

Original Article

Open Access

무릎 수술 후 조기 체중 지지 트레드밀 훈련이 근력, 통증, 관절기원성 근육제에 미치는 영향

김진이^{1,2} · 구민서³ · 이정훈^{1,4} · 김민희⁵ · 이효열^{3†}

¹대전을지대학교병원 재활치료실, ²을지대학교 보건복지대학원 물리치료학과, ³대전을지대학교병원 정형외과, ⁴을지대학교 대학원 물리치료학과, ⁵을지대학교 보건과학대학 물리치료학과

Effects of Early Body-weight Supported Treadmill Training on Strength, Pain, and Arthrogenic Muscle Inhibition after Knee Surgery

Jin-Ee Kim, P.T., M.Sc.^{1,2} · Min-Seo Gu³ · Jeong-Hoon Lee, P.T., M.Sc.^{1,4} ·
Min-Hee Kim, P.T., Ph.D.⁵ · Hyo-Yeol Lee, M.D., Ph.D.^{3†}

¹Physical Therapy and Rehabilitation Center, Eulji University Medical Center

²Department of Physical Therapy, Graduate School of Health and Welfare, Eulji University

³Department of Orthopaedic Surgery, Eulji University Medical Center, Eulji University College of Medicine

⁴Department of Physical Therapy, Graduate School of Eulji University

⁵Department of Physical Therapy, College of Health Science, Eulji University

Received: June 10, 2024 / Revised: June 15, 2024 / Accepted: June 17, 2024

© 2024 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: The purpose of this study was to evaluate the effects of early body-weight-supported treadmill training on quadriceps strength, knee pain, and arthrogenic muscle inhibition (AMI) after knee surgery.

Methods: Sixteen adults were selected. Seven patients in the experimental group performed body-weight-supported treadmill training, and nine patients in the control group performed general therapeutic exercise programs. Both groups received 20 minutes of neuromuscular electrical stimulation and 20 minutes of exercise therapy for two weeks. We measured quadriceps strength, visual analogue scale, and modified AMI classification grade before and after the intervention. Data were analyzed using the Mann-Whitney U test and Wilcoxon signed-rank test.

Results: Within the experimental group, significant differences were observed in quadriceps strength, visual analogue scale, and modified AMI classification grade. Significant differences were observed between the before- and after-intervention groups in quadriceps strength and visual analogue scale. However, no significant differences were found in the modified AMI classification.

Conclusion: The results of this study indicate that early body-weight-supported treadmill training may be an effective intervention for improving strength, reducing pain, and addressing arthrogenic muscle inhibition following knee surgery.

Key Words: Early body-weight treadmill training, Knee surgery, Arthrogenic muscle inhibition

†Corresponding Author : Hyo-Yeol Lee (thebonedoctor@hanmail.net)

I. 서론

트레드밀 훈련은 환자의 독립적 보행 이전에 복잡한 보행 주기를 연습할 수 있도록 하는 조기 재활 훈련 중 하나이다(Visintin et al., 1998). 이러한 트레드밀 훈련에 체중을 지지하는 장치가 적용되어 조절된 체중 부하를 이용해 보행 훈련을 시행하기도 하였다. 부분 체중 부하 트레드밀 훈련은 신경계 재활에 적용되며(Stevens et al., 2015), 최근에는 무릎 뼈관절염(Peeler et al., 2015)과 무릎관절 전치환술 환자(Bugbee et al., 2016)등을 대상으로 부분 체중 부하 트레드밀이 시행되어 무릎 기능, 통증과 근활성도 등에 효과적인 결과를 나타냈다.

다리 골절과 십자인대 재건술 또는 무릎관절 전치환술 등의 무릎 수술 후에 무릎 불안정성과 통증 등의 여러 요인으로 인해 체중 지지에 제한을 두어야 하기도 한다(Sueyoshi & Emoto, 2018).

다리 수술 후 정상적으로 부하가 적용되지 않은 운동장애의 넵다리네갈래근은 부하가 적용되지 못한 상태에서 15일 동안의 근 소실 및 근력 감소가 확연히 나타났으며, 1~5일간에 가장 높은 근력 감소 및 근 소실이 나타났다(Yoon, 1989). 무릎에 대한 수술과 같은 외과적 개입이나 외상은 움직임 저하와 체중 지지 제한으로 인해 넵다리네갈래근 약화가 나타날 수 있으며, 지속적인 넵다리네갈래근 약화가 나타나는 관절기원성 근억제를 유발할 수 있다(Mcpherson et al., 2023).

