

Effect of Hamstring Eccentric Exercise on Pain and Functional Activity in Patients with Chronic Low Back Pain

Seong-Won Kim^a, Dong-Min Kum^b, Won-Seob Shin^{c*}

^aDepartment of Physical Therapy, Graduate school of Health and Medicine, Daejeon University

^bDepartment of Physical Therapy, Graduate School of Daejeon University

^cDepartment of Physical Therapy, College of Health and Medical Science, Daejeon University

Objective: The aim of this study is to investigate the effect of hamstring eccentric exercise on pain and functional activity in patients with chronic low back pain.

Design: Randomized controlled trial

Methods: Participants comprised 27 subjects with back pain persisting for 3 months. They were randomly assigned to the experimental group (Eccentric exercise: n = 13) and the control group (Stretching: n = 14). The experimental group performed gastrocnemius, iliopsoas, and quadratus lumborum stretching along with hamstring eccentric exercise, while the control group engaged in the same stretches along with hamstring stretching. The eccentric exercise for the hamstrings was Nordic curl exercise. Each group practiced for 1 hour a day, 3 times a week, for 4 weeks. Pain, disability index, balance, and hamstring length were measured.

Results: Significant differences were observed in the comparison of changes in back pain, back disability index, and hamstring length before and after exercise within each group ($p < 0.05$). The balance ability of the experimental group showed a difference before and after exercise ($p < 0.05$), whereas no significant difference in the control group. There were no significant differences in back pain and hamstring length between the groups. Changes in back disability index and balance ability significantly increased in the experimental group compared to the control group ($p < 0.05$).

Conclusion: Hamstring eccentric exercise using Nordic curls has a positive effect on back pain, back disability index, balance ability, and hamstring length changes.

Key Words: Hamstrings, Eccentric exercise, Chronic low back pain, Nordic curl

서론

근골격계 질환 중 대표적인 허리통증은 흔한 질병이다[1]. 만성 허리 통증은 3개월 이상 지속되는 허리 통증으로 정의되며, 이로 인해 반복적인 치료, 장시간의 직업 복귀 지연, 상실, 보상 및 의료비로 인한 비용 부담 등으로 사회적 문제로 이어지고 있다[2]. 인구의 50% 이상이 만성 허리 통증에 영향을 받으며, 성인의 70% 이상이 일생 동안 적어도 한 번은 허리 통증을 경험하는 것으로 추정되고 있다[3,4].

안다는 만성 통증 증후군을 상지교차증후군, 하지교

차증후군, 증증후군의 3가지 전형적인 패턴으로 분류하였다. 그 중 하지교차증후군은 뒷면에서 등허리 펴근과 엉덩관절 굽힘근의 긴장이 교차하고, 앞면에서 배근육과 엉덩관절 펴근의 약화가 교차함으로써 발생하는 패턴으로 설명하고 있다[5]. 이와 같이 엉덩관절의 가동범위와 주변 근육의 근력 및 길이 불균형은 골반 기울기에 영향을 미치며 이는 허리통증과 연관된다[6,7].

엉덩관절 주변에 붙어있는 많은 근육들 중 넙다리뒤근은 넙다리내갈래근의 길항근으로서, 장시간 앉아있을 때 편심성으로 수축한다[8]. 넙다리뒤근은 해부학적으로 공동뼈 결절, 거친선에 부착되어 있어 수축이 발생하면

Received: Feb 8, 2024 Revised: Mar 7, 2024 Accepted: Mar 8, 2024

Corresponding author: Won-Seob Shin (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6515-7020>)

Department of Physical Therapy, Applied Science Building, 62, Daehak-ro, Dong-gu, Daejeon, 34520, Republic of Korea

Tel: +82-42-280-2294 Fax: +82-42-280-2295 E-mail: shinws@dju.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

Copyright © 2024 Korean Academy of Physical Therapy Rehabilitation Science

골반의 후방 경사가 발생하고 허리뼈의 만곡이 감소하여 허리 통증을 유발할 수 있다[9,10]. 넓다리뒀근의 유연성 부족은 골반 움직임을 감소시키며, 몸통 및 골반 움직임에 제한을 일으킨다[11,12]. 이는 척추의 압력분포에 동력학적 변화를 일으키고[13], 요천추의 부적절한 배치로 인해 고유수용 감각의 장애와 균형 조절 장애의 원인이 될 수 있다[6,7]. 따라서 넓다리뒀근의 유연성 부족은 허리와 골반 움직임 리듬에까지 영향을 미쳐 허리 통증과 균형 능력에 영향을 준다[14].

