamashita 등¹⁵의 연구에서는 관절염이 있는 대상자에게 반복적인 일어서기 훈련을 실시하는 것이 한발서기 훈련보다 보행속도의 향상된 결과가 나타난다고 보고하였다. Matsufuji 등¹⁶의 연구에서도 이동능력이 감소되어 있는 대상자에게 반복적인 일어서기 훈련을 통하여 보행지구력의 향상된 결과를 보고하였다.

이러한 선행 연구들을 바탕으로 반복적으로 일어서기 훈련은 무릎관절 펌근의 근력 향상과 보행능력 향상에 효과적인 방법임을 알 수 있다. 그러나 선행 연구들은 무릎관절 전치환술 환자가 아닌 대상자들을 바탕으로 연구를 실시하였기 때문에 무릎관절 펌근의 약화와 감소된 보행능력을 나타내는 한쪽 무릎관절 전치환술 환자에게 반복적인 일어서기 훈련에 따른 검증이 필요하다. 따라서 본 연구는 한쪽 무릎관절 전치환술 환자에게 반복적인 일어서기 훈련이 무릎관절 펌근의 근력 향상과 보행능력에 미치는 영향에 대해 검증하고 임상적 정보를 제공하고자 하였다.

연구 방법

1. 연구대상

2020년 1월부터 5월까지 1시에 위치한 재활전문병원에 입원 환자 중 헬싱키 선언에 입각하여 연구의 목적을 이해하고 참여에 동의한 대상자를 바탕으로 연구를 실시하였다. 총 15명 중 통증으로 인한 보행변수의 측정이 어려운 3명을 제외한 12명이 연구에 참여하였다. 연구에 참여한 대상자들은 뼈관절염으로 인한 한쪽 다리에 무릎관절 전치환술을 받은 환자로서 독립적인 서기가 가능하고 균형능력에 영향을 줄 수 있는 안뜰제 손상이나 시력 장애가 없는 자, 연구자의 지시사항을 이행할 수 있는 자, 무릎관절 펌근의 도수근력검사 점수가 3점 이상인 자, 보조도구 도움 없이 보행이 가능한 자로 하였으며, 뼈관절염이 아닌 외부적인 손상 등에 의한 무릎관절 전치환술 환자는 제외하였다. 대상자들의 일반적인 특성은 Table 1과 같으며, 통계학적 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).

Table 1. General characteristics of subjects

(N = 12)

Characteristics	STS group (n = 6)	Control group (n = 6)	p
Age (yr)	67.3±6.5	66.0±5.6	0.71
Gender (M/F)	2/4	1/5	0.55
Height (cm)	158.7±4.9	165.5±6.6	0.07
Weight (kg)	65.0±10.1	66.2±10.3	0.85
Operation side (Rt/Lt)	2/4	3/3	0.09
Duration (week)	3.17±0.8	2.83±0.8	0.46
VAS (score)	4.2±1.6	3.3±1.0	0.31

Mean±standard deviation.

STS: Sit to stand training, VAS: Visual analogue scale.

2. 측정 도구

Biodex system 3 (Biodex Medical System, Shirley, USA)를 이용하여 대상자들의 중재 전과 후의 무릎관절 펌근의 근력을 측정하였다. 2회 예비 연습을 실시한 후 3회 측정값 중 최대값을 사용하였다. 근 피로를 최소화하기 위하여 통증이 없는 범위 내에서 무릎관절 전치환술을 실시한 부위와 정상 부위를 번갈아 가며 측정하였고, 30초 동안 휴식 시간을 제공하였다.

보행능력 변화를 측정하기 위하여 Biodex gait trainer 2 (Biodex Medical System, Shirley, USA)를 이용하였다. 측정에 앞서 대상자들의 일반적 정보를 입력하고 편안한 속도로 3분 동안 보행능력 측정장비에서 보행하도록 하여 장비에 익숙해지도록 하였다. 이후 연구자가 0.3 km/h의 속도로 시작하여 0.1 km/h씩 증가시켜 편안한 속도에서 5분 동안 보행을 실시하여 측정된 데이터를 통계처리 하였다. 연구에 사용된 시공간적 보행변수는 보행속도(gait speed), 보행주기(step cycle), 수술측과 비수술측의 보장(step length), 수술측 디딤기 비율(time on each foot)이다.

