

Original Article

Open Access

넙다리뒤근 단축이 있는 성인에게 이완 기법의 적용이 하지의 유연성과 균형에 미치는 영향

이정우^{1,2} · 전성민² · 김하영² · 배종연² · 손송찬² · 송은진² · 심상은² · 이형욱² · 이해경² · 조백광² · 조성빈² · 주진희² · 진하연² · 황정현² · 김민희^{2†}

¹을지대학교 대학원 물리치료학과

²을지대학교 물리치료학과

Effects of Relaxation Techniques on Flexibility and Balance of the Lower Limb in Adults with Hamstring Shortening

Jung-Woo Lee, P.T., B.S.^{1,2} · Seong-Min Jeon P.T., B.S.² · Ha-Yeong Kim P.T., B.S.² · Jong-Yeon Bae P.T., B.S.² · Song-Chan Son P.T., B.S.² · Eun-Jin Song P.T., B.S.² · Sang-Eun Sim P.T., B.S.² · Hyeong-Uk Lee P.T., B.S.² · Hye-Kyeong Lee P.T., B.S.² · Baek-Gwang Jo P.T., B.S.² · Sung-Bin Jo P.T., B.S.² · Jin-Hee Joo P.T., B.S.² · Ha-Yeon Jin P.T., B.S.² · Jeong-Hyeon Hwang P.T., B.S.² · Min-Hee Kim, P.T., Ph.D.^{2†}

¹Department of Physical Therapy, Graduate school of Eulji University

²Department of Physical Therapy, College of Health Science, Eulji University

Received: March 11, 2024 / Revised: April 1, 2024 / Accepted: April 1, 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 investigate the effects of three relaxation techniques, namely, Static Stretching Exercise (SSE), Eccentric Contraction Exercise (ECE), and Suboccipital Muscle Release (SMR) on the flexibility and balance of the lower limb in adults with hamstring shortening.

Methods: The participants were 45 adults in their 20s with hamstring shortening. They performed three exercises (i.e., SSE, ECE, and SMR) for two weeks. We measured flexibility, muscle tone and stiffness, proprioception, and balance before and after the intervention, applying each relaxation technique. Data were analyzed using two-way repeated measures analysis of variance (ANOVA). The significance level was set at $\alpha=0.05$.

Results: Flexibility increased in the SSE, ECE, and SMR groups, with the SSE group showing the greatest improvement. Muscle tone and stiffness decreased in all groups, with the ECE group exhibiting the highest reduction. Proprioception increased in the SSE, ECE, and SMR groups, with SSE demonstrating the greatest enhancement. Balance also increased in all groups, with the

†Corresponding Author : Min-Hee Kim (kmh12@eulji.ac.kr)

ECE group showing the most pronounced improvement.

Conclusion: Overall, all three relaxation techniques for hamstring shortening resulted in improved flexibility, muscle tone and stiffness, proprioception, and balance of the lower limb in adults with hamstring shortening. The findings of this study underscore the importance of selecting an appropriate technique according to the purpose of treatment and the condition of the patient.

Key Words: Hamstring shortening, Relaxation technique, Flexibility, Balance

I. 서론

현대인의 생활은 앉아서 업무, 운전, 대중교통 이용 및 전자기기 사용 등으로 보내는 시간이 주를 이루어, 대한민국의 20대 이상 성인의 경우 하루 중 자는 시간을 제외하고 앉아서 생활하는 시간은 평균 8.6시간으로 보고되었다. 또한, 8-12시간을 앉아서 생활하는 사람의 비율은 34.4%를 차지하고, 심지어 12시간 이상을 앉아서 생활하는 사람의 비율은 25.4%에 달한다. 1회 걷기 시 최소 10분씩, 하루 3회 이상, 주 5일 걷는 성인의 비율이 2005년도에는 60.7%였으나 2020년도에는 39.2%로 걷기 운동을 하는 사람이 급격하게 감소한 것으로 나타났다(Kim et al., 2020; Korea Disease Control and Prevention Agency, 2005; Korea Disease Control and Prevention Agency, 2020).

앉아서 생활하는 시간이 길어지면 근육의 에너지 소모가 줄어들고 신체 활동량이 감소하는데(Stamatakis et al., 2019), 이는 비만, 체력 저하, 심혈관 건강의 저하, 고혈압, 근육 위축과 경직, 연부 조직 단축 등의 문제를 야기할 수 있다(Shin, 2022; Yuksel et al., 2020). 특히, 결합 및 근육 조직에 두드러지는 변화를 일으키는데, 콜라겐 섬유의 크기와 양이 감소하여 조직 약화 및 경직이 증가하고, 근육에서도 변형을 유발할 수 있다(Kisner & Colby, 2020; Boukabache et al., 2021). 또한, 앉은 자세를 유지하는 시간이 길어질수록 특정 근육에 가해지는 부하량이 줄어들면서 근육 사용량이 감소하면, 해당 근육의 단면적이 감소하고 근육의 단축이 유발될 수 있다(Wisdom et al., 2015). 그 중에서도 두드러지는 문제점은 빈발하는 넙다리뒤근(Hamstring)의 단축이다(Frey M et al., 2019).

넙다리뒤근은 넙다리두갈래근(Biceps femoris), 반힘줄근(Semitendinosus), 반막근(Semimembranosus)으로 구성된다. 이는 엉덩관절과 무릎관절에 작용하는 다관절 근육으로, 엉덩관절 폼과 무릎관절 굽힘에 작용하여 엉덩관절 굽힘 동작을 할 때 넙다리뒤근의 길이가 골반의 움직임에 영향을 준다(Kim & Lee, 2020; Neumann, 2016). 따라서 넙다리뼈에 대해 골반과 몸통의 위치를 조절하는 작용에 결정적인 역할을 담당하기 때문에, 넙다리뒤근의 근력과 유연성은 보행과 기립 등의 신체활동 능력에서 매우 중요한 역할을 하고 선 자세에서 무릎관절의 안정성에 많은 영향을 준다(Neumann, 2016; Itotani et al., 2021; Nam, 2011). 이렇듯 다양한 기능을 수행하는 넙다리뒤근은 앉은 자세 유지가 길게 지속되면 근육의 길이가 짧아진 채 유지되기 때문에 다른 근육들에 비해 쉽게 단축된다(Davis et al., 2005; Medeiros et al., 2016; Shamsi et al., 2020). 근육의 단축은 탄성이 줄어들고 유연성이 부족해진 상태로, 근육의 특성과 근육 길이-장력 관계에 비정상적인 변형을 일으키고 운동 중 빈번한 부상을 유발한다(Ramesh & Sivasankar, 2014; Cadellans et al., 2021). 넙다리뒤근의 유연성이 저하되면 골반 앞 기울임이 제한되어 허리뼈 앞 굽음을 감소시키고, 근육이 부착되어 있는 골반을 당기게 되므로 요통을 유발한다(Kumar, 2011; Sadler et al., 2017). 넙다리뒤근의 단축이 장기적으로 지속되면 자세 정렬 이상이 발생하고, 이는 엉치엉덩관절 통증, 척추 부상으로 이어질 위험이 있다(Jandre et al., 2015; Kumar, 2011). 또한, 하지 근육의 불균형을 일으킬 수 있으며 근육 불균형이 계속되면 고유수용성 감각 입력에 부정적인 영향을 미친다. 이는 동작을 할 때 운동 협응에 장애를 일으키고 균형

기능에 문제를 발생시킨다(Jung et al., 2022; Nam, 2011). 이러한 하지의 근육 불균형은 정상적인 체중 분배를 방해하여 원활한 일상적인 동작, 보행, 운동을 저해한다(Kim, 2022). 이와 같은 문제를 유발하는 넙다리뒤근의 단축을 해결하기 위한 여러 기법이 연구되어왔다. 그 방법에는 스트레칭, 원심성 수축 운동, 근막 이완기법 등이 있다(Cuthbert et al., 2020; Kisner & Colby, 2020).