기존의 하지교차증후군을 바탕으로 만성허리통증 환자를 대상으로 적용한 연구들을 살펴보면 넓다리뒀근의 스트레칭이 허리 통증 및 유연성에 미치는 영향이 강조되었다[15]. 또한 Kim과 Lee의 연구[16]에서는 코어 안정화 운동과 넓다리뒀근 신장기법이 비특이성 허리 통증 환자에게 영향을 미친다고 하였으며, Seif 등의 연구[4]에서는 만성 허리 통증 환자들에게 넓다리뒀근, 장딴지근, 엉덩허리근, 등근육 스트레칭이 통증 및 기능적 활동에 영향을 미친다고 하였다.

이전 연구들은 허리 통증 관리에 있어서 넓다리뒀근의 스트레칭과 강화운동의 중요성을 강조하고 있으나, 스트레칭의 방법으로 편심성 운동을 적용한 연구는 부족하다. 따라서 본 연구는 허리 통증 환자들에게 넓다리뒀근의 편심성 운동을 적용하여 만성 허리 통증 감소 및 기능적 활동에 미치는 효과를 알아보려고 한다.

연구방법

연구설계

본 연구는 만성허리통증 환자를 대상으로 넓다리뒀근 편심성운동과 스트레칭 기법이 허리통증, 기능적 활동 능력에 미치는 효과를 검증하기 위해 무작위 대조군 전후 설계를 적용하였다. 대상자들만 어느 군인지 모르게 단일 맹검으로 진행하였다. 대상자를 무작위 배정프로그램을 사용하여 실험군 15명, 대조군 15명으로 배정하여 중재효과를 비교하고자 하였다. 실험군과 대조군 모두 중재 전, 후에 동일한 사전검사와 사후검사를 시행하였다.

연구 대상자

본 연구에 필요한 적정 대상자 수는 G*power (Ver 3.1.9.6 for mac, Heinrich Heine University, Germany) 프로그램으로 분석하였다. 허리통증 환자를 대상으로 넓다리뒀근 스트레칭을 적용 한 선행연구[16]를 기반으로 효과크기(d) 1.28로 설정하였고, 유의수준 α 를 0.05, 검정력(Power)은 0.80 로 표본 크기를 계산하여 각 집

단 별 11명, 총 22명의 대상자가 필요하였다. 중도 탈락을 20%를 고려하여 총 30명을 선정하였다. 실험 중 중도탈락(임신, 부상, 이사) 인원을 제외한 총 27명의 대상으로 진행되었다.

대상자는 2023년 10월부터 2024년 1월까지 대전시에 위치한 M재활의학과에서 공고를 통해 구인하였다. 선정 기준은 만 25세에서 45세 이하인 정신적, 정형외과적 문제가 없고, 3개월 이상 허리부위에 관련하여 치료받지 않고 통증이 지속된 사람으로, 뺨은 다리 들어올리기 검사에서 80도 이하인 대상으로 하였다[16]. 제외기준으로는 지속적으로 심한 통증이나 급성 통증을 가진 자, 전방전위증이나 척추분리증이 있거나 신경학적으로 이상이 있는 자는 제외하였다. 실험 참여 전, 헬싱키 선언의 윤리적 기준에 따라 연구 목적과 절차를 대상자들에게 직접 설명하였고, 실험 중 발생할 수 있는 위험과 불편 사항, 위험 예방 조치에 대한 정보를 제공하였다. 본 연구의 대상자는 실험 시작 전에 연구 방법에 대한 안내를 받고, 연구 참여에 대한 동의서에 자발적으로 서명한 사람만 참여하도록 선발하였다. 본 연구는 대전대학교 생명윤리위원회의 승인을 받은 후 연구가 진행되었다. (IRB 1040647-202310-HR-001-03)