관절기원성 근억제란 관절 부종과 염증 그리고 감각에 대한 손상 등의 요인들로 인하여 관절감각 수용체의 변화가 나타나 발생하는 것으로(Rice & McNair, 2010), 관절기원성 근억제는 무릎 손상에 대한 보호 기제이나 재활 과정에서는 큰 장애가 될 수 있다(Mcpherson et al., 2023). 관절기원성 근억제로 인해 무릎 펌프의 제한이 발생하고, 보행 이상과 동적 불안정이 나타날 수 있다(Guerra-Pinto et al., 2017). 앞 및 뒤십자인대 재건술과 관절 연골 수술 등의 무릎 수술 후에 관절기원성 근억제가 유발될 수 있는 것으로 보고되

고 있으며, 이러한 무릎 수술 직후 조기 재활에서는 통증 완화, 부종 감소와 완전한 무릎 펌 등을 목표로 시행되고 있다(Baltaci, 2000). 또한 근육량의 손실은 고정화 기간에 따라 점진적으로 증가하기 때문에 근육량의 손실을 최소화하여야 하며, 수술 후 부종과 통증은 관절기원성 근억제를 가중시킬 수 있으므로, 이를 최소화할 수 있는 중재가 이루어져야 한다.

이러한 관절기원성 근억제에 중재법으로 냉 치료, 경피적 전기신경자극, 원심성 운동, 초음파와 신경근 전기자극 등이 급성기에 적용될 수 있으며, 아급성기에는 원심성 운동과 진동 등이 적용될 수 있다. 이외에도 운동 치료 또한 넵다리네갈래근 근력과 넵다리네갈래근의 근 활성도를 개선하며 관절기원성 근억제 개선에 영향을 줄 수 있다(Norte et al., 2021).

그러나 무릎 수술로 인해 체중 부하가 제한된 입원 환자에게 수술 후 초기에 적극적인 중재방법으로 체중 지지 트레드밀 훈련을 시행하였을 때, 체중 지지 트레드밀 훈련이 관절기원성 근억제에 어떠한 영향을 미치는 알아보는 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 체중 지지 트레드밀 훈련이 기존 물리치료 중재와 비교하여 관절기원성 근억제에 영향을 줄 수 있는 근력과 통증에 얼마나 더 효과적인지 알아보고 이를 통해 관절기원성 근억제에 미치는 영향에 대해 알아보고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

연구 대상자는 대전광역시의 E 대학병원의 입원환자로 무릎 수술을 받고 입원기간 중 물리치료실을 방문한 환자 대상으로 하였다. 연구 목적을 이해하고 참여 의사를 밝힌 환자를 대상으로 선정하였으며 연구 관련 설명과 동의를 구하여 연구를 진행하였다. E 대학교 기관생명윤리위원회(IRB)의 승인을 받아(승인번호: 2023-11-004) 진행되었다. 무릎 수술 후 치료

실을 방문한 환자는 총 47명이었으며, 대상자 제외기준에 의해 의사소통 제한 또는 조기 퇴원으로 인한 중재 횟수 부족으로 22명이 제외되어 총 25명이 선정되었으며, 중재 전과 후의 평가 누락으로 인하여 실험군에서 4명과 대조군에서 5명이 중도 탈락하여 총 16명이 선정되었다. 대상자 선정기준은 1) 만 20세 이상 80세 미만의 남자 또는 임신하지 않은 여자, 2) 무릎 수술로 인해 환측에 체중 부하 제한을 두어야 하는 자, 3) 무릎 수술 후 2일부터 7일 이내 정형외과 의사의 처방을 받아 물리치료 중재 시작이 가능한 자이며, 제외기준은 1) 몸무게 100kg 초과, 2) 인지 장애 혹은 언어장애로 인해 의사소통에 어려움이 있는 자로 하였다.

Table 1. General characteristics of subjects (n=16)

Characteristics	EG(n=7)	CG(n=9)
Gender (male:female)	5(71.4%):2(28.6%)	5(55.6%):4(44.4%)
Age(years)	51.86±6.23	63.44±5.34
BMI(kg/m ²)	25.97±3.31	25.04±2.30
Side (Right:Left)	3(42.9%):4(57.1%)	5(55.6%):4(44.4%)
Starting(date)	3.43±2.51	5.00±2.87

EG: experimental group, CG: control group, BMI: body mass index

Table 2. Causes of knee surgeries

Causes	EG	CG
Tibia Fx	1	3
Tibia&fibular Fx	1	2
Femur Fx	1	1
Patella Fx		1
PCL rupture	1	1
ACL rupture	1	
TKA revision		1
OA	1	
Septic knee	1	

