

The Immediate Effect of Static and Dynamic Stretching on Flexibility of Hamstring, Dynamic Balance Ability, Function of Lower Extremity: Randomized Controlled Trial

Ho Jin Shin¹, Eun-Ji Kim², Shin Young Kim²

¹Department of Health Science, Gachon University Graduate School, Incheon, Republic of Korea, ²Department of Physical Therapy, Ansan University, Ansan, Republic of Korea

Purpose: This study examined the acute effects of static and dynamic stretching on the flexibility of the hamstring, dynamic balance ability, and function of the lower extremities in healthy adults.

Methods: Thirty participants were assigned randomly to three groups: static stretching group (SSG), basic dynamic stretching group (BDSG), and 5 sec dynamic stretching group (5DSG). SSG performed three sets of 30 seconds of static stretching. BDSG performed a single-leg deadlift (SLD) at the same time as SSG, and 5DSG performed SLD held for five seconds. Hamstring flexibility, dynamic balance ability, and lower extremity function were evaluated before and after intervention.

Results: The hamstring flexibility significantly improved in all groups ($p < 0.05$). The dynamic balance ability improved significantly after intervention in all groups except BDSG in the anterior direction ($p < 0.05$). There were significant differences in the posterolateral and posteromedial direction in all groups. The function of the lower extremity showed significant improvement over time only in BDSG ($p < 0.05$).

Conclusion: This study suggested that basic dynamic stretching and 5 sec dynamic stretching positively affect the hamstring flexibility, dynamic balance ability, and lower extremity function. Therefore, it is recommended to include dynamic stretching in a program for improving the hamstring flexibility, dynamic balance ability, and the lower extremity function. In addition, it is recommended to apply it at different times depending on the purpose.

Keywords: Dynamic stretching, Eccentric training, Flexibility, Single leg deadlift

서론

스트레칭은 근육과 관절의 유연성 증가를 위해 가장 일반적으로 사용하는 방법이다.¹ 이러한 유연성의 증가는 외력에 의한 근-힘줄 단위의 신장, 점탄성 특성에 의한 응력 완화 반응, 스트레칭 내성과 통증 역치의 증가에 의해 나타날 수 있다.² 스트레칭은 유연성의 증가뿐 아니라 운동 전 신체 손상의 위험성을 줄여주고,³ 통증을 감소시키며,⁴ 운동 수행 능력을 증가시켜 주는 효과를 보이는 것으로 알려져 있어 운동이나 경기 전 준비 운동으로 권장되고 있다.⁵ 또한 선행연구에서 스트레칭의 유연성 증가와 운동 수행 능력 향상은 스트레칭의 방법에 따라 그 차이가 있다고 보고하고 있다.^{6,7} 스트레칭 방법은 다양하지만 많이 사용하고 있는 대표적인 방법으로는 정적 스트레칭(static stretching), 동적 스트레칭(dynamic stretching), 탄성 스트레칭(ballistic

stretching), PNF 스트레칭(proprioceptive neuromuscular facilitation stretching)이 있다.⁸ 정적 스트레칭은 근육이 최대한 신장된 자세를 긴 시간 유지하여 근육의 유연성을 증가시키는 방법이고, 동적 스트레칭은 동적인 관절의 움직임과 탄성을 이용하여 근육의 유연성을 증가시키는 방법이다.⁹ 탄성 스트레칭은 팔과 다리의 반동적인 움직임을 사용한 리드미컬한 방법이고, PNF 스트레칭은 근육을 스트레칭하기 전 짧은 등척성 수축을 적용하는 방법이다.⁸

근육의 유연성 감소는 특히 다관절 근육인 넙다리뒤근육에서 많이 발생한다. 넙다리뒤근육의 단축은 다리 근육 손상의 위험성을 높이고 허리통증을 일으킬 수 있는 원인이 되기 때문에 넙다리뒤근육의 유연성 증가를 위한 스트레칭 연구가 많이 진행되고 있다.^{10,11} Nelson 등¹³은 동적 스트레칭이 정적 스트레칭보다 넙다리뒤근육의 유연성 향상에 효과를 보인다고 보고하였다. 반면에 Hwang¹⁴은 정적 스트

Received September 15, 2023 Revised October 20, 2023

Accepted October 23, 2023

Corresponding author Shin Young Kim

E-mail sykim@ansan.ac.kr

Copyright ©2023 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.