중재방법

실험군은 넓다리뒀근 편심성 운동을 목적으로 노르딕 햄스트링 컬(Nordic hamstring curl)을 실시하였고, 대조군은 넓다리뒀근 스트레칭을 실시하였다. 실험군과 대조군 모두 선행연구들에서 허리통증에 영향을 미칠 수 있는 또다른 근육들인 엉덩허리근, 장딴지근, 허리네모근 스트레칭을 실시하였다[4,17]. 모든 중재는 주3회 4주간 적용되었다. 환자가 통증 또는 불편감을 표현하면 즉시 중단하였고, 안전을 위해 지속적으로 모니터링하였다.

넓다리뒀근 편심성 운동(Hamstring Eccentric Exercise)

실험군에서 적용한 넓다리뒀근 편심성운동으로는 노르딕 햄스트링 컬을 실시하였다. 대상자는 부드러운 매트위에 무릎 선 자세로 위치시키고, 상체와 엉덩이를 곧게 유지하면서 천천히 앞으로 넘어지도록 하였다. 이 때 넓다리뒀근을 편심성으로 수축하여 떨어지는 동작을 최대한 조절하였다. 1세트당 3~5회씩 3세트 반복하였다 (Figure 1A) [18].

넓다리뒀근 스트레칭(Hamstring Stretching)

대조군에서 적용한 넓다리뒀근 스트레칭으로는 PNF

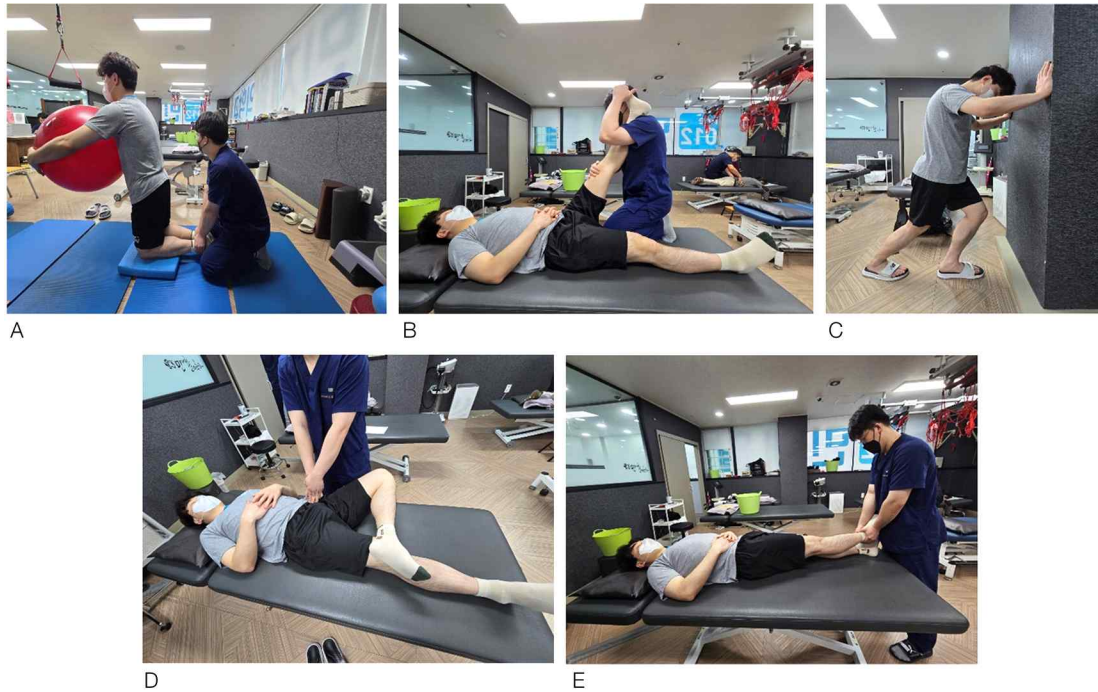


Figure 1. Interventions in this study. A. Hamstring eccentric exercise, B. Hamstring stretching, C. Gastrocnemius stretching, D. Iliopsoas stretching, E. Quadratus lumborum stretching

기술 중 하나인 Hold-Relax 기법을 사용하였다. 대상자는 단단한 치료용 테이블에 누워서 시작한다. 대상자의 발이 치료사의 어깨 위에 올려진 상태에서, 대상자가 최대한으로 늘어뜨리는 과정에서 통증을 느끼기 시작했을 때, 대상자는 넓다리뒀근 근육의 최대 등장성 근력 수축을 치료사의 저항에 맞서 10초간 수행 후 이완하였다. 이는 총 3회 반복하였다(Figure 1B) [19].