EG: experimental group, CG: control group, Fx: fracture, PCL: posterior cruciate ligament, ACL: anterior cruciate ligament, TKA: total knee arthroplasty, OA: osteoarthritis

본 연구에 참가한 참가자들은 성별, 나이, 체질량지수, 환측 부위와 중재 시작일에서 두 군간 유의한 차이가 없었다($p>0.05$)(Table 1). 대상자의 무릎 수술 요인으로는 정강뼈 혹은 종아리뼈 몸쪽 부위 골절, 넓다리뼈 먼쪽 부위 골절, 앞 및 뒤십자인대 손상 등이 있었다 (Table 2). 무릎에 대한 정형외과적 수술은 모두 개방적 수술로 시행되었다.

2. 연구절차

무릎 수술 후 입원환자대상으로 실험군 11명 대조군 14명으로 나누어 실험을 진행하였다. 추가적인 골반이나 어깨 골절이 있는 경우에는 대조군으로 분류하고, 이외의 경우에는 중재 방법 중 환자의 선호에 따라 실험군과 대조군으로 결정되었다. 실험군과 대조군 모두 냉 치료는 자의적으로 적용되며 신경근 전기자극은 20분간 적용되었다. 2주 간 실험군은 체중 지지 트레드밀 훈련을 시행하였으며, 대조군은 일반 치료적 운동프로그램을 시행하여 각각 20분간 시행하였다. 중재는 주 4회로 총 8회 시행하였다. 중재 전 사전 평가를 시행하며 2주 중재 후 사후 평가를 통해 결과를 비교하였다. 본 연구의 절차는 다음과 같다 (Fig. 1).

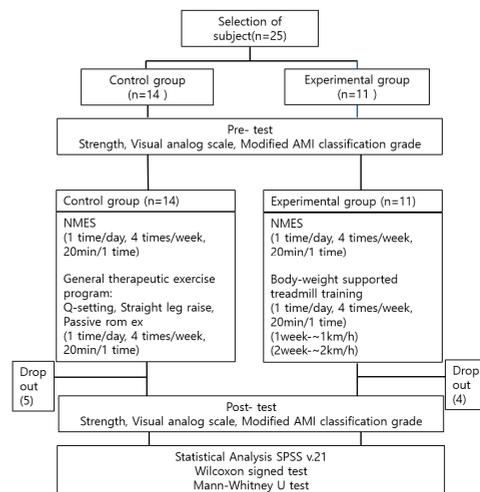


Fig. 1. Overview of research procedure.

3. 측정방법

1) 넓다리네갈래근 근력

넓다리네갈래근 근력 측정은 휴대용 디지털 근력 측정계(microFET2, Hoggan Health Industries, USA)를 사용하여 환자가 바로 누운 자세에서 무릎 아래를 받치고 측정계를 안쪽 복사 말단부의 5cm 위 전면부에 위치하여 측정하였다(Kim, 2005). 5초 동안 최대 무릎 펴기를 유지하며, 측정 사이 1분 휴식으로 피로도를 줄이고 3회 측정의 평균값을 측정하며, 강도는 Newtons(N)으로 측정하였다.

2) 통증 측정

중재 전과 후의 주관적 통증을 측정하고자 시각사상척도(visual analogue scale, VAS)를 사용하여 자가 기입 방식으로 하였다(Brodie et al., 1990).

3) 수정된 관절기원성 근역제 분류 등급

기존의 관절기원성 근역제에 대한 분류 등급이었던 Sonnery-Cottet 분류 등급(Sonnery-Cottet et al., 2022)을 재현성 있게 수정하여 수정된 관절기원성 근역제

분류 등급(Modified AMI classification grade)에 따라 평가하였다. Sonnery-Cottet 분류 등급은 안쪽넓은근 빗섬유(Vastus Medialis Oblique)의 제한, 무릎 펴기의 제한과 가역성의 특징을 기반으로 분류하여 등급화한 방법이나, 기존 방법에서의 하위 범주 분류 기준의 주관성을 보완하고자 ‘수정된 관절기원성 근역제 분류 등급’으로 수정하여 측정하였다. 등급 분류 기준은 다음과 같다(Table 3).