레칭과 밴드를 사용한 동적 스트레칭이 넙다리뒤근육의 유연성 향상에 차이 없이 효과를 보인다고 하였고, Borges 등¹⁵도 정적 스트레칭과 PNF 스트레칭 모두에서 차이 없이 넙다리뒤근육의 유연성 향상을 보인다는 결과를 보고하였다. 위와 같은 연구 결과들은 스트레칭 방법의 차이가 유연성 및 운동수행능력 향상에 미치는 영향을 명확하게 밝히지 않고 있어 연구의 필요성이 더욱 요구된다.

스트레칭 방법에 따른 선행 연구에서는 운동 수행 능력을 측정하기 위한 방법으로 Y-균형 검사, 수직 점프 검사 등을 사용하였다. Y-균형 검사는 정적 및 동적균형능력을 측정하는 방법으로 사용되어 왔으며, 균형능력은 운동 수행 능력과 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되어 왔다.¹⁶ 수직 점프 검사는 다리의 운동 수행 능력을 평가할 수 있는 신뢰도 있는 운동 과제이며, 수직 점프 시 높이는 운동 수행 능력을 평가하는 기능적 방법으로 많이 사용된다.¹⁷ 선행 연구들은 운동수행능력 향상에 효율적인 스트레칭 방법으로 동적 스트레칭과 정적 스트레칭을 구분하여 비교하고 있다. Yang 등¹⁸의 연구에서 동적 스트레칭이 정적 스트레칭보다 운동 수행 능력에서 더 많은 향상을 보인다고 보고하였고, Behm 등¹⁹의 연구에서도 동적 스트레칭이 정적 스트레칭보다 운동 수행 능력 향상에 더 도움이 된다고 보고하였다. 그러나 정적 스트레칭 또한 운동 수행 능력을 향상시킨다는 선행연구들과 다르게 Yoon 등²⁰의 연구에서는 오히려 정적 스트레칭이 운동 수행 능력을 감소시켰다고 보고하고 있어 정적 스트레칭과 동적 스트레칭의 차이가 운동 수행 능력에 미치는 영향에 대한 논란이 많다.

선행연구들에서 이루어진 정적 스트레칭과 동적 스트레칭은 여러 다양한 동작들을 프로그램으로 만들어 적용하였기 때문에 연구자마다 실시 방법들이 차이가 많았고 특히 밴드와 같이 저항을 주는 도구를 사용한 경우 관절의 끝범위에서 저항을 계속적으로 밀어내기 때문에 머무는 시간이 존재하는데 이런 동적 스트레칭의 경우 동작의 끝 범위에서 유지하는 시간이 정해져 있지 않아 그 차이에 대한 영향력이 명확하지 않았다. 따라서 본 연구는 정상 성인을 대상으로 정적 스트레칭과 두 가지 타입의 동적 스트레칭(기본 동적 스트레칭군, 5초 동적 스트레칭군)을 적용하여 유연성, 동적균형능력 및 수직 점프 검사에 미치는 급성 효과를 규명하고 일반인들에게 필요한 스트레칭에 대한 기초 자료를 제시하는데 목적이 있다.