공통적으로 적용한 스트레칭

실험군과 대조군 모두에게 엉덩허리근, 장딴지근, 허리네모근의 스트레칭을 실시하였다.

엉덩허리근 스트레칭(Iliopsoas Stretching)은 대상자의 등을 바닥에 대고 바로 눕게 하고, 치료사는 운동하고자 하는 다리 쪽에 선다. 대상자의 반대편 다리의 무릎 윗부분에 운동하고자 하는 다리의 발뒤꿈치를 놓게 한다. 환자의 앞위엉덩가시뼈 안쪽, 살고랑인대 아래에 있는 짧아진 엉덩허리근을 손으로 깊게 지그시 눌러주어 수동적으로 늘려준다. 수동신장운동은 30초동안 신장시키고 8초 동안 휴식으로 총 10회 반복하였다(Figure 1C) [20].

장딴지근 스트레칭(Gastrocnemius Stretching)은 대상자의 좌측 다리를 뒤에 두고 우측 다리를 앞에 두고 양손을 벽에 댄다. 이 때 두 발 사이의 거리는 대략 두 배

로 한다. 발을 중립으로 두기 위해 발 뒤꿈치와 두번째 발가락은 직선상으로 위치한다. 우측 무릎관절을 구부려 종아리의 스트레칭이 느껴질 때까지 좌측 다리의 무릎을 완전히 펴면서 발 뒤꿈치를 바닥에 유지시킨다. 한 세트는 30초 스트레칭 후 30초 휴식으로 총 5회 반복하였다(Figure 1D) [21].

허리네모근 스트레칭(Quadriceps Lumborum Stretching)은 대상자를 테이블 위에 바로 눕힌 자세에서 치료사는 우측 발과 발목을 단단히 잡고 전체 다리를 수동적으로 늘려 엉덩이를 아래로 당긴 후 정중선을 가로질러 우측 허리네모근을 늘린다. 이 때 대상자는 엉덩관절 굽힘 없이 엉덩이를 들어올려 6초간 등척성 수축을 한다. 4~5회 반복하였다(Figure 1E) [17].

측정 도구와 방법

허리통증 측정

허리통증의 정도를 평가하기 위해 시각적상사척도(Visual Analogue Scale, VAS)를 사용하였다. 10점척도로 통증이 전혀 없는 상태는 0점, 통증이 최대인 상태는 10점으로 하여 직접 체크하도록 하였다. 이 평가의 신뢰성은 ICC = 0.84이다[22].

허리 장애지수 측정

허리통증에 대한 장애수준을 평가하기 위해 한국어판 오스웨스트리 허리통증 장애지수(Korea Oswestry disability index, K-ODI)를 사용하였다. 통증, 개인적인 관리, 들기, 앉기, 서기, 걷기, 여행, 등의 10개 항목으로 각 항목의 수행능력에 따라 최소 0점에서 최대 5점으로 평가한다. 이 평가의 신뢰성은 ICC=0.92이다[23].

균형능력 측정

균형능력을 평가하기 위해 MFT Challenge DISC (TST Trendsport, Grosshöflein, Austria)를 이용하여 평가하였다. 이 장치는 지름44cm 높이 7.5cm의 원형의 불안정한 지지면을 가진 플레이트를 개인의 동적 균형유지능력을 평가하도록 설계된 소프트웨어(MFT challenge disc)에 연결시킨다. 시스템은 20초동안 플레이트의 움직임과 수평면으로부터의 편차를 감지하여 대상자의 안정성 지수를 계산한다. 안정성 지수의 점수 범위는 1점에서 5점까지이며 점수가 낮을수록 편차가 작아지고 균형이 더 좋아진다[24].