4. 중재방법

1) 신경근 전기자극(Neuromuscular electronic stimulation, NMES)

신경근 전기자극은 대상자들의 넓다리네갈래근에 부착하여 20분간 적용하였다. 대상자의 상태에 따라 침상에 눕거나 안정된 의자에 엉덩관절 80° 굽힘, 무릎 관절 60도 굽힘된 자세로 앉아 접촉식 표면 전극을 넓다리네갈래근에 양극 배치방법으로 부착하였다. 패드를 가쪽 넓은근의 몸쪽 부위와 안쪽넓은근의 먼쪽 부위에 부착하여 이상성 대칭 맥동전류를 맥동빈도 50pps, 맥동기간 250μs, 단속 시간비 15s: 45s로 적용하였다(Lepley et al., 2015).

Table 3. Description of modified AMI classification grades

Grade	Definition	Explanation
0	Normal	No abnormal findings on physical examination
1a	- VMO contraction: subnormal - Flexion contracture: Absent	VMO contraction is visible but at a subnormal level due to inhibition
1b	- VMO contraction: minimal to none - Flexion contracture: Absent	Similar to 1a, but VMO contraction inhibition is so severe that muscle contraction is minimal to grossly undetectable
2a	- VMO contraction: subnormal - Flexion contracture(≥5°): present	Presence of reversible extension deficit due to hamstring contracture; passive full extension is possible
2b	- VMO contraction: minimal to none - Flexion contracture(≥5°): present	Similar to 2a, but VMO contraction inhibition is so severe that muscle contraction is minimal to grossly undetectable
3	Chronic irreversible flexion contracture	Chronic extension deficit that is irreducible with physical therapy

VMO: vastus medialis oblique

2) 체중 지지 트레드밀 훈련(Body-weight supported treadmill training)

트레드밀은 정형용 운동장치 MT-4000(Sungdomc, Korea)를 사용하였으며, 체중 부하 조절은 슈마 보행 훈련기(SHUMA DA-5000, 대안의료기, Korea)를 사용하였다. 트레드밀 경사도는 0도로 고정하였으며, 환측 다리에 적용되는 체중부하는 슈마 보행 훈련기에 설치되어 있는 체중계를 이용하여 정량화 하였으며, 체중의 10분의 1만큼의 부하가 적용되도록 설정하였다(Thompson et al., 2018). 중재 시작은 수술 후 1주 이내에 이루어졌으며, 첫 주는 최소 0.5km/h에서부터 최대 1km/h까지, 둘째 주는 최대 2km/h 속도까지 시행하였다.

3) 일반 치료적 운동 프로그램(General therapeutic exercise program)

일반 치료적 운동 프로그램으로 넙다리네갈래근 고정 운동, 뻗은 다리 올림 운동과 수동관절 가동 범위 운동을 시행하였다. 넙다리네갈래근 고정 운동은 바로 누운 자세에서 환측 다리의 발목을 발등 굽힘 시킨 후 수축 1회에 10초 유지로 총 10회를 1세트로 하여 총 2세트를 시행하였다. 뻗은 다리 올림 운동은 누워서 환측 다리의 무릎을 10cm 들어 올리고 5초 동안 유지한 후 5초 휴식을 취하여 시행하여, 20회 반복 1세트로 총 1세트를 수행하였다. 수동 관절 가동범위 운동은 대상자가 바로 누운 상태에서 가능한 관절 가동 범위 내로 치료사에 의해 수동으로 적용되었다(Kim et al., 2009).

5. 분석방법

본 연구에서 수집된 자료는 SPSS 21.0 for Windows 프로그램을 이용하여 대상자의 일반적 특성은 기술통계로 하였으며, 정규성을 만족하지 않아 비모수 검정법을 사용하였다. 동질성 평가를 위해 Fisher's exact test와 Mann-Whitney u test를 시행하였다. 실험 전과 후의 차이에 대한 결과를 Wilcoxon matched-pairs signed-rank test로 분석하였고, 실험 전과 후의 각 군의 차이에 대한 결과를 Mann-Whitney u test로 분석하였으며 통계적 유의수준은 0.05로 하였다. 수정된 관절기원성 근역제 분류 등급에 대한 측정자 간 신뢰도 분석은 Cohen's kappa coefficient 값을 구하여 시행하였다.

III. 연구 결과

1. 넙다리네갈래근 근력

실험군의 넙다리네갈래근 근력은 중재 전 4.60±2.93, 중재 후 14.28±6.36으로 변화값 9.68±3.60으로 유의한 근력의 증가량을 나타냈고(p<0.05), 대조군은 중재 전 7.92±9.10, 중재 후 8.47±7.25으로 변화값 0.55±5.55으로 유의한 변화를 나타내지 않았다(P>0.05). 넙다리네갈래근 근력의 두 군 간의 비교에서는 중재 전과 중재 후 넙다리네갈래근 근력에서 유의한 차이를 나타냈다(p<0.05)(Table 4).