3. 실험절차

연구대상자들을 제비뽑기를 실시하여 각 군에 무작위 배정하고, 대상자들의 나이, 성별, 키, 몸무게, 통증에 대한 정보를 면접과 의무기록을 바탕으로 획득하여 군 간 동질성을 확보하였다. 반복적인 일어서기 훈련을 실시한 군(Sit to stand group, STS group)은 6명이었으며, 장비를 이용하여 저항훈련을 실시한 대조군(Control group)은 6명이었다. 두 군 모두 훈련에 앞서 지속성 수동 운동 기구(Artromot K-3 continuous passive motion, Ormed, Freiburg, Germany)를 30분간 실시하였다. 이후 반복적인 일어서기 훈련을 실시한 군은 일어서기 동작을 15분간 실시하였고, 장비를 이용하여 저항훈련을 실시한 군은 15분간 저항운동을 실시하였다. 주 5회, 총 2주간 실시하였으며 훈련 전과 훈련 후 무릎관절 펌근의 근력과 시공간적 보행변수를 측정하여 변화량을 분석하였다.

일어서기 훈련은 대상자들의 무릎관절 높이에 맞게 높낮이 조절

침대(Bobath table, Kwang-won meditec, Busan, Korea)를 조절하여 앉도록 하고, 양 손은 가슴 앞에 교차하여 두도록 하였다. 대상자들의 넓다리뼈 절반이 침대에 닿도록 앉은 상태에서 각도계를 이용하여 무릎관절 굽힘 각도를 105°에서 75°로 점진적으로 변화시켜 일어서기 훈련을 실시하였다.¹⁷ 대상자들의 피로를 최소화하기 위해 10회 실시 후 30초간 쉬도록 하였다. 한 명의 치료사가 근접한 거리에 위치하여 대상자들의 안전을 확보하였으며, 통증이나 피로를 호소할 경우 중단하도록 하였다. 또한 일어서기 훈련을 대칭적인 자세로 수행할 수 있도록 언어로 강조하였다(Figure 1).

저항훈련은 저항운동 장비(MET 200, CyberMedic, Iksan, Korea)를

Figure 1. Sit to stand training. (A) Start position, (B) End position.

이용하여 실시하였다. 저항운동 장비에 허리를 곧게 펴고 앉은 상태에서 무릎관절 펴 동작을 실시하는 동안 대상자들의 1회 반복 최대 무게(1 repetition maximum, 1RM)를 측정하고 1RM의 70% 저항을 제공하여 훈련을 실시하였다. 대상자들의 피로를 최소화하기 위하여 10회 실시 후 30초간 쉬도록 하였으며, 통증이나 피로를 호소할 시 중단하도록 하였다(Figure 2).

4. 통계분석

대상자들의 측정된 값에 대한 통계처리를 위하여 SPSS 22.0 (SPSS Inc., Chicago, USA)을 통하여 분석하였다. Kolmogorov-Smirnov test를 통해 정규성검정을 실시하였고, 두 군간의 일반적 특성에 대한 동질성 검정을 위하여 독립 표본 t-검정(independent t-test)을 실시하였다. 각 군의 근력과 시공간적 보행변수의 전과 후 차이를 분석하기 위하여 윌콕슨 부호-순위 검정(Wilcoxon matched-pairs signed ranks test)을 실시하였다. 군 간 근력과 시공간적 보행변수의 차이를 검증하기 위하여 만-휘트니 검정(Mann-Whitney U test)을 실시하였다. 자료의 모든 통계학적 유의 수준은 0.05로 검정하였다.

결 과

1. 무릎관절 펴기의 근력 변화 비교

중재 전 양쪽 무릎관절 펴기에 대한 측정값에는 두 군 간 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 두 군 모두 중재 전과 비교하여 중재 후 양쪽 무릎관절 펴기의 근력이 통계학적으로 유의하게 향상되었다($p < 0.05$). 군 간 비교에서는 일어서기 훈련군이 대조군과 비교하여 양쪽 무릎

Figure 2. MET resistance training. (A) Start position, (B) End position.

Table 2. Comparison of knee extensors strength variables within and between groups (N = 12)

	STS group (n=6)	Control group (n=6)	p
Knee extensors (Nm)			
Operation side			
pre	30.58±17.83	29.40±7.29	0.03 [†]
post	38.73±17.60	34.33±8.24	
p	0.03 [*]	0.03 [*]	
Non-operation side			
pre	47.17±25.47	48.48±16.69	0.02 [†]
post	53.38±25.84	50.82±15.67	
p	0.03 [*]	0.03 [*]	

Mean±standard deviation.