넙다리뒤근 길이 측정

선정 기준에 대한 측정 및 넙다리뒤근 길이 측정을 위해 뺨은 다리 들어올리기 검사(Straight Leg Raising test, SLR)를 실시하였다. 대상자는 바로 누운 자세에서 시작한다. 측정하는 사람의 손은 대상자의 우측 다리의 먼 쪽 앞에 두고, 발목 뒤를 잡은 손으로 검사자가 저항이 느껴질 때까지 다리를 들어올렸다. 저항이 느껴지는 시작지점까지의 각도를 측정하였다[25]. 이 때 엉덩관절의 각도를 측정하기 위해 스마트폰 클리노미터(각도기 2024, Exeysoft, China)을 사용하였다[26]. 측정 시 신경 증상이 나타날 수 있는 신경신장의 가능성, 엉덩관절주머니의 신장, 골반위치의 불일치, 반대측 엉덩관절굽힘근의 압박감 등을 고려하며 측정하였다[27].

통계처리

본 연구의 자료는 윈도우용 SPSS프로그램(ver.24.0, SPSS Inc, USA)을 사용하였다. 모든 변수의 정규성을 검정하기 위해 Shapiro-Wilks test로 정규성 검정을 진행하였다. 대상자의 일반적인 특성을 확인하기 위해 카이제곱 검정과 독립표본 T-test를 시행하였다. 중재에 따른 전과 후의 집단 내 종속변수의 변화를 비교하기 위해 대응표본 T-test를 시행하였다. 실험군과 대조군의 집단간 차이를 비교하기 위해 독립표본 T-test를 시행하였다. 모든 통계학적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

연구결과

실험군과 대조군의 중재 전과 후의 허리통증, 허리장애지수, 균형능력, 넙다리뒤근 길이를 비교한 결과는 다음과 같다(Table 2). 실험군과 대조군의 그룹 내 비교에서 중재 전과 비교하여 중재 후의 허리통증, 허리장애지수, 넙다리뒤근 길이변화는 유의한 향상이 있었다($p < 0.05$). 그룹 내 균형능력의 비교에서 실험군은 유의한 향상이 있었지만($p < 0.05$), 대조군의 균형능력은 유의하지 않았다. 실험군과 대조군 간 허리통증, 넙다리뒤근 길이변화는 유의한 차이가 없었다. 실험군과 대조군 간 허리장애지수와 균형능력은 실험군이 대조군보다 유의한 향상이 있었다($p < 0.05$).

논의

본 연구는 만성 허리통증을 가진 환자를 대상으로 노르딕 햄스트링 걷을 이용한 넙다리뒤근 편심성 운동을 4주간 실시했을 때, 허리 통증과 장애지수 및 균형능력과 넙다리뒤근의 길이 변화를 확인하기 위해 진행되었다.

본 연구에서 MFT Challenge Disc를 사용한 균형능력 평가에서 실험군에서 유의한 차이가 있었지만($P < 0.05$), 대조군에서는 유의한 차이가 없었다. 선행연구 중 노르

Table 1. General characteristics of participants

(N=27)

Variables	Experimental group (n=13)	Control group (n=14)	χ^2/t
Sex (male/female)	9/4	10/4	0.901
Age (years)	29.85 ± 4.76	31.53 ± 5.45	0.688
Height (cm)	171.64 ± 8.37	172.30 ± 8.06	0.501
Weight (kg)	69.07 ± 16.46	70.69 ± 15.92	0.629

means ± standard deviation

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Table 2. Comparison of changes in VAS, ODI, MFT and SLR within and between groups (N=27)