연구 방법

1. 연구대상

본 연구의 대상자는 안산에 위치한 A 대학교의 게시판에 공고문을 부착하여 모집하였고, 20-30대의 건강한 성인 남녀가 지원하였으며, 대상자 제외 기준은 다음과 같다.^{21,22} 1) 연구자의 지시사항을 이해할 수 없는 자, 2) 중재 수행에 어려움이 있는 자, 3) 근골격계 질환으로 다리

수술을 한 자, 4) 균형능력에 영향을 미칠 수 있는 감각 이상이 있는 자, 5) 넙다리뒤근육의 부상이 있는 자(넙다리뒤근육 좌상, 경련, 건병증). 선정 기준과 제외 기준에 부합한 대상자 총 30명이 본 연구에 참여하였다. 연구에 참여한 모든 대상자는 연구 목적을 제외한 실험 방법과 과정에 관한 충분한 설명을 들었고, 연구 동의서에 자필서명 하였다.

2. 실험방법

1) 연구절차

본 연구는 단일 맹검(single blinded), 무작위 대조군 연구 설계(randomized controlled trial)로 실험을 진행하였고, 연구자는 엑셀의 난수를 이용하여 대상자를 각 군에 배정하였다. 대상자는 정적 스트레칭군, 기본 동적 스트레칭군, 5초 동적 스트레칭군 중 하나의 군에 무작위로 할당되었다. 할당된 후 각 군의 대상자들은 다른 군의 대상자들과 소통할 수 없도록 통제되었다. 실험 전 동적 스트레칭 교육을 위한 영상이 제공되었다. 본 실험에서 중재 전 연구자는 대상자들의 신체 체중을 시행하였고, 넙다리뒤근육의 유연성, 동적 균형 검사 및 수직 점프 능력을 평가하였다. 중재방법으로 각 군에 무작위로 정적 스트레칭과 기본 동적 스트레칭, 5초 동적 스트레칭이 적용되었고, 중재 후 5분 동안 휴식을 갖게 하였다. 사후 평가는 사전 평가와 동일하게 수행되었다.

2) 중재

본 연구에 참여한 대상자는 할당된 군에 맞는 정적 스트레칭 및 동적 스트레칭을 수행하였다. 본 실험에 수행된 중재는 선행 연구의 방법을 수정 보완하여 적용하였다. 각 군에 적용된 중재는 30초씩 3세트 수행되었고, 중재 적용 전 동작수행의 오류를 최소화하기 위해 해당 중재에 대한 사전 교육을 진행하였다. 중재는 사전 측정된 유연성 측정 결과 넙다리뒤근육의 길이가 더 짧은 다리에 적용하였다.

(1) 정적 스트레칭

정적 스트레칭은 선행 연구의 방법을 수정 보완하여 적용하였다.²³ 먼저 대상자는 선 자세에서 스트레칭 적용 다리의 발을 의자 위에 발뒤꿈치만 닿도록 위치시켰다. 그 다음 의자 위에 올린 다리의 엉덩관절을 굽힘하여 넙다리뒤근육이 신장되도록 하였고, 그 상태에서 30초 동안 자세를 유지하였다. 연구자는 대상자가 정적 스트레칭을 수행하는 동안 척추의 중립과 무릎 관절의 완전한 폼이 유지될 수 있도록 지시하였다. 또한 스트레칭은 심한 통증이 발생하지 않도록 천천히 부드럽게 신장되는 느낌이 들 정도로 수행하였다. 중재는 총 3세트, 세트당 30초씩 수행하였다. 세트 간 휴식 시간은 1분으로 설정하였다.