스트레칭은 근육의 길이를 늘여 주는 방법으로 근육의 점성 특성과 근막의 점탄성 특성 혹은 감각 변화로 인해 관절가동범위(range of motion; ROM)가 증가하며, 동적 스트레칭, 정적 스트레칭, 고유수용성신경 근축진 스트레칭 등이 있다(Weppler & Magnusson, 2010). 스트레칭과 다르게 원심성 수축 운동은 외부에서 작용하는 힘이 근육의 수축력보다 강해 근육이 길어지며 수축하는 것이다(Hody et al., 2019). 이러한 원심성 수축 운동은 주동근이 최대로 작용하고 대항근이 관절을 감속하도록 조절하며 늘어나기 때문에 유연성 증가에 효과가 있다(Nelson & Bandy, 2004). 근막 이완기법은 압력을 가해 근막을 이완시키는 방법으로, 넙다리뒤근의 긴장도를 감소시키기 위해 뒤통수밀근의 이완을 적용할 수 있다(Beier et al., 2019; Krause et al., 2017). 머리의 회전과 신체의 자세 조절에 중요한 뒤통수밀근은 넙다리뒤근과 함께 경막을 통과하는 하나의 신경계로 연결되어 있기 때문이다(Aparicio et al., 2009; Cho et al., 2015).

따라서 본 연구에서는 정적 스트레칭, 원심성 수축 운동, 뒤통수밀근 이완 기법을 적용한 뒤 실험 전 2주간의 중재 적용 후에 유연성, 근육의 긴장도와 경직도, 고유수용성 감각, 균형 능력을 측정하여 그 효과를 비교하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구대상

본 연구는 경기도 S시에 소재한 E대학교에 재학

중인 대학생(남자: 24명, 여자: 21명) 45명을 대상으로 2022년 9월 1일부터 9월 16일까지 진행되었다.

연구 참여 지원자 중 앞으로 숙이기 검사와 능동 무릎관절 폼 검사를 통해 넙다리뒤근이 단축된 것으로 판별된 사람을 대상으로 선정하였다. 앞으로 숙이기 검사에서 지면과 손가락 사이 거리가 5cm 이상이며, 능동 무릎관절 폼 검사에서 20° 이상일 경우를 넙다리뒤근의 단축으로 정의하였다(Kim et al., 2017; Ahmed et al., 2015). 연구의 정확한 결과를 위해 하지의 수술 경험이 있는 자, 신경계의 문제나 근골격계의 손상이 있는 자는 연구 대상에서 제외하였다(Kim et al., 2021).

모든 대상자는 연구 참여 전 연구의 목적과 내용에 대해 자세히 설명을 들은 후 본인의 기본적인 신체적 특성에 대해 정보를 제공하였으며 연구 참여에 대한 동의서를 작성하고 연구에 참여하였다. 본 연구 대상자의 표본 수는 G*Power 3.1을 활용하여 세 군의 반복 측정 분산분석에 필요한 유의수준 0.05, 검정력 0.95를 기준으로 설정하였을 때, 표본 수가 45명인 것으로 나타나 적정 표본 수를 충족하였다(Faul et al., 2008). 본 연구에 참여한 대상자의 일반적인 특성은 다음과 같다(Table 1).

2. 연구절차

연구 대상자는 이완 기법 적용 전의 유연성, 근 특성, 고유수용성 감각, 균형 능력이 측정되었다. 이후 정적 스트레칭을 실시하는 SSE군(Static Stretching Exercise group) 15명, 원심성 수축 운동으로 노르딕 운동을 실시하는 ECE군(Eccentric contraction Exercise group) 15명, 대상자의 뒤통수밀근을 이완시키는 SMR군(Suboccipital Muscle Release group) 15명으로 군을 무작위 배정하였다. SSE군, ECE군, SMR군 모두 주 3회 2주간 총 6회에 걸쳐 각 중재 방법을 적용하였으며, 모든 중재는 각 3분씩 3회 진행하였다. 중재 2주 적용 후 중재 전과 같은 방식으로 측정을 적용하였다. 중재 전, 2주간 중재 적용 후 각 군의 측정값들을 분석하고 비교하였다(Figure 1).

Table 1. General characteristics of subjects

Characteristics		SSE (n=15)	ECE (n=15)	SMR (n=15)	p
Gender	Male	5.00 (33.30%)	8.00 (53.30%)	11.00 (73.30%)	-
	Female	10.00 (66.70%)	7.00 (46.70%)	4.00 (26.70%)	
Grade	1	4.00 (26.70%)	6.00 (40.00%)	4.00 (26.70%)	-
	2	5.00 (33.30%)	2.00 (13.30%)	7.00 (46.70%)	
	3	5.00 (33.30%)	5.00 (33.30%)	3.00 (20.00%)	
	4	1.00 (6.70%)	2.00 (13.30%)	1.00 (6.70%)	
Dominant Leg	Left	4.00 (26.70%)	1.00 (6.70%)	2.00 (13.30%)	-
	Right	11.00 (73.30%)	14.00 (93.30%)	13.00 (86.70%)	
Exercises regularly	Yes	9.00 (60.00%)	11.00 (73.30%)	11.00 (73.30%)	-
	No	6.00 (40.00%)	4.00 (26.70%)	4.00 (26.70%)	
Exercise Frequency (number of times per week)		2.47±1.46 ^a	2.53±1.19	3.00±1.46	0.52
Exercise Intensity (point)		2.07±1.03	2.53±1.19	2.13±0.83	0.41
Age (years)		21.93±1.34	21.60±1.77	22.40±1.72	0.41
Height (cm)		170.07±12.81	170.20±8.50	172.33±8.54	0.79
Weight (kg)		66.20±23.36	66.40±13.71	68.07±10.18	0.95

SSE: static stretching exercise group, ECE: eccentric contraction exercise group, SMR: suboccipital muscle release group.

^a Mean±SD

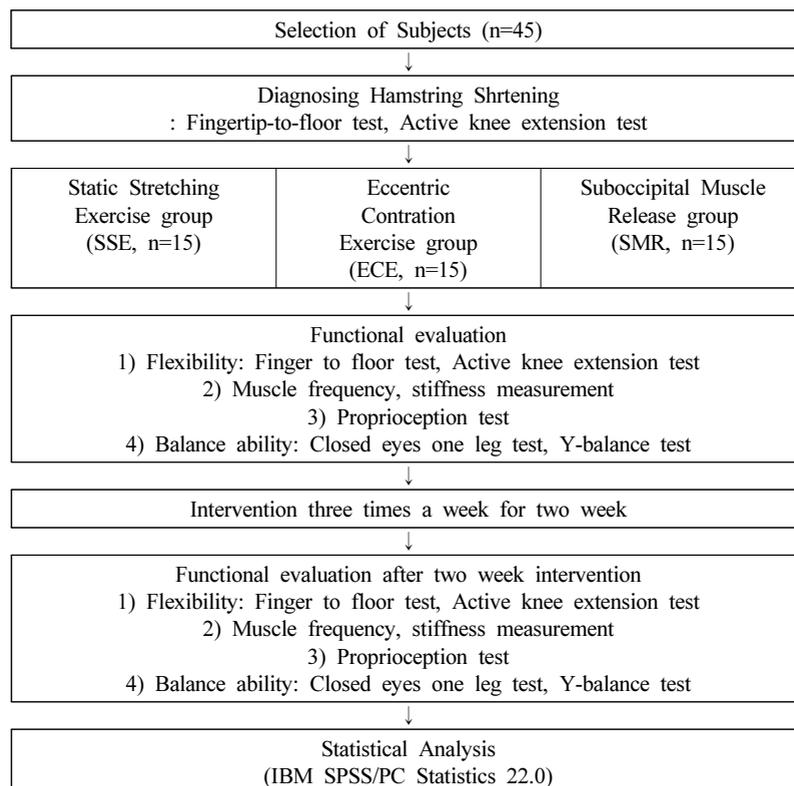


Fig. 1. Overview of research procedure.