		Experimental group (n=13)	Control group (n=14)	t
VAS (scores)	Pre	4.30 ± 1.18	4.64 ± 0.74	0.888
	Post	2.23 ± 0.59	2.07 ± 0.73	-0.617
	t	7.216**	11.298**	
	Change	2.07 ± 1.03	2.57 ± 0.85	1.358
ODI (scores)	Pre	34.46 ± 9.96	29.00 ± 11.54	-1.452
	Post	9.84 ± 7.32	12.28 ± 8.40	0.801
	t	14.606**	8.329**	
	Change	25.38 ± 6.07	16.71 ± 7.50	-3.282**
MFT (scores)	Pre	3.82 ± 0.29	3.75 ± 0.35	-0.559
	Post	2.99 ± 0.52	3.61 ± 0.43	3.367*
	t	6.195**	2.051	
	Change	0.83 ± 0.48	0.14 ± 0.25	-4.694**
SLR (°)	Pre	42.84 ± 12.01	36.21 ± 10.73	-1.514
	Post	58.30 ± 8.27	49.71 ± 11.78	-2.177*
	t	-6.999**	-6.205**	
	Change	15.46 ± 7.96	13.50 ± 8.14	-0.632

Data are mean ± standard deviation.

Abbreviations: VAS, Visual Analogue Scale; ODI, Oswestry disability index; MFT, MFT challenge disc; SLR, Straight Leg Raising test.

*p<0.05, **p<0.01

딕 햄스트링 컬 운동 시 넙다리뒤근을 포함한 코어 근육들인 배바깥근, 배속빚근, 배가로근, 못갈래근들의 활성도가 증가한다는 연구결과가 있었으며[28]. 또한 넙다리뒤근의 근위부 힘줄이 영치결절인대와 연결되어 있어[29] 큰볼기근이 영치결절인대를 조여 동적 관절 안정성을 제공하는 기능을 한다[30]. 이들의 연구를 종합하였을 때, 실험군의 노르딕 햄스트링 컬 운동이 영치결절인대의 조임을 야기하여 대조군과의 균형 능력 차이를 나타내었을 것으로 생각할 수 있다.

두 그룹의 뻘은 다리 들어올리기 검사는 유의미한 차이를 나타내었다(P<0.05). 이는 넙다리뒤근 편심성 운동 그룹과 넙다리뒤근 스트레칭 그룹의 능동 무릎 펌 검사 결과값이 유의하게 증가하였다는 선행 연구[31] 결과와 일치한다. 또한 Jan 등과 Scott 등[32,33] 은 짧은 넙다리뒤근에 스트레칭을 적용할 경우 유연성이 증가한다고 보고하였고, Nelson과 Bandy는[34] 대항근의 동심성 수축이 관절을 느린 속도로 조절해주고 가능한 최대범위로 움직이며 작용근을 늘려준다고 보고하였다. 따라서 본 연구도 두 그룹에서 넙다리뒤근의 유연성이 증가하여 뻘은 다리 들어올리기 검사에서 유의한 향

상을 보였다고 생각한다.

대상자의 허리통증 변화에서는 유의미한 차이가 있었다. 그리고 장애지수의 변화도 유의미한 차이를 보였다. 이는 허리통증이 있는 사람을 대상으로 진행한 넙다리뒤근 스트레칭이 통증과 장애지수의 변화에 대한 결과가 유의미하게 증가하였다는 선행연구[35]의 결과와 일치한다. 또한 Reynolds의 연구에서는[36] 편심성 운동이 통증감소에 유의한 영향을 미친다는 결과를 보고하였다. 이러한 결과를 통해 스트레칭과 편심성 운동 모두 다 통증 감소에 긍정적인 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

본 연구는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫째, 25세에서 45세의 제한적인 연령을 대상으로 한 연구이기 때문에, 모든 연령대에 일반화하기 어려움이 있다. 둘째, 넙다리뒤근 편심성 운동만을 가지고 진행한 연구가 아니기 때문에 스트레칭의 변수를 제외한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

본 연구를 통해 넙다리뒤근 편심성 수축 운동이 허리통증, 기능에 긍정적 영향을 미친다는 것이 증명되었으며, 만성 허리통증 환자에게 넙다리뒤근 편심성 운동이

도움되는 것을 확인할 수 있었다. 추후 만성 허리통증 환자를 대상으로 다양하고 안전한 재활프로그램을 제공할 수 있도록 많은 연구가 지속적으로 이뤄져야 할 것이다.