Table 4. Comparison of quadriceps strength before and after intervention between groups

	EG(n=7)	CG(n=9)	z	p	
Quadriceps Strength	Before	4.60±2.93 ^a	7.92±9.10	-0.58	0.56
	After	14.28±6.36	8.47±7.25	-1.64	0.10
	z	-2.37	-0.18		
	p	0.02 ^b	0.86		
	Change	9.68±3.60	0.55±5.55	-2.81	0.00 ^c

^a: Mean±SD, ^b: significant difference within group, ^c: significant difference between groups (p<0.05), EG: experimental group, CG: control group

Table 5. Comparison of VAS before and after intervention

		EG (n=7)	CG (n=9)	z	p
VAS	Before	4.86±0.69 ^a	4.78±3.11	-0.05	0.96
	After	2.43±2.07	4.22±3.35	-1.19	0.24
	z	-2.21	-9.66		
	p	0.03 ^b	0.33		
	Change	-2.43±1.81	-0.56±1.50	-2.12	0.03 ^c

^a: Mean±SD, ^b: significant difference within group, ^c: significant difference between groups (p<0.05), EG: experimental group, CG: control group

2. 통증척도

실험군의 통증척도는 중재 전 4.86±0.69, 중재 후 2.43±2.07, 변화값 -2.43±1.81로 나타나 유의한 감소를 보여 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p<0.05). 대조군은 중재 전 4.78±3.11, 중재 후 4.22±3.35, 변화값 -0.56±1.50으로 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(p>0.05). 통증척도의 두 군 간의 비교에서는 중재 전과 중재 후 통증 척도에서 유의한 차이를 보였다 (p<0.05)(Table 5).

3. 수정된 관절기원성 근역제 분류 등급

두 명의 측정자 간 신뢰도를 Cohen's kappa coefficient 값을 구하여 분석하였다(Table 6). 수정된 관절기원성 근역제 분류 등급에 대한 측정자 간 신뢰도는 매우 높게 나타났다(k=0.834, p<0.01)(Table 6). 통계분석을 위해 수정된 관절기원성 근역제 분류 등

급의 등급 0, 1a, 1b, 2a, 2b, 3을 각각 0, 1, 2, 3, 4, 5로 변환하여 평균 비교하였다. 평가자 1명에 의해 수행된 수정된 관절기원성 근역제 분류 등급에 대한 집단 내, 집단 간 변화는 다음과 같다(Table 7). 실험군의 중재 전후 평균값은 중재 전 1.86±1.46, 중재 후 1.14±1.95이며 변화 값은 -0.71±0.49으로 유의하게 감소하였다(p<0.05). 대조군의 중재 전후 평균값은 중재 전 1.78±1.20, 중재 후 1.44±1.24이며 변화값은 -0.44±0.73으로 감소하였으나 유의하지 않았다(p>0.05). 두 군 간의 비교에서는 중재 전과 후 수정된 관절기원성 근역제 분류 등급에서 유의한 차이는 없었다(p>0.05) (Table 7).

Table 6. Inter-rater reliability of modified AMI classification grade

	Cohen's Kappa	p
Modified AMI	0.834	0.00 [*]

*: significant difference (p<0.05)

Table 7. Comparison of modified AMI classification grade before and after intervention between groups

		EG(n=7)	CG(n=9)	z	p
Modified AMI	Before	1.86±1.46 ^a	1.78±1.20	-0.23	0.82
	After	1.14±1.95	1.44±1.24	-1.06	0.29
	z	-2.24	-1.73		
	p	0.03 ^b	0.08		
	Change	-0.71±0.49	-0.44±0.73	-1.13	0.26

^a: Mean±SD, ^b: significant difference within group (p<0.05), EG: experimental group, CG: control group, AMI: arthrogenic muscle inhibition

IV. 고 찰

무릎 골절에 대한 수술이나 앞십자인대 재건술 등과 같은 무릎 수술 이후 근 활성화에서 지속적인 변화가 나타나는 관절기원성 근억제가 발생할 수 있다 (Mcpherson et al., 2023). 관절기원성 근억제에 대한 중재 방법으로는 냉치료와 경피신경전기자극 및 신경근 전기자극이 포함되고 있으며(Norte et al., 2021), 관절기원성 근억제 및 넙다리네갈래근 기능 개선을 위한 운동 치료적 중재 방법 또한 대두되고 있다. Florez Fonnegra 등(2023)은 전기자극이 추가된 보행 및 다리 강화 운동이 접목된 가상현실을 활용한 운동 중재 방법이 관절기원성 근억제에 있어 근력 증가, 통증 및 강직 감소와 치료 순응도에서 유의한 효과가 나타났다고 보고하였다. Bae 등(2017)은 앞십자인대 재건술을 받은 대상자에게 진동 자극을 활용한 저항 운동을 적용한 결과, 넙다리네갈래근 근력과 정적 균형에서의 향상이 나타났다고 보고하였다.