3. 측정방법

1) 유연성

(1) 앞으로 숙이기 검사

대상자는 준비된 20cm 플랫폼 위에 양 발을 모은 상태로 올라선 뒤 무릎과 팔, 손가락을 완전히 펴고 최대한 플랫폼 쪽으로 손을 내리고 몸통을 숙이는 동작을 수행하였다(Perret et al., 2001). 3~5초간 이 자세를 유지하는 동안 셋째 손가락 끝과 플랫폼 사이의 수직 거리를 줄자(STANDARD 10 EL, Hoechstmass, Germany, 2020)를 이용하여 cm 단위로 측정하였다. 대상자의 셋째 손가락이 플랫폼에 도달하지 못하면 양수, 플랫폼보다 더 내려가면 음수로 표기하였다. 3회 측정 후 측정값들의 평균값을 계산하였다. 검사의 신뢰도는 0.99이다(Perret et al., 2001).

(2) 능동 무릎관절 펴기 검사

대상자는 바로 누운 자세로 엉덩관절과 무릎관절을 90° 굽힘 후 엉덩관절의 굽힘은 90°를 유지한 채 무릎관절을 최대한 펴는 동작을 수행하였다(Lim, 2021). 이때 대상자는 발목관절을 최대한으로 중립을 유지하고 골반에서는 움직임이 일어나지 않도록 골반을 고정하였다. 대상자가 무릎을 펴고 유지할 수 있는 최대 범위에서 관절 각도기(Universal Goniometer, BK medical, Korea, 2006)로 대상자의 관절 각도를 측정하였다. 관절 각도기의 중심축은 넙다리뼈 가쪽위관절 융기(lateral epicondyle), 고정팔은 넙다리뼈 큰돌기(greater trochanter), 움직이는 팔은 종아리뼈의 가쪽 중심선에 정렬하였다(Lim, 2021). 3회 측정 후 측정값들의 평균값을 계산하였다. 검사의 신뢰도는 0.94~0.96이다(Hamid et al., 2013).

2) 근육의 긴장도, 경직도

근육의 특성 중 신장에 저항하는 성질인 근 긴장도, 외부 힘에 대한 근육의 저항하는 성질인 근 경직도가

있다(Heo, 2022). 이러한 근육의 특성을 측정하기 위한 도구로 접촉식 근육 측정기(Myoton®PRO, MyotonAS, Estonia)를 사용하였다. 아래쪽 끝부분인 탐침(probe)을 근육의 가장 볼록한 부분(belly, 근복)에 수직이 되도록 놓고 녹색 불이 켜질 때까지 장치를 피부 쪽으로 내려 측정하였다. 측정에 영향을 미칠 수 있는 소음과 진동은 통제하였고, 넙다리뒤근의 가장 볼록한 부분(belly)을 3번 측정하여 측정값들의 평균값을 계산하였다(Han et al., 2021).

3) 고유수용성 감각

고유수용성 감각 측정을 위한 무릎관절 각도의 측정은 관절 각도기(Universal Goniometer, BK medical, Korea)를 사용하였다. 대상자는 앉은 자세에서 양다리가 바닥에 닿은 상태로 허벅지의 절반 정도가 밖으로 나온 자세를 유지하였다. 시작 자세는 항상 무릎관절 90° 굽힘 자세로 일치시켰고, 대상자의 무릎관절 가동 각도는 펴기 0°와 굽힘 90° 범위까지로 제한되었다. 목표 각도인 무릎관절 굽힘 30°를 인지시킨 뒤 대상자의 시각과 청각을 차단하였다. 이후 평가자의 신호에 따라 인지된 각도인 굽힘 30° 범위를 재현하도록 하였다. 목표 각도인 굽힘 30°에서 측정 각도를 뺀 값의 절댓값을 측정값으로 하였다(Hyun, 2013). 3회 측정 후 측정값들의 평균값을 계산하였다.

4) 균형능력

(1) Y-balance 검사

Y-balance 검사는 0.88~0.99의 높은 평가자간 신뢰도(intrarater reliability)를 가지는 효율적인 동적 균형 능력 검사 방법이다. 테이프를 이용하여 전방 방향에 테이프를 일자로 표시하고 앞쪽 방향 기준으로 135° 지점에서 뒤 안쪽과 뒤 가쪽 방향에 테이프로 선을 표시하였다. 중앙 지점에서 대상자가 손을 허리에 놓고 한 다리를 지지한 채로 지지하지 않은 다리를 각 선을 따라서 뻗은 지점까지의 거리를 자를 이용해 cm 단위

로 측정하였다(Baek, 2017). 3회의 연습 후 총 3번을 측정하여 평균값을 구하였다. 지지하고 있는 발이 지면에서 떨어질 경우, 중심이 무너져 뺀 발로 바닥을 지탱한 경우, 발을 뺀 후에 다시 시작 자세로 돌아오지 못한 경우에는 실패로 간주하여 재측정하였다(Kim, 2013).

(2) 눈 감고 외발 서기 검사

정적 균형능력을 측정하기 위해 눈 감고 외발 서기 검사를 실시하였다(Park, 2014). 대상자가 편평한 지면에서 양팔을 벌리고 눈을 감은 상태에서 시작 신호에 맞춰 한쪽 발을 지상에서 15cm 들고 서 있도록 하였다(Byun, 2015). 체중을 지지하는 발이 지면에서 떨어지거나 반대쪽 다리가 지면에 닿을 경우, 들어 올린 발이 지지하는 다리에 기댈 경우에는 측정을 중단하였다. 시간은 초시계(SEIKO, Japan)를 이용하여 초 단위로 측정하였으며, 소수점 첫째 자리까지 측정하였다. 측정 시 집중도 감소와 피로 영향을 최소화하기 위해 회당 3분의 휴식을 취한 후 검사를 실시하였다(Park, 2014). 왼쪽과 오른쪽 다리를 2회씩 측정하며 측정값의 평균값을 사용하였다(Byun, 2015).

4. 중재방법

1) 정적 스트레칭 운동(Static stretching exercise, SSE)

정적 스트레칭 운동은 자가 신장 기법으로 넙다리뒤근의 특성인 두 관절을 지난다는 점을 고려하여 바로 누운 자세에서 엉덩관절과 무릎관절을 각각 90° 굽힌 상태로 실시하였다(Park, 2018). 대상자들에게 발목은 발등굽힘 하도록 지시하였고 엉덩관절 90° 굽힘을 유지하며 최대한 무릎을 펴 시키도록 하였다. 최대 범위에서 자세를 20초간 유지한 다음 무릎을 굽혀 5초간 쉬는 동작을 포함하여 총 3분간 운동을 실시하였다(Kim & Kim, 2010). 넙다리뒤근의 근육 가지별로 구분하여 신장시키기 위해 이마면 기준 엉덩관절 30° 벌림,

30° 모음, 중립 자세에서 넙다리뒤근에 대한 자가 신장을 실시하였다(Park, 2018). 운동을 실시하지 않는 다리는 가능한 바닥에 고정하도록 하였다(Kim & Kim, 2010). 운동을 실시하는 다리는 대상자가 직접 허벅지를 양손으로 잡은 자세로 실시하였다. 첫 번째 세트에서는 엉덩관절 30° 벌림 자세, 두 번째 세트에서는 엉덩관절 중립 자세, 세 번째 세트에서는 엉덩관절 30° 모음 자세에서 실시하였다. 한 쪽 다리의 첫 번째 세트가 끝나면 반대쪽 다리의 첫 번째 세트를 실시하며 번갈아 운동을 진행하였다. 운동은 총 3세트 실시하였으며 세트 당 3분의 운동 시간과 세트 사이 3분의 휴식시간을 부여하여 총 15분 동안 진행하였다.