(2) 동적 스트레칭

동적 스트레칭은 single leg deadlift 동작으로 수행하였다(Figure 1).²⁴



Figure 1. Single leg deadlift

기본 동적 스트레칭은 신발에 의한 잠재적인 영향을 배제하기 위해 맨발로 수행하였고, 동적 스트레칭의 시작 자세로 대상자의 양 손을 골반 양 가쪽에 위치시켰다. 연구자는 넙다리뒤근육의 길이가 짧은 측의 다리로 체중을 지지한 상태에서 반대측 다리를 뒤쪽 방향으로 뻗도록 지시하였다. 뒤로 뻗은 후 시작 자세로 돌아오는 것을 1회로 정하였고 총 7회씩 3세트를 수행하였다. 5초 동적 스트레칭은 기본 동적 스트레칭과 동일한 동작을 수행하였고, 동작의 끝자세에서 5초간 유지한 뒤 시작 자세로 돌아오도록 하였다. 총 3세트, 세트당 4회씩 수행하였고, 세트 간 휴식시간은 1분으로 설정하였다. 동작이 올바르게 수행되지 못한 경우 재수행하였으며, 동작 수행의 오류는 다음과 같다. 1) 무릎이 발끝을 넘어갈 정도로 앞으로 이동되는 경우, 2) 손이 골반에서 떨어지는 경우, 3) 몸통과 뒤로 뻗은 다리의 정렬이 유지되지 못한 경우, 4) 몸통이 기울어질 정도로 흔들림이 심하게 발생한 경우, 5) 수행 도중 뻗은 다리의 발이 지면에 닿은 경우.

3) 측정도구

단일 중재 전 후에 중재의 효과를 확인하기 위해 유연성, 동적균형, 수직 점프 능력을 각각 능동무릎펴기검사, Y-균형 검사, 수직 점프 검사를 통해 측정하였다. 모든 대상자는 중재가 종료된 후 5분간의 휴식을 제공받은 뒤 사후 평가를 수행하였다. 정확한 휴식시간을 위해 검사자는 타이머를 이용하였다.

(1) 유연성

넙다리뒤근육 유연성 측정을 위해 ICC = 0.761의 신뢰도를 갖는 능동 무릎펴기검사(active knee extension test)를 수행하였다.²⁵ 검사 전 연구자

는 측정하는 다리의 무릎관절 측의 가쪽면과 넙다리뼈의 큰돌기, 종아리뼈의 가쪽 복사에 표시를 하였다. 대상자는 바로누운자세에서 엉덩관절과 무릎관절을 90도 굽혔다. 그 상태에서 연구자는 대상자가 능동적으로 무릎관절을 펴하도록 지시하였고, 검사 동안 대상자가 엉덩관절에서 움직임이 발생하지 않도록 도수 접촉을 통해 통제하였다. 무릎관절 펴 각도를 측정하기 위해 각도계(goniometer)를 사용하였다. 각도계는 검사 전 표시한 지점(축(axis): 무릎관절 측의 가쪽면, 고정팔(SA): 관절 축과 넙다리뼈 큰돌기를 이은 선, 움직임 팔(MA): 관절 축과 종아리뼈의 가쪽 복사)에 위치시킨 후 각도를 측정하였다. 측정은 대상자가 최대 무릎관절을 펴한 상태에서 진행되었고, 2초 이내에 측정을 완료하였다. 총 3회 반복 측정하여 얻어진 평균값을 데이터로 사용하였다.

(2) 동적균형

다리 부상을 예측할 수 있는 다리의 균형과 신경근 조절능력을 평가하기 위해 세 방향으로 Y-균형 검사를 수행하였다.²⁶ 측정을 위해 마스킹 테이프(masking tape)를 이용하여 지면에 앞쪽, 뒤가쪽 및 뒤안쪽 방향으로 표시하였다. 측정 전 학습효과를 최소화하기 위해 대상자는 Y-균형 검사에 대한 충분한 교육과 함께 3회 연습을 진행하였다.²⁷ 연습 후 대상자는 세 방향의 중심이 되는 지점에 검사측 다리를 지면에 고정하여 한발로 선 자세를 취하였고, 반대 다리를 각 방향으로 뻗어 측정을 수행하였다. 측정 동안 양 손은 양쪽 엉덩뼈능선(iliac crest)에 위치시켰다. 측정의 신뢰도를 높이기 위해 지지 다리의 엄지발가락 위치를 마스킹 테이프를 이용하여 표시하였다. 총 3회 반복 측정하여 평균값을 데이터로 사용하였고, 동작의 오류 발생 시 재측정하였다. 동작의 오류는 다음과 같다. 1) 손이 엉덩뼈능선에서 떨어지는 경우, 2) 뻗은 다리에 체중이 실리는 경우, 3) 체중지지 다리의 뒤꿈치가 지면에서 떨어지는 경우, 4) 뻗은 다리가 시작자세로 돌아오지 못하고 중심을 잃는 경우.