한편, 다양한 운동 중재 방법들이 무릎 수술 후 재활 중재 방법으로서 유의한 효과들을 보고하면서 운동 치료적 접근 방식의 시기가 앞당겨지고 있다. Henriksson 등(2002)은 앞십자인대 재건술 후 다리 고정을 실시하였던 대조군에 비해 조기 관절 운동을 시행한 실험군에서 무릎관절 안정성 및 주관적 무릎관절 기능에서 월등하였다는 결과를 보고하였다.

이에 따라 본 연구는 무릎 수술 후 조기 중재 방법으로서 운동 치료적 접근 방식의 체중 지지 트레드밀 훈련이 넙다리네갈래근 근력, 통증과 관절기원성 근억제에 미치는 영향에 대해 알아보고 새로운 중재 방법을 제시하기 위하여 시행되었다. 본 연구 결과에서 체중 지지 트레드밀 훈련이 넙다리네갈래근 근력과 통증 그리고 수정된 관절기원성 근억제 분류 등급에서 유의한 효과가 있음을 볼 수 있었다.

넙다리네갈래근의 근력에 대해서는 실험군에서 유의하게 증가하였으며, 대조군의 결과는 통계적으로 유의하지 않았다. Stevens 등(2015)은 불완전 척수 손상 환자들에게 수중 트레드밀 훈련을 시행하여 다리

근력에 유의한 증가를 보고하였으며, Sherrington 등(2004)은 엉덩관절 골절환자에게 체중 부하 훈련 적용 시 균형능력 증진에 효과적이며, 이는 자세 유지를 위해 더 큰 근력을 사용하기 때문으로 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 체중 지지 트레드밀 훈련 동안 자세 유지를 위한 노력 및 근 활성화 증가로 인하여 넙다리네갈래근의 근력이 더욱 효과적으로 증가하였다고 생각된다.

통증에서는 실험군에서 결과가 유의하게 감소하였으며, 대조군에도 감소한 결과가 나타났으나 통계적으로 유의하지 않았다. 두 군간 비교에서는 유의한 차이가 나타났다. Peeler 등(2015)은 항중력 트레드밀 훈련을 12주 시행하였을 때, 급성 무릎 통증에 유의한 효과를 나타냈으며, 이는 보행훈련을 통해 무릎관절을 통하여 전달되는 힘이 감소되었기 때문이라고 하였다. 이를 통해, 체중 지지 트레드밀을 활용한 보행에서 무릎에 가해지는 부하 및 스트레스가 감소되어 통증 경감에 영향을 미친 것으로 생각된다.

수정된 관절기원성 근억제 분류 등급 측정에 대한 측정자 간 신뢰도 분석에서 측정자 간 신뢰도는 매우 높게 나왔으며($\kappa=0.834$, $p<0.01$), 점수를 변환하여 평균을 비교하였을 때, 실험군은 유의하게 감소하였다. 대조군에서는 점수가 감소하였으나 유의하지 않았고, 두 군간 비교에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 수정된 관절기원성 근억제 분류 등급은 기존 분류 체계인 Sonnery-Cottet classification grade(Sonnery-Cottet et al., 2022)를 수정한 것으로, 무릎 펌에서의 주동근인 안쪽넓은근 빗섬유의 수축 정도와 길항근인 넓적다리 뒤근육의 구축의 정도에 따라 등급을 분류하는 방식을 따랐다. Ciccotti 등(1994)은 근전도를 이용하여 근활성도를 분석한 결과, 보행을 포함한 다양한 닫힌 운동 사슬에서 동작이 복잡할수록 더 많은 근섬유들이 다리에 동원된다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 체중 지지 트레드밀 훈련을 통해 조절된 닫힌 사슬 운동을 시행하여 안쪽넓은근 빗섬유를 포함한 전체적인 다리 근육들을 효과적으로 활성화시키며 분류 등급 변화에 영향을 미친 것으로 생각된다. 또한 관절기