2) 원심성 수축 운동(Eccentric contraction exercise, ECE)

원심성 수축 운동으로는 노르딕 운동(Nordic exercise)을 실시하였다. 노르딕 운동은 상반신을 수직으로 유지한 상태로 바닥에 무릎을 꿇고 뒤꿈치를 고정하고 상체를 일자로 유지하며 천천히 앞으로 기울이며 넙다리뒤근의 원심성 수축을 유도하는 운동 방법이다(Kim & Kim, 2010). 대상자가 상반신을 수직으로 유지하고 바닥에 무릎을 꿇고 선 자세를 취하도록 하였다. 보조자는 대상자의 발뒤꿈치에 수직으로 압력을 가해 발을 강하게 고정하였다(Ditroilo et al., 2013). 대상자는 시작이라는 구령과 함께 유지할 수 있는 최대 관절 가동범위까지 전진하며 몸통을 반듯하게 편 상태로 유지하고 떨어짐에 대해 저항하도록 하였다(Jung, 2022). 선행 연구의 적용을 수정하여 최대 관절가동범위에서 최대한 자세를 유지하는 동작으로 구성하고 몸통이 바닥에 떨어지면 시작 자세로 10초 이내로 돌아오도록 지시하였고, 총 3분 동안 반복하며 실시하였다. 총 3세트 실시하였으며 세트당 3분의 운동 시간과 세트 사이 3분의 휴식 시간을 부여하여 총 15분 동안 진행하였다.

3) 뒤통수밑근 이완 기법

대상자를 바로 누운 자세로 눕힌 후 연구자는 엄지 손가락을 제외한 나머지 손가락의 손가락사이관절(IP joint)은 펴고 손허리손가락관절(MCP joint)을 90° 굽힌 상태로 대상자의 뒤통수밑근에 위치시킨다. 대상자에게 턱을 몸쪽으로 당겨달라는 지시와 함께 실험자는 뒤통수밑근에 위치한 손을 대상자의 머리 방향으로 견인(traction)하였다(Lee et al., 2017). 3분간 대상자가 통증을 호소하기 전까지의 강도로 지속적으로 이완시켜주었다. 증재는 3세트 실시하였으며 세트 사이 휴식 시간 3분을 포함하여 총 15분 동안 진행하였다(Seo et al., 2017).

5. 분석방법

본 연구의 통계학적 분석은 SPSS 22.0(Statistical Package for the Social Sciences, IBM, USA) 프로그램을 사용하였다. 대상자들의 일반적인 특성 중 성별, 학년, 운동 여부, 우세 다리는 빈도 분석을 사용하였고, 나이, 키, 몸무게, 운동 빈도, 강도는 기술량 통계를 사용하였다. 정규성은 Kolmogorov-Smirnov 검정을 이용하였고, 정규분포를 만족하는 앞으로 숙이기, 능동 무릎 펴 각도, 근 긴장도와 근 경직도, 고유수용성 감각, 동적 균형, 정적 균형은 모수 검정인 이원배치 반복측정 분산분석(Two way repeated measures ANOVA)을 사용하여 분석하였다. 또한 사후검정은 Bonferroni test와 독립검정 t-test로 시행하였고, 모든 통계학적 유의수

준을 검정하기 위하여 유의수준을 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다.

III. 연구 결과

1. 유연성

1) 앞으로 숙이기 검사

이완 요법 적용 전과 후의 앞으로 숙이기 검사 결과에서 세 군 모두 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). SSE군은 15.91 ± 10.11 에서 9.74 ± 8.32 로 감소하였고, ECE군은 18.19 ± 5.30 에서 14.69 ± 5.58 으로, SMR군은 14.97 ± 6.23 에서 11.38 ± 4.91 로 감소하였다. 그러나, 세 군 사이에서는 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p>0.05$) (Table 2).

2) 능동 무릎 펴 검사

이완 요법 적용 전과 후의 능동 무릎 펴 검사 결과에 대한 평균값을 비교한 결과 세 군에서 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 세 군 모두 적용 후에 결괏값의 증가가 나타났으며, 특히 SSE군이 139.21 ± 11.82 에서 147.82 ± 12.50 로 증가가 가장 크게 나타났다. 그러나, 세 군 사이에서 유의한 차이는 없었다 ($p>0.05$)(Table 2).

Table 2. Comparison of flexibility within group and among groups

		SSE	ECE	SMR	p (F)	
					Time	Time*Group
FTF (cm)	Pre	15.91 ± 10.11^a	18.19 ± 5.30	14.97 ± 6.23	0.00^* (16.38)	0.52 (0.67)
	Post	9.74 ± 8.32	14.69 ± 5.58	11.38 ± 4.91		
AKE (°)	Pre	139.21 ± 11.82	134.41 ± 9.13	140.79 ± 10.39	0.00^* (28.03)	0.55 (0.61)
	Post	147.82 ± 12.50	141.07 ± 9.48	146.03 ± 10.14		

FTF: fingertip-to-floor test, AKE: active knee extension test, SSE: static stretching exercise group, ECE: eccentric contraction exercise group, SMR: suboccipital muscle release group. ^a Mean \pm SD. * $p<0.05$

2. 근 특성

1) 근 긴장도

왼쪽 넙다리뒤근의 근 긴장도는 이완 요법 적용 전과 후의 결과에서 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 세 군 사이에서 유의한 차이는 없었으나($p>0.05$), SSE군과 ECE군 사이에서는 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 또한, 오른쪽 넙다리뒤근의 근 긴장도도 이완 요법 적용 전과 후의 결과에서 유의한 차이가 있었고($p<0.05$), 세 군 사이에서 유의한 차이는 없었으나($p>0.05$), SSE군과 ECE군 사이에서만 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 오른쪽과 왼쪽 모두 넙다리뒤근의 긴장도는 이완 요법 적용 후 모든 군에서 감소하는 경향을 보였고, 특히 ECE군이 왼쪽은 17.24 ± 1.57 에서 16.56 ± 1.08 로, 오른쪽은 17.88 ± 1.76 에서 17.02 ± 1.45 로 감소하였다(Table 3).

2) 근 경직도

이완 요법을 적용한 전과 후의 값을 비교한 결과 왼쪽과 오른쪽 모두의 넙다리뒤근 경직도에서 모두 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 세 군 사이에서 유의한 차이는 없었으나($p>0.05$), SSE군과 ECE군 사이에서

는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며($p<0.05$), SMR군과 나머지 두 군 사이에서는 유의한 차이가 없었다($p>0.05$). 중재 적용 후 ECE군의 왼쪽 넙다리뒤근 경직도는 309.03 ± 41.48 에서 287.33 ± 37.00 으로, 오른쪽 넙다리뒤근 경직도는 319.23 ± 46.17 에서 304.63 ± 39.24 로 가장 큰 값의 변화가 나타났다(Table 3).

3. 고유수용성 감각

이완 요법을 적용한 전과 후의 값을 비교한 결과 왼쪽과 오른쪽 모두의 고유수용성 감각은 유의한 차이가 있었고($p<0.05$). 군 사이의 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다($p>0.05$). 모든 군에서 중재 적용 후 실제 각도와 재현 각도의 오차값이 줄어드는 경향이 나타났으며, 그 중에서도 SSE군이 왼쪽은 37.71 ± 7.46 에서 29.91 ± 2.70 으로, 오른쪽은 36.40 ± 7.34 에서 30.00 ± 3.11 로 가장 큰 감소가 나타났다(Table 4).