STS: sit to stand training.

*Within-group change from pre to post intervention, [†]Between-group comparison on the change from pre to post intervention.

관절 펌근의 향상된 결과가 나타났다(p<0.05)(Table 2).

2. 시공간적 보행변수의 변화 비교

중재 전 측정된 모든 시공간적 보행변수에서는 두 군 간 유의한 차이가 없었다(p>0.05). 반복적인 일어서기 훈련 군에서는 보행속도, 수술측과 비수술측의 보장, 수술측 디딤기 비율의 향상된 결과가 나타났다(p<0.05). 대조군에서는 보행속도와 수술측과 비수술측의 보장이 중재 후 향상된 결과가 나타났다(p<0.05). 군 간 비교에서는 반복적인 일어서기 훈련군에서 보행속도와 수술측과 비수술측의 보장이 대조군과 비교하여 향상된 결과가 나타났다(p<0.05)(Table 3).

고 찰

본 연구에서는 한쪽 무릎관절 전치환술 환자에게 반복적인 일어서기 훈련의 적용이 무릎관절 펌근의 근력 향상과 보행능력에 미치는 영향에 대해 검증하여 임상적 정보를 제공하고자 실시하였다.

무릎관절 펌근 근력에 대한 결과 두 군 모두 중재 전과 비교하여 중재 후 향상되었다. 이는 두 군 모두 무릎관절 펌 동작을 반복적으로 실시하는 것에 따른 근력을 향상시켜 줄 수 있는 운동 방법임을 뜻한다. Fujita 등¹⁸의 연구에서는 반복적인 일어서기 훈련이 무릎관절 펌근 근력 향상에 효과적인 방법임을 보고하였다. Resterschoot 등¹⁴의 연구에서도 반복적인 일어서기 훈련이 무릎관절 펌근 근력 향상에 효과적인 방법임을 보고하였는데, 이는 일어서기 동작을 수행하기 위해서는 넓은 지지면에서 좁은 지지면으로 변화하는 동안 체간을 안정적으로 조절하기 위하여 펌근들의 역할이 중요하기 때문에 반복적으로 사용되는 것에 따른 무릎관절 펌근의 근력이 향상된 결과가 나타난 것이라 하였다. 본 연구에서도 반복적인 일어서기 훈련을 실시하는 동안 지지면의 변화에 맞춰 체간을 안정적으로 유지하기

Table 3. Comparison of pre and post training outcome measures of walking ability within and between groups (N = 12)

	STS group (n=6)	Control group (n=6)	p
Speed (m/s)			
pre	0.30±0.18	0.30±0.13	0.01 [†]
post	0.39±0.22	0.32±0.12	
p	0.03 [*]	0.04 [*]	
Cycle (steps/min)			
pre	0.60±0.10	0.59±0.12	0.26
post	0.64±0.13	0.62±0.15	
p	0.04 [*]	0.79	
Step length (cm)			
Operation side			
pre	29.67±15.33	29.33±15.97	0.08
post	33.67±14.62	32.00±15.30	
p	0.03 [*]	0.03 [*]	
Non-operation side			
pre	24.83±14.16	25.33±13.74	<0.001 [†]
post	30.83±13.67	27.50±12.44	
p	0.03 [*]	0.04 [*]	
Time on each foot (%)			
Operation side			
pre	44.67±3.33	44.83±2.23	0.62
post	47.67±2.16	46.83±1.83	
p	0.04 [*]	0.10	

Mean±standard deviation.

STS: sit to stand training.

*Within-group change from pre to post intervention, [†]Between-group comparison on the change from pre to post intervention.

위하여 무릎관절 펌근이 반복적으로 사용되는 것에 따른 근력의 향상된 결과가 나타난 것으로 생각된다. 대조군에서도 무릎관절 펌근의 근력이 향상된 결과가 나타났는데, 일어서기 훈련군과 유사하게 무릎관절 펌근에 제공되는 저항에 대하여 반복적으로 사용되는 것에 따른 결과로 볼 수 있다.