원성 근역제를 예방하기 위한 재활 단계에서는 손상이 가해진 관절의 통증, 부종 및 염증을 최소화시키는 것이 중요한데(Baltaci, 2000), 체중 지지 트레드밀 훈련을 통한 통증 경감의 유의한 효과가 등급 변화에 영향을 미친 것으로 생각된다. 또한 앞십자인대 재건술을 받은 대상자들에게 수술 후 2주에서 10주까지 원심성 교차 운동(eccentric cross-exercise)을 적용시켜, 운동 신경 세포 집단의 흥분성과 대뇌 척수 흥분성, 그리고 운동 걸질 활성의 향상을 보고하였으며(Lepley et al., 2018), 이를 통해 원심성 교차 운동이 초기 회복 단계에서 관절기원성 근역제에 효과적이고 유효한 중재 방법임을 시사하였다(Norte et al., 2021). 본 연구에서 시행하였던 체중 지지 트레드밀 훈련 또한 원심성 교차 운동과 유사하게 반대편 팔다리를 적극적으로 함께 사용하면서 원심성 교차 운동과 유사한 이론이 적용되어 관절기원성 근역제 완화에 영향을 미친 것으로 생각된다. 또한 무릎 수술 후 일반 치료적 운동프로그램에서 시행되는 넵다리네갈래근 고정 운동, 뻗은 다리 올림 운동과 수동 관절 가동 범위 운동 보다 체중 지지 트레드밀은 체중 부하와 보행속도 등 차별화된 다양한 환경과 조건에 노출되는데, 이는 무릎 수술 후 유발될 수 있는 약화된 인지-운동 전략(cognitive-motor strategy)에 효과적일 수 있다(Criss et al., 2020). 이전 선행 연구에서 앞십자인대 재건술을 받은 환자들에게 낮은 운동 걸질의 흥분성은 약한 넵다리네갈래근 근력과 직접적 관련성이 있었는데(Bodkin et al., 2019), 이는 운동 걸질의 흥분성을 높이는 것이 치료적 목표로서 임상적으로 중요함을 제안하며, 본 연구에서 시행된 체중 지지 트레드밀 훈련 또한 과제 지향적 훈련과 점진적 연습을 통한 운동 학습 전략으로서 관절기원성 근역제에 신경학적 영향을 미친 것으로 생각된다.

본 연구에서는 몇 가지 제한점을 지니고 있다. 무작위 배치가 아닌 환자 상태와 순응도에 따라 대상자를 배치하고 참여 인원이 적었다는 한계점이 있었다. 둘째, 중재 기간이 2주의 기간으로 비교적 짧아 치료의 효과를 명확하게 밝히기에는 어려움이 있었다.

V. 결론

무릎 수술 이후 통증과 움직임의 제한 등으로 인해 넵다리네갈래근 약화가 나타나며, 관절기원성 근역제가 유발될 수 있다. 본 연구는 무릎 수술 후 입원 환자 대상으로 조기 체중 지지 트레드밀 훈련이 넵다리네갈래근 근력, 통증척도, 수정된 관절기원성 근역제 등급 분류에 대한 효과를 알아보고 관절기원성 근역제에 미치는 영향에 대해 알아보려고 하였다. 연구 결과에서 근력 증가, 통증 감소, 관절기원성 근역제 완화의 효과가 나타났다. 본 연구 결과에 따라 추후 임상에서 무릎 수술 이후 조기 중재방법으로 조기 체중 지지 트레드밀 훈련을 사용할 것을 제안한다.

Acknowledgements

이 논문은 2023학년도 을지대학교 학술연구비 지원에 의하여 이루어진 것임(EJRG-23-19).

References

- Bae CH, Lee JH, Kim JC, et al. Effects of resistance exercise using vibration stimulation on knee muscle strength and balance after anterior cruciate ligament reconstruction. *The Journal of Korean Academy of Orthopedic Manual Physical Therapy*. 2017;23(2): 17-25.
- Baltaci G. Knee surgery in athletes: The importance of post-operative rehabilitation guidelines. *Physical Therapy Reviews*. 2000;5(4):195-205.
- Bodkin SG, Norte GE, Hart JM. Corticospinal excitability can discriminate quadriceps strength indicative of knee function after ACL-reconstruction. *Scandinavian Journal of Medicine & Science Sports*. 2019;29(5): 716-724.