4. 균형능력

1) 동적 균형

이완 요법을 적용한 전과 후의 값을 비교한 결과 양측 다리의 모든 방향에서의 균형감각이 통계적으로

Table 3. Comparison of muscle characteristics within group and among groups

		SSE	ECE	SMR	p (F)	
					Time	Time*Group
F	Left	Pre	$14.81\pm 1.92^*$	17.24 ± 1.57	15.94 ± 2.23	0.01^* (8.41)
		Post	14.70 ± 1.98	$16.56\pm 1.08^\dagger$	15.47 ± 2.15	
	Right	Pre	15.52 ± 2.10	17.88 ± 1.76	16.65 ± 2.13	0.00^* (15.07)
		Post	15.12 ± 2.48	17.02 ± 1.45	15.99 ± 2.35	
S	Left	Pre	241.00 ± 56.10	309.03 ± 41.48	280.81 ± 64.56	0.00^* (12.23)
		Post	233.94 ± 51.39	$287.33\pm 37.00^\dagger$	272.69 ± 67.01	
	Right	Pre	258.61 ± 64.38	319.23 ± 46.17	277.50 ± 68.01	0.01^* (6.83)
		Post	245.89 ± 67.18	304.63 ± 39.24	261.75 ± 58.78	

F: frequency, S: stiffness, SSE: static stretching exercise group, ECE: eccentric contraction exercise group, SMR: suboccipital muscle release group. a Mean \pm SD. * $p<0.05$

Significant difference between groups according to the Bonferroni post-test, † significant difference with SSE ($p<0.05$)

Table 4. Comparison of proprioception within group and among groups

		SSE	ECE	SMR	p (F)	
					Time	Time*Group
Left (°)	Pre	37.71±7.46 ^a	36.64±7.82	33.07±6.04	0.00* (20.57)	0.17 (1.87)
	Post	29.91±2.70	31.00±1.91	30.67±3.16		
Right (°)	Pre	36.40±7.34	34.23±8.62	32.97±8.22	0.02* (5.79)	0.24 (1.51)
	Post	30.00±3.11	31.00±2.12	32.30±3.88		

SSE: static stretching exercise group, ECE: eccentric contraction exercise group, SMR: suboccipital muscle release group.

^a Mean ± SD, *p<0.05

Table 5. Comparison of dynamic balance within group and among groups

			SSE	ECE	SMR	p (F)	
						Time	Time*Group
Left (cm)	F	Pre	62.76±9.23	62.48±8.72	61.27±7.62	0.00* (75.62)	0.34 (1.13)
		Post	69.29±8.18	70.55±8.46	66.62±6.92		
	M	Pre	46.13±9.16	47.51±13.20	47.06±7.25	0.00* (76.48)	0.47 (0.78)
		Post	54.15±10.26	58.92±13.19	57.07±10.69		
	L	Pre	39.22±9.81	42.16±12.62	42.02±7.62	0.00* (20.64)	0.18 (1.78)
		Post	46.13±10.28	59.77±24.18	50.78±10.52		
Right (cm)	F	Pre	60.99±9.47	63.98±10.53	60.91±8.36	0.00* (77.54)	0.20 (1.69)
		Post	68.25±8.38	72.44±9.99	65.89±7.57		
	M	Pre	45.08±12.19	48.51±13.63	47.10±9.14	0.00* (106.51)	0.04* (3.42)
		Post	51.27±10.87	60.29±13.38	57.20±11.05		
	L	Pre	36.40±8.14	44.59±11.81	41.44±9.05	0.00* (67.85)	0.23 (1.54)
		Post	43.36±9.81	56.47±15.00 [†]	51.51±11.88		

F: forward, M: medial, L: lateral, SSE: static stretching exercise group, ECE: eccentric contraction exercise group, SMR: suboccipital muscle release group. ^a Mean±SD, *p<0.05

Significant difference between groups according to the Bonferroni post-test: † significant difference with SSE (p<0.05)

유의한 차이가 나타났다(p<0.05). 세 군 사이에서의 유의한 차이는 없었으나(p>0.05), 양측 다리로 측정한 바깥쪽 균형감각에서 SSE군과 ECE군 사이에서는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, 전방과 안쪽 균형감각의 값은 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다(p>0.05). 모든 군에서 중재 적용 후 균형감각이 상승하는 경향이 나타났으며, 특히 ECE군이 양측 다리, 모든 방향에서 가장 큰 값의 변화가 나타났다 (Table 5).

2) 정적 균형

이완 요법을 적용한 전과 후의 값을 비교한 결과 양측 다리의 균형감각이 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(p<0.05). 세 군 사이에서의 유의한 차이는 없었으나(p>0.05), 오른쪽 다리의 ECE군과 SMR군에서는 통계적으로 유의한 차이가 있었다(p<0.05). 양측 다리의 정적 균형 감각은 모든 군에서 상승하는 경향이 나타났으며, 그 중에서도 SSE군이 왼쪽은 26.84±30.02에서 43.10±55.74으로, 오른쪽은 17.77±11.42에서 32.82±21.54으로 가장 큰 값의 변화가 나타났다(Table 6).

Table 6. Comparison of static balance within group and among groups

		SSE	ECE	SMR	p (F)	
					Time	Time*Group
Left (sec)	Pre	26.84±30.02 ^a	31.12±25.79	25.32±43.46	0.00* (11.67)	0.84 (0.18)
	Post	43.10±55.74	42.93±28.97	36.48±41.47		
Right (sec)	Pre	17.77±11.42	27.74±19.85	15.89±16.07	0.00* (22.05)	0.07 (2.95)
	Post	32.82±21.54	39.03±22.89	18.90±16.55		

SSE: static stretching exercise group, ECE: eccentric contraction exercise group, SMR: suboccipital muscle release group.

^a Mean ± SD, *p<0.05

IV. 고찰

업무, 운전, 대중교통 이용 및 전자기기 사용 등으로 앉아서 보내는 시간이 주를 이루는 현대인의 생활 습관은 신체 활동량 및 운동시간 감소 등의 다양한 이유로 인해 넙다리뒤근 단축이 증가하고 있다. 이로 인해 넙다리뒤근의 부상위험이 증가하고, 자세 정렬이 변화하며 균형능력이 감소하는 결과를 초래한다. 또한, 허리 앞 굽음 감소와 통증, 보행 이상, 자세 불안정, 비정상적인 체중 지지 등의 근골격계 손상을 야기하여 심각성이 대두되고 있다(Kisner & Colby, 2020). 이에 따라, 본 연구는 넙다리뒤근 단축이 있는 성인에게 정적 스트레칭 운동, 원심성 수축 운동, 뒤통수밑근 이완 기법을 적용하여 넙다리뒤근 단축에 미치는 영향을 알아보려고 했다.