시공간적 보행변수에 대한 결과에서는 반복적인 일어서기 훈련을 실시한 군에서 보행속도, 수술측과 비수술측의 보장, 보행동안의 수술측 디딤기 비율이 향상된 결과가 나타났고, 대조군에서도 보행속도, 수술측 비수술측의 보장이 향상된 결과가 나타났다. Scarborough 등¹⁹은 무릎관절 펌근의 근력 향상은 보행 시 디딤기에 영향을 미치게 되어 보행능력 향상과 관련이 있다고 보고하였다. Furu 등²⁰의 연구에서는 무릎관절 전치환술 환자에게 있어 무릎관절 펌근의 근력에 따라 보행속도에 영향을 미치게 되며 보행능력과의 상관성을 검증하였는데, 이는 무릎관절 펌근은 무릎관절의 안정성에 관여를 하기 때문에 펌근의 근력 향상은 무릎관절 안정성의 증가와 관련이 있고, 보행능력 향상에 영향을 미치게 된다고 하였다. 본 연구에서 두 군에 각 실시한 반복적인 일어서기 훈련과 장비를 이용한 저항훈련은 무릎관절 펌근의 근력을 향상시키는 것으로 나타났는데, 이에 따른

보행 동안 디딤기에 영향을 미치게 되고 무릎관절 안정성을 향상시키는 것에 따른 보행능력의 향상된 결과가 나타난 것으로 생각된다.

군 간 비교에서는 반복적인 일어서기 훈련을 실시한 군이 대조군과 비교하여 무릎관절 펌근의 근력과 보행속도, 수술측 비수술측의 보장이 향상된 결과가 나타났다. 선행연구에서는 반복적으로 일어서기 훈련을 실시하는 것이 무릎관절 펌근의 근력 향상을 이끌어내고 보행능력의 향상된 결과가 나타난다고 보고하였다.¹⁵ 특히 Suh 등⁹의 연구에서는 무릎관절 전치환술 환자에게 무릎관절 펌근에 대한 신장성 수축과 단축성 수축이 결합된 운동방법이 단축성 수축만 실시하는 운동방법과 비교하여 보행속도 향상에 효과적이라고 보고하였다. 이는 무릎관절 펌근은 신장성 수축과 단축성 수축을 결합하여 실시할 때, 단축성 수축을 발생시키는 방법과 비교하여 근력의 향상된 결과가 나타나는데, 특히 신장성 수축은 단축성 수축과 비교하여 적은 에너지의 소비로 큰 힘을 형성시킬 수 있는 방법이기 때문이라 하였다. 본 연구에서 실시한 일어서기 동작의 반복은 신장성 수축과 단축성 수축이 결합된 방법으로써 단축성 수축만 발생하는 대조군과 비교하여 무릎관절 펌근의 근력을 향상시키고, 보행동안 디딤기에 영향을 미치는 것에 따른 보행변수의 향상된 결과가 나타난 것으로 생각된다.

본 연구에서는 일어서기 훈련을 실시한 군에서는 반복적인 일어서기 훈련을 대조군에서는 저항운동 장비를 이용한 근력 강화 운동을 실시하였다. 반복적인 일어서기 훈련은 시작자세에서 무릎관절 굽힘의 각도를 다르게 하고 수행여부에 따라 변화시켜 근력 강화를 실시하였고, 대조군은 무게를 변화시켜 근력 강화를 실시하였다. 그러나 각 군의 운동방법에 따른 무게의 일반화가 이루어지지 않아 운동방법에 따라서 무게부하의 변화가 근력의 변화에 영향을 미치게 될 수 있다.²¹ 따라서 운동방법에 따른 무게부하의 일반화 과정이 필요하다.

본 연구의 제한점은 한쪽 무릎관절 전치환술을 실시한 대상자들이 반복적인 일어서기 동작을 수행하는 동안 대칭적인 자세로 수행할 수 있도록 치료가 관찰하며 지시하였으나, 지속적으로 올바른 자세가 유지되었는가에 대한 부분을 확인하기 어려웠다. 또한 대상자들이 비대칭적인 자세를 가지고 있기 때문에 반복적으로 움직임을 실시하는 것에 따른 통증을 호소하는 경우가 있어 임상에서 반복적인 일어서기 훈련을 실시하고자 한다면 대칭적인 자세와 통증을 고려해야 할 것이다. 일어서기 동작은 무릎관절 펌근의 역할과 동시에 엉덩관절과 발목관절, 척추의 영향을 받는데 이와 관련된 근력들의 평가가 이루어지지 않아 변화된 보행능력과의 상관성을 검증하는 것에 제한이 있다. 추후 연구에서는 한쪽 무릎관절 전치환술 환자에게 반복적인 일어서기 훈련을 실시하는 것에 따른 여러 관절에서의 근력 평가를 통하여 보행능력과의 상관성을 검증해야 할 것이다. 또한 대상자들의 병원 입원기간 동안만 연구가 이루어졌기 때문에

연구기간이 짧아 장기간 훈련하는 방법과 직접 비교를 통한 효과 검증이 필요하다.