- Brodie DJ, Burnett JF, Walker JM. Evaluation of low back pain by patient questionnaires and therapist assessment. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 1990;11(11):519-529.
- Bugbee WD, Pulido PA, Goldberg T, et al. Use of an anti-gravity treadmill for early postoperative rehabilitation after total knee replacement: a pilot study to determine safety and feasibility. *American Journal of Orthopedics*. 2016;45(4):E167-173.
- Ciccotti MG, Kerlan RK, Perry J, et al. An electromyographic analysis of the knee during functional activities. *The American Journal of Sports Medicine*. 1994;22(5):645-649.
- Criss CR, Onate JA, Grooms DR. Neural activity for hip-knee control in those with anterior cruciate ligament reconstruction: a task-based functional connectivity analysis. *Neuroscience Letters*. 2020;730:134985.
- Florez Fonnegra JP, Pino Prestan AC, Lopez LL, et al. Rehabilitation of patients with arthroscopic muscular inhibition in pathologies of knee using virtual reality. *Sensors*. 2023;23(22):9114.
- Guerra-Pinto F, Thauant M, Daggett M, et al. Hamstring contracture after ACL reconstruction is associated with an increased risk of cyclops syndrome. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2017;5(1):2325967116684121.
- Hesse S, Werner C, Seibel H, et al. Treadmill training with partial body-weight support after total hip arthroplasty: a randomized controlled trial. *Archives Physical Medicine and Rehabilitation*. 2003;84(12):1767-1773.
- Henriksson M, Rockborn P, Good L. Range of motion training in brace vs. plaster immobilization after anterior cruciate ligament reconstruction: A prospective randomized comparison with a 2-year follow up. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2002;12(2):72-80.
- Kim TK, Park KK, Kim SJ, et al. Clinical value of regular passive ROM exercise by a physical therapist after total knee arthroplasty. *Knee Surgery, Sports Traumatology Arthroscopy*. 2009;17:1152-1158.
- Kim SY, Muscle Strength Ratio and Q-angle in Patients With Osteoarthritis of The Knee: A Comparative Study With Healthy Persons. *Physical Therapy Korea*. 2005;12(1):45-54.
- Lepley LK, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Combination of eccentric exercise and neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps function post-ACL reconstruction. *Knee*. 2015;22(3):270-277.
- Lepley LK, Grooms DR, Burland JP, et al. Eccentric cross-exercise after anterior cruciate ligament reconstruction: novel case series to enhance neuroplasticity. *Physical Therapy in Sport*. 2018;34: 55-65.
- Mcperson AL, Schilaty ND, Anderson, et al. Arthroscopic muscle inhibition after anterior cruciate ligament injury: Injured and uninjured limb recovery over time. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2023;5: 1143376.
- Norte G, Rush J, Sherman D. Arthroscopic Muscle Inhibition: Best Evidence, Mechanisms, and Theory for Treating the Unseen in Clinical Rehabilitation. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2021;31(6):717-735.
- Peeler J, Christian M, Cooper J, et al. Managing knee osteoarthritis: the effects of body weight supported physical activity on joint pain, function, and thigh muscle strength. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2015;25(6):518-523.
- Rice DA, McNair PJ. Quadriceps arthroscopic muscle inhibition: neural mechanisms and treatment perspectives. *Seminars in Arthritis Rheumatism*. 2010;40(3): 250-266.
- Sonnery-Cottet B, Hopper GP, Gousopoulos L. Arthroscopic muscle inhibition following knee injury or surgery: pathophysiology, classification, and treatment. *Video Journal of Sports Medicine*. 2022;2(3).

- Stevens SL, Caputo JL, Fuller DK, et al. Effects of underwater treadmill training on leg strength, balance, and walking performance in adults with incomplete spinal cord injury. *The Journal of Spinal Cord Medicine*. 2015;38(1):91-101.
- Sherrington C, Lord SR, Herbert RD. A randomized controlled trial of weight-bearing versus non-weight-bearing exercise for improving physical ability after usual care for hip fracture. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2004;85(5):710-716.
- Sueyoshi T, Emoto G. The effect of anti-gravity treadmill on balance in acute phase of post-operative knee rehabilitation. *Asian Journal of Sports Medicine*. 2018;9(4).
- Thompson SG, Phillip RD, Roberts A. How do orthopaedic surgeons and rehabilitation professionals interpret and assess 'toe touch' weight bearing and 'partial' weight bearing status in the rehabilitation setting? *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*. 2018;4(1):e000326.
- Visintin M, Barbeau H, Komer-Bitensky N, et al. A new approach to retrain gait in stroke patients through body weight support and treadmill stimulation. *Stroke*. 1998;29(6):1122-1128.
- Yoon TJ. Clinical research of quadriceps muscle atrophy in mobility impaired patients. Ewha woman University. Dissertations of master's degree. 1989.