넙다리뒤근의 단축과 관련된 일차적 요인은 유연성이다(Ramesh, 2014). 유연성은 동작에 정확하고 부드러운 움직임을 조절하는 중요한 능력이며 관절 가동성, 근육의 신장력과 탄력성, 점성, 전도성의 능력, 인대의 탄력성 등과 연관된다(Kisner & Colby, 2020). 특히, 넙다리뒤근의 단축은 하지의 유연성 감소를 초래하여 부상의 위험도를 증가시킬 수 있어(Cadellans-Arroniz et al., 2022), 본 연구에서는 정적 스트레칭 운동, 원심성 수축 운동, 뒤통수밑근 이완 기법을 적용하여 넙다리뒤근 유연성의 변화를 측정하였다. 본 연구 결과에서 세 가지 이완 기법 적용은 모두 넙다리뒤근의 유연성을 증가시켰고, 그 중, 정적 스트레칭을 적용한 군에서 가장 큰 유연성의 증가가 나타났다. 이전

연구들에 따르면, 넙다리뒤근이 단축된 사람을 대상으로 정적 스트레칭 운동, 원심성 수축 운동, 뒤통수밑근 이완 기법을 실시하여 유연성을 측정한 결과 모두 유연성의 증가가 나타났으며(Kim & Choi, 2019; Seo et al., 2017), 본 연구의 결과와 유사하였다. 또한, Ribeiro-Alvares 등(2018)은 스트레칭 훈련과 원심성 수축 운동이 넙다리뒤근에서 근막 길이 증가를 통해 유연성을 증진시킬 수 있다는 연구 결과를 보고하여, 본 연구에서도 이와 유사하게 유연성이 증가된 것으로 생각된다.

근 긴장도는 신경학적 자극이 없는 상태에서 수동 신장에 의해 근육에 발생하는 긴장도를 말하며, 근 경직도는 근육을 변형시키려는 외부의 힘에 대한 근육의 저항수치를 의미한다(Meerits et al., 2014; Han et al., 2021). 근 긴장도가 과도하게 높아지면 근육의 장력이 증가하며 이로 인해 근육의 회복 지연과 피로를 유발하고(Kim, 2017), 근 경직도가 증가하면 근육의 저항이 높아지고 유연성이 감소하여 넙다리뒤근의 부상위험이 증가한다(Bourne et al., 2018; Park, 2018). 본 연구 결과에서 정적 스트레칭 운동, 원심성 수축 운동, 뒤통수밑근 이완 기법 적용 후 모두 근 긴장도와 근 경직도가 감소하는 경향을 보였으며, 원심성 수축 운동군의 감소폭이 가장 크게 나타났다. Uysal 등의 연구에서 원심성 수축 운동 결과 넙다리뒤근과 넙다리곧은근 모두 근 경직도가 감소하는 결과가 나타났고, 이러한 현상의 원인은 원심성 운동으로 근육이 늘어나면서 수축하기 때문에 긴장성 부하를 받게 되어 콜라겐 섬유의 생성과 배열이 느슨해지기 때문이라는

의견이 제시되었다(Uysal et al., 2021). Takeuchi 등(2020)의 연구에서 정적 스트레칭 운동을 적용한 경우 넙다리뒤근 경직도의 감소와 유연성 증가가 나타났고, Cho 등(2015)은 뒤통수밀근 이완 기법을 적용한 결과 근 긴장도를 감소시켰고 이를 통해 즉각적으로 넙다리뒤근의 유연성이 증가했다고 보고하였다. 이러한 선행연구의 결과는 본 연구의 결과와 같이 정적 스트레칭 운동, 원심성 수축 운동, 뒤통수밀근 이완 기법의 적용이 근 긴장도와 근 경직도 감소에 효과가 있음을 알 수 있었다.

본 연구 결과에서 정적 스트레칭 운동, 원심성 수축 운동, 뒤통수밀근 이완 기법 적용 후 관절 위치 감각이 증가하는 경향을 보였다. 고유수용성 감각은 근육, 관절, 피부, 건, 인대 등에 존재하는 고유수용기로부터 전달되는 감각 정보이다(Lee, 2014). 고유수용성 감각의 한 종류인 관절 위치 감각은 시력의 도움 없이 사지의 위치를 평가할 수 있는 능력으로, 근육의 기능적 상태의 수정이 위치 감각의 정밀도에 영향을 줄 수 있다는 것을 나타낸다(Ghaffarinejad et al., 2007). 본 연구의 결과 중 정적 스트레칭 운동군에서 목표 각도와 오차값이 가장 크게 감소하여, 세 군 중 고유수용성 감각이 가장 크게 증진되는 것으로 나타났다. Ghaffarinejad 등(2007)은 2주간의 정적 스트레칭 운동이 넙다리뒤근과 넙다리네갈래근 등의 다리 근육에서 무릎 관절 위치 감지 능력이 향상된다고 보고하였고, Bong 등(2020)은 원심성 수축 운동이 무릎과 엉덩관절의 고유수용성 감각 증진에 효과적이라 보고하였다. 본 연구에서 적용된 증재는 관절 주위의 근방추의 활성화를 통한 구심성 감각 입력 및 수동운동 감지 임계값(Threshold To Detection of Passive Motion)의 증가를 통해 고유수용성 감각을 향상시킨 것으로 생각된다(Hody et al., 2019; Nagamori et al., 2016; Torres et al., 2012). 관절 위치 감각은 균형감각 또는 안뜰계통 감각과 같은 운동 조절 영역에 기초적인 정보를 전달하여 운동능력 향상에 중요한 요인으로(Jeon, 2019), 증재의 적용으로 인한 고유수용성 감각의 증가는 균형능력에 영향을 끼칠 수 있다.

균형은 운동이나 이동에 필요한 기본적인 요소이며 균형의 유지와 조절은 일상생활의 활동에 중요하고 움직임을 기능적으로 수행하기 위해 필수적인데(Kim et al., 1999), 넙다리뒤근의 단축은 균형능력을 감소시킨다(Shamsi et al., 2020). 본 연구에서는 정적 스트레칭 운동, 원심성 수축 운동, 뒤통수밀근 이완 기법 적용이 단축으로 감소된 균형능력을 증가시키는 것으로 나타났으며, 동적 균형능력은 원심성 수축 운동이, 정적 균형능력은 정적 스트레칭 적용에서 가장 높은 증가가 나타났다. Wesam 등(2021)에서 넙다리뒤근의 원심성 수축 운동이 균형 능력을 개선할 수 있다 하였는데, 이는 원심성 수축으로 인한 근력의 증가가 균형능력의 향상에 도움을 준 것으로 생각할 수 있다(Lexell, 2008). 또한, 이전 연구의 결과에서 정적 스트레칭 운동은 넙다리뒤근의 온도 상승 및 혈류 증가로 인한 탄력 증가로 유연성을 상승시켜 균형 능력의 상승에 도움을 줄 수 있음을 확인하였다(Jeon, 2019). 뒤통수밀근 이완은 넙다리뒤근의 유연성 증가를 통해 균형능력을 상승시켰는데(Kim et al., 2015), 이는 뒤통수밀근이 넙다리뒤근과 함께 경막을 통과하는 하나의 신경계로 연결되어 있기 때문에, 뒤통수밀근의 이완이 넙다리뒤근의 유연성과 균형능력에 영향을 미친다(Aparicio et al., 2009; Cho et al., 2015). 따라서, 정상적으로 균형을 조절하기 위해서는 근골격계의 지지 작용과 협응을 포함한 운동, 감각 기능의 조화가 필요하므로(Song, 2019), 본 연구에서 적용된 정적 스트레칭 운동, 원심성 수축 운동, 뒤통수밀근 이완 기법이 유연성, 근 긴장도와 근 경직도, 고유수용성 감각의 증진과 관련하여 균형능력을 증가시킨 것으로 생각된다.

본 연구에서는 몇 가지 제한점을 보여주고 있다. 첫째, 본 연구의 대상자들이 20대 초반의 한정된 연령대로, 일반화가 어렵다. 상대적으로 젊은 연령은 근육의 회복 능력이 높기 때문에 짧은 기간의 운동을 통해 능력이 증진될 수 있지만 다른 연령대에서의 효과는 미비할 수 있다는 것이다. 둘째, 대상자들의 일상생활 통제가 이루어지지 않았다. 본 연구의 이완 기법을 제외한 운동 및 스트레칭 등으로 인해 측정값의 변수

가 있을 수 있다.