한쪽 무릎관절 전치환술 환자는 무릎관절 펌근의 약화에 따른 비대칭적인 체중분포와 비정상적인 보행의 형태를 보이게 된다. 이에 본 연구에서는 한쪽 무릎관절 전치환술 환자에게 반복적인 일어서기 훈련을 적용하여 장비를 이용하여 저항훈련을 실시하는 것 보다 근력과 시공간적 보행변수 중 보행속도, 수술측 비수술측의 보장이 향상된 결과가 나타났다. 이는 일어서기 훈련이 신장성 수축과 단축성 수축의 결합된 운동 방법으로 단축성 수축만 발생하는 저항훈련에 비하여 무릎관절 펌근의 근력을 효율적으로 향상시킬 수 있는 방법이기 때문이다. 따라서 임상에서 한쪽 무릎관절 전치환술 환자의 무릎관절 펌근의 근력 향상과 보행능력의 향상을 이끌어내고자 한다면 반복적인 일어서기 훈련을 실시하는 것을 권장한다.

REFERENCES

- Iversen MD. Managing hip and knee osteoarthritis with exercise: what is the best prescription?. *Ther Adv Musculoskelet Dis.* 2010;2(5):279-90.
- 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.
- 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):559-67.
- Levinger P, Menz HB, Morrow AD et al. Lower limb proprioception deficits persist following knee replacement surgery despite improvements in knee extension strength. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012;20(6):1097-103.
- Bączkiewicz, D, Skiba G, Czerner M et al. Gait and functional status analysis before and after total knee arthroplasty. *Knee.* 25(5):888-96.
- Yim SJ, Min KD, Lee YK et al. Efficacy of physiotherapist after total knee arthroplasty. *Knee Surg Relat Res.* 2009;21(4):258-64.
- Christiansen CL, Bade MJ, Weitzkamp DA et al. Factors predicting weight-bearing asymmetry 1 month after unilateral total knee arthroplasty: a cross-sectional study. *Gait Posture.* 2013;37(3):363-7.
- Suh MJ, Kim BR, Kim SR et al. Bilateral quadriceps muscle strength and pain correlate with gait speed and gait endurance early after unilateral total knee arthroplasty: a cross-sectional study. *Am J Phys Med Rehabil.* 2019;98(10):897-905.
- Suh MJ, Kim BR, Kim SR et al. Effects of exrally combined eccentric-concentric versus concentric resistance training following total knee arthroplasty. *Ann Rehabil Med.* 2017;41(5):816-27.
- Teissier V, Leclercq R, Schiano-Lomoriello S et al. Does eccentric-concentric resistance training improve early functional outcomes compared to concentric resistance training after total knee arthroplasty? *Gait Posture.* 2020;79:145-51.
- Rossi MD, Everle T, Roche M et al. Closed-chain exercise after simultaneous bilateral knee replacement surgery: a case report. *Physiother The-*

- ory Pract. 2010;26(3):204-14.
12. Millington PJ, Myklebust BM, Shambes GM. Biomechanical analysis of the sit-to-stand motion in elderly persons. *Arch Phys Med Rehabil.* 1992;73(7):609-17.
 13. Riley PO, Schenkman ML, Mann RW et al. Mechanics of a constrained chair-rise. *J Biomech.* 1991;24(1):77-85.
 14. 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):303-7.
 15. 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. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2012;12(2):74-9.
 16. Matsufuji S, Shoji T, Yano Y et al. Effect of chair stand exercise on activity of daily living: a randomized controlled trial in hemodialysis patients. *J Ren Nutr.* 2015;25(1):17-24.
 17. Tung FL, Yang YR, Lee CC et al. Balance outcomes after additional sit-to-stand training in subjects with stroke: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2010;24(6):533-42.
 18. 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. *Exp Gerontol.* 2019;116:86-92.
 19. Scarborough MD, Krebs DE, Harris BA. Quadriceps muscle strength and dynamic stability in elderly persons. *Gait Posture.* 1999;10(1):10-20.
 20. 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.
 21. Perry MC, Morrissey MC, King JB et al. Effects of closed versus open kinetic chain knee extensor resistance training on knee laxity and leg function in patients during the 8- to 14-week post-operative period after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005;13(5):357-69.