결론

본 연구는 만성 허리통증을 가진 환자를 대상으로 노르딕 햄스트링 걸을 이용한 넙다리뒤근 편심성 운동을 4주간 실시했을 때, 허리 통증과 장애지수 및 균형능력과 넙다리뒤근의 길이 변화를 확인하기 위해 진행되었다. 넙다리뒤근 편심성 운동을 적용했을 경우 넙다리뒤근 스트레칭을 적용했을 때보다 허리장애지수와 균형능력에 유의하게 긍정적 효과를 나타냈다. 따라서, 만성 허리통증 환자의 허리장애지수와 균형능력 증가를 위한 운동프로그램으로 넙다리뒤근 편심성 운동을 적용할 수 있을 것이다.

이해 충돌

본 연구의 저자들은 연구, 저작권, 및 출판과 관련하여 잠재적인 이해충돌이 없음을 선언합니다.

참고문헌

1. Rezazadeh F, Taheri N, Okhravi SM, Hosseini SM. The relationship between cross-sectional area of multifidus muscle and disability index in patients with chronic non-specific low back pain. *Musculoskeletal Sci Pract.* 2019;42:1-5.
2. Hazard RG. Chronic low back pain and disability: the efficacy of functional restoration. *Bull Hosp Jt Dis.* 1996;55(4):213-6.
3. Seif HE, Alenazi A, Hassan SM, Kachanathu SJ, Hafez AR. The effect of stretching hamstring, gastrocnemius, iliopsoas and back muscles on pain and functional activities in patients with chronic low back pain: a randomized clinical trial. *OJTR.* 2015;3(04):139.
4. Lawrence JP, Greene HS, Grauer JN. Back Pain in Athletes. *J Am Acad Orthop Surg.* 2006;14:726-35.
5. Page P, Frank CC, Lardner R. Assessment and treatment of muscle imbalance. 2010;297
6. Dolan KJ, Green A. Lumbar spine reposition sense: the effect of a 'slouched' posture. *Manual therapy.* 2006;11(3):202-7.
7. Claeys K, Brumagne S, Dankaerts W, Kiers H, Janssens L. Decreased variability in postural control strategies in young people with non-specific low back pain is associated with altered proprioceptive reweighting. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111:115-23.
8. Kang KS, Jahng JS, Moon JH, Park HW, Yang KH, Jang BY. The Role of the Hamstrings as Antagonist of Quadriceps in Maintaining Knee Joint Stability. *J Korean Orthop Asso.* 1991;26(3):945-9.
9. Chaurasia BD. Human anatomy regional and applied. 3rd ed. Vol. 2. New Delhi: CBS Publishers & Distributors. 1998;74
10. Kendall FP, McCreary EK, Provance PG, Rodgers MM, Romani WA. Muscles: Testing and function with posture and pain. 5th ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins; 2005:213-20.
11. Mistry GS, Vyas NJ, Sheth MS. Comparison of hamstrings flexibility in subjects with chronic low back pain versus normal individuals. *J Clin Exp Res.* 2014;2(1):85.
12. Carregaro RL, Coury HJ. C. G. Does reduced hamstring flexibility affect trunk and pelvic movement strategies during manual handling? *Int J Ind Ergon.* 2009;39(1):115-20.
13. Da Silva Dias R, Gómez-Conesa A. Síndrome de los isquiotibiales acortados. *Fisioterapia.* 2008;30(4):186-93.
14. López Miñarro PA, Rodríguez García PL, Yuste JL, Alacid F, Ferragut C, García Ibarra A. Validity of the lumbo-sacral position in bending as measure of hamstring muscle extensibility on young athletes. *Arch Med Deporte.* 2008;25:103-10.
15. Hori M, Hasegawa H, Takasaki H. Comparisons of hamstring flexibility between individuals with and without low back pain: systematic review with meta-analysis. *Physiother Theory Pract.* 2021;37(5):559-82.
16. Kim BR, Lee HJ. Effectiveness of Core Stabilization Exercise and Hamstring Muscles Stretching Convergence on the Body Function and Activity in Patients with Non-specific Low Back Pain. *J INCA.* 2020;4(2):214-22.
17. Pandey E, Kumar D, Das S. Effect of Stretching on Shortened Quadratus Lumborum Muscle in