V. 결론

현대인들의 좌식생활의 증가에 따라 넙다리뒤근의 단축이 증가하고 이로 인해 넙다리뒤근 부상 위험 증가, 자세정렬 변화, 균형 능력 감소 등의 문제가 나타난다. 본 연구는 정적 스트레칭 운동, 원심성 수축 운동, 뒤통수밑근 이완 기법의 적용이 넙다리뒤근의 단축에 미치는 효과를 확인하고자 하였다. 연구결과에서 세 중재 기법 모두 유연성, 근긴장도와 근경직도, 고유수용성 감각, 균형능력의 향상이 나타났다. 본 연구 결과를 바탕으로 임상에서는 치료 목적과 환자의 상태에 따라 적절한 기법을 사용할 것을 제안한다.

References

- Ahmed H, Anwer S, Iqbal A, et al. Effect of modified hold-relax stretching and static stretching on hamstring muscle flexibility. *Journal of Physical Therapy Science*. 2015;27(2):535-538.
- Alexander KM, LaPier TL. Differences in static balance and weight distribution between normal subjects and subjects with chronic unilateral low back pain. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 1998;28(6):378-383.
- Aparicio EQ, Quirante LB, Blanco CR, et al. Immediate effects of the suboccipital muscle inhibition technique in subjects with short hamstring syndrome. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 2009; 32(4):262-269.
- Baek JK. Correlation between functional lower extremity instability on Y-balance test and muscle activity and functional movement of ankle. Korea University. Dissertation of Master's Degree. 2017.
- Beier Z, Earp I, Korak JA. Self-Myofascial Release Does Not Improve Back Squat Range of Motion, Alter Muscle Activation, or Aid in Perceived Recovery 24-Hours Following Lower Body Resistance Training. *International Journal of Exercise Science*. 2019; 12(3):839-846.
- Bong EB, Kwak JS, Jung HJ, et al. The Effects of Nordic hamstring exercise on the different surface to muscle strength, proprioception and postural sway in healthy adult. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*. 2020;24(7):1602-1610.
- Boukabache A, Preece SJ, Brookes N. Prolonged sitting and physical inactivity are associated with limited hip extension: A cross-sectional study. *Musculoskeletal Science and Practice*. 2021;51:102282.
- Bourne MN, Timmins RG, Opar DA, et al. An Evidence-Based Framework for Strengthening Exercise to Prevent Hamstring Injury. *Sports Medicine*. 2018;48(2): 251-267.
- Byun HY. The Effect on Elderly Female Osteoarthritis Patients' Static Balance, Walking Function, and Pain of an Underwater Remedial Exercise Program. Kyungpook National University. Dissertation of Master's Degree. 2015.
- Cadellans-Arróniz A, López-de-Celis C, Pérez-Bellmunt A, et al. Effects of Diacutaneous Fibrolysis on Passive Neuromuscular Response and Mechanosensitivity in Athletes with Hamstring Shortening: A Randomized Controlled Trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(12):6554.
- Cadellans-Arroniz A, Lopez-de-Celis C, Rodriguez-Sanz J, et al. Immediate effects of diacutaneous fibrolysis in athletes with hamstring shortening. A randomized within-participant clinical trial. *PLOS ONE*. 2022; 17(7):e0270218.
- Cho SH, Kim SH, Park DJ. The comparison of the immediate

- effects of application of the suboccipital muscle inhibition and self-myofascial release techniques in the suboccipital region on short hamstring. *Journal of Physical Therapy Science*. 2015;27(1):195-197.
- Cuthbert M, Ripley N, McMahon JJ, et al. The Effect of Nordic Hamstring Exercise Intervention Volume on Eccentric Strength and Muscle Architecture Adaptations: A Systematic Review and Meta-analyses. *Sports Medicine*. 2020;50(1):83-99.
- Davis DS, Ashby PE, McCale KL, et al. The effectiveness of 3 stretching techniques on hamstring flexibility using consistent stretching parameters. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2005;19(1):27-32.
- Ditroilo M, De Vito G, Delahunt E. Kinematic and electromyographic analysis of the Nordic Hamstring Exercise. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2013;23(5):1111-1118.
- Faul F, Erdfelder E, Lang AG, et al. G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*. 2007;39(2):175-191.
- Frey M, Poynter A, Younge K, et al. The relationship between lumbopelvic flexibility and sitting posture in adult women. *Journal of Biomechanics*. 2019;84:204-210.
- Ghaffarinejad F, Taghizadeh S, Mohammadi F. Effect of static stretching of muscles surrounding the knee on knee joint position sense. *British Journal of Sports Medicine*. 2007;41(10):684-687.
- Hamid MS, Ali MR, Yusof A. Interrater and Intrarater Reliability of the Active Knee Extension (AKE) Test among Healthy Adults. *Journal of Physical Therapy Science*. 2013;25(8):957-961.
- Han HG, Choe YJ, Jeong SH, et al. Inter-and intra-rater reliabilities of Myotonometric Measurement of the erector spinae muscles in the young and old age groups. *Journal of The Korean Society of Integrative Medicine*. 2021;9(1):193-202.
- Han HG, Choe YJ, Jeong SH, et al. Inter-and Intra-rater Reliabilities of Myotonometric Measurement of the Erector Spinae Muscles in the Young and Old Age Groups. *Journal of The Korean Society of Integrative Medicine*. 2021;9(1):193-202.
- Heo J. Effects of rectus abdominis relaxation intervention on low back pain and muscle elasticity in office workers. Eulji University. Dissertation of Master's Degree. 2022.
- Hody S, Croisier JL, Bury T, et al. Eccentric Muscle Contractions: Risks and Benefits. *Frontiers in Physiology*. 2019;10:536.
- Hyun JM. Effects of Proprioception Training on the Functions and Position Sense of the Knee Joints in the Patients with Anterior Cruciate Injury. Daegu University. Dissertation of Master's Degree. 2013.
- Itotani K, Kawahata K, Takashima W, et al. Myofascial Release of the Hamstrings Improves Physical Performance-A Study of Young Adults. *Healthcare(Basel, Switzerland)*. 2021;9(6):674.
- Jandre Reis FJ, Macedo AR. Influence of Hamstring Tightness in Pelvic, Lumbar and Trunk Range of Motion in Low Back Pain and Asymptomatic Volunteers during Forward Bending. *Asian Spine Journal*. 2015; 9(4):535-540.
- Jeon HN. Immediate effect of Kaltborn-Evjenth, proprioceptive neuromuscular facilitation, and static stretching on flexibility, proprioception, and dynamic balance of hamstring muscles in healthy subjects. Konyang University. Dissertation of Master's Degree. 2019.
- Jung DW. Comparison of Dynamic Control Ratio and Lower Extremity Muscle Activity During Eccentric Hamstring Exercises. Catholic University of Pusan. Dissertation of Master's Degree. 2022.
- Jung MG, Kim NW, Lee YW. Immediate effect of hip hinge

- exercise stretching on flexibility of lower limb, pelvic tilting angle, proprioception and dynamic balance in individual with hamstring tightness. *Physical Therapy Rehabilitation Science*. 2022;11(2):259-268.
- Kim CG. A Comparison of subjective discomfort, joint kinematics, muscle activation, and pressure distribution according to foot position in prolonged sitting posture. Honam University, Dissertation of Master's Degree. 2022.
- Kim GW, Lee JH. Hamstring foam roller release and sole self myofascial release for improving hamstring muscles flexibility in participants with hamstring shortness. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine*. 2020;15(4):1-9.
- Kim JH, Kim TH. Immediate Effects of Stretching on Hamstring Stiffness. *The Journal of Korean Society of Physical Therapy*. 2010;22(1):1-7.
- Kim JW, Nam GE, Huh Y, et al. Association between Sitting Time and Hyperuricemia in Korean Adults: Results from the 2016–2018 Korea National Health and Nutrition Examination Survey. *Korean Journal of Family Practice*. 2020;10(6):469-473.
- Kim SJ. Evaluation of functional ability of functional ankle instability athletes through three types of Hope test and Y-balance test. Kyung Hee University, Dissertation of Master's Degree. 2013.
- Kim TE, Choi BR. The Immediate Effects of Hamstring Eccentric Exercise and Static Stretching on Trunk Forward Bending. *Physical Therapy Korea*. 2019; 26(3):32-41.
- Kim TH, Goo BO, Yun SW, et al. Effect of suboccipital muscle inhibition and combination technique on the flexibility of hamstring in individuals with shortened hamstring. *Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association*. 2015;13(1):31-37.
- Kim YJ, Park JH, Kim JH, et al. Effect of High-frequency Diathermy on Hamstring Tightness. *Korean Research Society of Physical Therapy*. 2021;28(1):65-71.
- Kim YR. The effects of trunk stabilization exercise, respiratory exercise with joint mobilization on muscle tone of shoulder joint, upper limb function and postural alignment. Young In University. Dissertation of Doctorate Degree. 2017.
- Kim YW, Chang WH, Kim NY, et al. Effect of Extracorporeal Shock Wave Therapy on Hamstring Tightness in Healthy Subjects: A Pilot Study, *Yonsei Medical Journal*. 2017;58(3):644-649.
- Kisner C, Colby LA, Borstad J, Therapeutic Exercise, 7th ed, FA Davis, 2020.
- Korea Disease Control and Prevention Agency. 2005 National Health Statistics, 2012.08.30.
- Korea Disease Control and Prevention Agency. 2020 National Health Statistics, 2022.01.28.
- Krause F, Wilke J, Niederer D, et al. Acute effects of foam rolling on passive tissue stiffness and fascial sliding: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2017;18(1):114.
- Kumar GP. Comparison of cyclic loading and hold relax technique in increasing resting length of hamstring muscles. *Hong Kong Physiotherapy Journal*. 2011; 29(1):31-33.
- Lee HR, Shim JH, Oh DW. Effects of High-frequency Diathermy Integrated into Suboccipital Release on Tenderness and Neck Mobility and Disability in People with Chronic Tension-type Headache. *Physical Therapy Korea*. 2017;24(2):37-47.
- Lee SY. Proprioception. *The Asian Journal of Kinesiology*. 2014;2014(0):55-57.
- Lexell J, Flansbjerg UB. Muscle strength training, gait performance and physiotherapy after stroke. *Minerva Medica*. 2008;99(4):353-68.
- Lim SK. The Relationship between Pain Level and Hamstring Flexibility and the Validity of Hamstring Flexibility

- and Hip Mobility Test using ASLR Test in Middle-aged Women with Chronic Low Back Pain. *Journal of Coaching Development*. 2021;23(3): 240-246.
- Lim WT. Influence of successive active knee extension tests on hamstring flexibility. *Korean Physical Therapy Science*. 2021;28(1):76-84.
- Medeiros DM, Cini A, Sbruzzi G, et al. Influence of static stretching on hamstring flexibility in healthy young adults: Systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy Theory and Practice*. 2016;32(6): 438-445.
- Meerits TA, Bacchieri ST, Pääsuke MT. Acute effect of static and dynamic stretching on tone and elasticity of hamstring muscle and on vertical jump performance in track-and-field athletes. *Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis*. 2014;20:48-59.
- Nagamori A, Valero-Cuevas FJ, Finley JM. Unilateral Eccentric Contraction of the Plantarflexors Leads to Bilateral Alterations in Leg Dexterity. *Frontiers in Physiology*. 2016;30(7):582.
- Nam KW. The Analysis on Relation between Hamstring Length and Static Uprighting Balance. *Journal of Korean Physical Therapy Science*. 2011;18(1):51-60.
- Nelson RT, Bandy WD. Eccentric Training and Static Stretching Improve Hamstring Flexibility of High School Males. *Journal of Athletic Training*. 2004;39(3):254-258.
- Neumann DA, *Kinesiology of the Musculoskeletal System*, 3rd ed, Mosby Inc, 2016.
- Park JA. Relationship between Static Balance Ability and Cognitive Function in College Students. *The Journal of the Korean Association on Developmental Disabilities*. 2014;18(1):1-17.
- Park SR. The effects of selective self stretching on muscle elasticity, flexibility and dynamic balance of hamstring. Kangwon National University. Dissertation of Master's Degree. 2018.
- Perret C, Serge Poiraudou, Jacques Fermanian et al. Validity, reliability, and responsiveness of the fingertip-to-floor test. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2001;82(11):1566-1570.
- Ramesh M, Sivasankar P. Comparison of Three Different Physiotherapeutic Interventions in Improving Hamstring Flexibility in Individuals with Hamstring Tightness. *International Journal of Health Sciences & Research*. 2014;4(6):129-134.
- Ribeiro-Alvares JB, Marques VB, Vaz MA, et al. Four Weeks of Nordic Hamstring Exercise Reduce Muscle Injury Risk Factors in Young Adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2018;32(5):1254-1262.
- Sadler SG, Spink MJ, Ho A, et al. Restriction in lateral bending range of motion, lumbar lordosis, and hamstring flexibility predicts the development of low back pain: a systematic review of prospective cohort studies. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2017;18(1):179.
- Seo HK, Kim EH, Choi YJ. Comparison of the Immediate Effects of the Static Stretching and Suboccipital Muscle Release on Pain and Hamstring Flexibility in Low Back Pain Patients with Short Hamstring Syndrome. *Journal of Korean Society for Rhythmic Exercises*. 2017;10(2):25-34.
- Shamsi M, Mirzaei M, Shahsavari S, et al. Modeling the effect of static stretching and strengthening exercise in lengthened position on balance in low back pain subject with shortened hamstring: a randomized controlled clinical trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2020;21(1):809.
- Shin SY, Health behavior and sitting time effects of single-person households on obesity: A comparative analysis of educational levels. *Journal of the Korea Contents Association*. 2022;22(7):395-404.
- Song SH. The effects of eccentric muscle contraction program on walking and balance ability of children with brain lesion disorder. *The Asian Journal of Kinesiology*.

- 2019;21(1):46-54.
- Stamatakis E, Gale J, Bauman A, et al. Sitting Time, Physical Activity, and Risk of Mortality in Adults. *Journal of the American College of Cardiology*. 2019; 73(16):2062-2072.
- Takeuchi K, Nakamura M. Influence of High Intensity 20-Second Static Stretching on the Flexibility and Strength of Hamstrings. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2020;19(2):429-435.
- Torres R, Duarte JA, Cabri JM. An Acute Bout of Quadriceps Muscle Stretching has no Influence on Knee Joint Proprioception. *Journal of Human Kinetics*. 2012; 34:33-39.
- Uysal Ö, Delioğlu K, Firat T. The effects of hamstring training methods on muscle viscoelastic properties in healthy young individuals. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2021;31(2):371-379.
- Weppeler CH, Magnusson SP. Increasing muscle extensibility: a matter of increasing length or modifying sensation? *Physical Therapy*. 2010;90(3):438-449.
- Wesam SA, Mohamed A. The effect of combining plyometrics exercises and balance exercises in improving dynamic balance among female college athletes: A randomized controlled trial. *The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation*. 2021;10(1002):1-11.
- Wisdom KM, Delp SL, Kuhl E. Use it or lose it: multiscale skeletal muscle adaptation to mechanical stimuli. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*. 2015;14(2):195-215.
- Yuksel HS, Şahin FN, Maksimovic N, et al. School-Based Intervention Programs for Preventing Obesity and Promoting Physical Activity and Fitness: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(1):347.