- Non-Specific Low Back Pain. *Indian J Physiother Occup Ther.* 2018;11:80-6.
18. Saleh A, Al Attar W, Faude O, Husain MA, Soomro N, Sanders RH. Combining the Copenhagen adduction exercise and nordic hamstring exercise improves dynamic balance among male athletes: a randomized controlled trial. *Sports Health.* 2021;13(6):580-7.
 19. Yu JS, Shin WS. Comparison of the immediate effect of hamstring stretching techniques on hamstring muscle range of motion, pressure pain threshold and muscle tone. *Phys Ther Rehabil Sci.* 2019;8(4):210-17.
 20. Lee JJ, Song B. The Effects of the Passive and Active Stretching Exercises of Iliopsoas Muscles on Low Back Pain Patients. *J Spec Educ Rehab.* 2015;54(2):291-307.
 21. Lee JH, Lee SJ, Ryu JN. Effect of Heat Therapy before Gastrocnemius Stretching on Dorsiflexion Angle and Pennate Angle of the Gastrocnemius in People with Limited Ankle Dorsiflexion. *Kor J Neuromuscul Rehabil.* 2022;12(1):1-9.
 22. Noh IC, Shin WS. Effects of Progressive Scapular Stabilization Exercise on Neck, Muscle Strength, Upper Extremity Function in Patients with Acute Whiplash Injury. *Phys Ther Rehabil Sci.* 2023;12(3): 310-19.
 23. Baek GS, Park SH, Shin WS. Effects of Lumbar Stabilization Exercise Program with Proprioceptive Stimulation in 20s Female Low Back Pain Patient. *Phys Ther Rehabil Sci.* 2022;11(2):198-206.
 24. Pojskic H, McGawley K, Gustafsson A, Behm DG. The reliability and validity of a novel sport-specific balance test to differentiate performance levels in elite curling players. *J Sports Sci Med.* 2020;19(2): 337.
 25. Kim SY. Comparison of six tests for assessing hamstring muscle length. *The Journal of Kor Acad Ortho Man Phys Ther.* 1999;5(1):39-51.
 26. Yu JS, Shin WS. Comparison of the immediate effect of hamstring stretching techniques on hamstring muscle range of motion, pressure pain threshold and muscle tone. *Phys Ther Rehabil Sci.* 2019;8(4):210-17.
 27. Davis DS, Quinn RO, Whiteman CT, Williams JD, Young CR. Concurrent validity of four clinical tests used to measure hamstring flexibility. *J Strength Cond Res.* 2008;22(2):583-8
 28. Narouei S, Imai A, Akuzawa H, Hasebe K, Kaneoka K. Hip and trunk muscles activity during nordic hamstring exercise. *J Exerc Rehabil.* 2018;14(2):231.
 29. Kim M, Yang HM, Yeo IS. Anatomical study of the sacrotuberous ligament and the hamstring muscles: A histomorphological analysis. *Clinical Anatomy.* 2023;1-7
 30. Wilson J, Ferris E, Heckler A, Maitland L, Taylor C. A structured review of the role of gluteus maximus in rehabilitation. *PNZ.* 2005;33:95-100.
 31. Kim TE, Choi BR. The Immediate Effects of Hamstring Eccentric Exercise and Static Stretching on Trunk Forward Bending. *PTK.* 2019;26(3):32-41.
 32. Halbertsma JP, van Bolhuis AI, Göeken LN. Sport stretching: effect on passive muscle stiffness of short hamstrings. *Arch Phys Med Rehabil.* 1996;77(7):688-92.
 33. Spernoga SG, Uhl TL, Arnold BL, Gansneder BM. Duration of maintained hamstring flexibility after a one-time, modified hold-relax stretching protocol. *J Athl Train.* 2001;36(1):44.
 34. Nelson RT, & Bandy WD. Eccentric training and static stretching improve hamstring flexibility of high school males. *J Athl Train.* 2004;39(3):254.
 35. Han HI, Choi HS & Shin WS. Effects of hamstring stretch with pelvic control on pain and work ability in standing workers. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2016;29(4):865-71.
 36. Reynolds B. The acute effects of eccentric exercise on indicators of hamstring muscle damage. *Phd J Pharm Policy Pract.* 2015;1-88