(3) 수직 점프 능력

수직 점프 능력을 측정하기 위해 제자리 높이 뛰기 검사를 수행하였다. 측정 전 대상자는 벽 옆에서 서서 팔을 최대한 드는 동작을 수행하였다. 이때 연구자는 대상자의 가운데 손가락 끝지점을 표시하여 점프 높이를 기록하기 위한 시작점을 세팅하였다. 세팅이 완료된 후 대상자는 가운데 손가락에 인주를 바르고 한 발로 선 상태에서 반동을 주어 수직 점프를 수행하였고, 이때 팔을 위로 뻗어 가운데 손가락으로 벽을 터치하도록 하였다. 총 3회 반복 측정하였고, 데이터는 측정 전 세팅한 시작점과 점프하여 표시된 지점 간의 거리를 측정하여 사용하였다.

4) 자료분석

데이터 분석은 Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) 25.0 소프트웨어(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하여 수행되었고, 모든 연속형 변수의 측정값은 평균과 표준편차로, 명목형 변수는 비율로 산출하였다. 대상자의 일반적 특성 및 종속 변수는 샤피로-윌크 검정(Shapiro-Wilk test)을 통해 정규분포도를 확인하였다. 중재 전후의 차이는 대응표본 t 검정을 수행하였고, 군 간 중재 전후 변화량의 차이를 확인하기 위해 일원분산분석을 수행하였다. 사후 분석으로 본페로니 방법(Bonferroni method)을 적용하였다. p value < 0.05는 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다. 효과크기(effect size, ES)는 Cohen's D로 산출되었다. 효과 크기의 기준은 0.20 이하는 작은 효과 크기, 0.50는 중간 효과 크기, 0.80 이상은 큰 효과 크기로 정의되었다.²⁸

결 과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

본 연구에 참여한 대상자는 총 30명으로, 모든 참가자는 중도 탈락 없이 실험을 마쳤다. 대상자의 일반적 특성을 나타내는 모든 변수에서 군 간 유의한 차이는 없었다(p > 0.05)(Table 1).

2. 유연성, 동적균형, 높이뛰기의 변화

유연성의 중재 전후 비교에서 세개의 군 모두 유의한 차이를 보였고(p < 0.05), 변화량에 대한 군 간 비교에서는 유의한 차이를 보이지 않았다(p > 0.05)(Table 2). 또한 5초 동적 스트레칭군에서 가장 높은 효과 크기를 나타냈다(SS group: effect size = 0.39, SLD group: effect size = 0.31,

Table 1. Characteristics of participants

Variables	SS group (n=10)	SLD group (n=10)	SLD 5 group (n=10)	p
Age (years)	23.8±6.1	22.5±3.3	24.9±4.6	0.542
Sex (male/female)	5/5	5/5	8/2	0.287
Height (cm)	170.4±8.7	171.1±5.1	173.6±8.0	0.602
Weight (kg)	66.8±16.1	68.3±8.8	72.4±14.7	0.638
BMI (kg/m ²)	22.7±3.4	23.3±1.9	23.8±3.6	0.722

SS: static stretching, SLD: single leg deadlift, BMI: body mass index.

Table 2. Comparison of flexibility

Flexibility	SS group	SLD group	SLD 5 group	Between p-value
Pre	143.24±14.04	148.70±15.12	146.97±14.40	
Post	148.83±14.71	153.17±13.34	155.40±14.00	
Change score	5.60±4.07	4.47±3.98	8.43±4.83	0.125
Within p-value	0.002*	0.006*	<0.001*	
Effect size	0.39	0.31	0.59	

Values expressed as mean±standard deviation. SS: static stretching, SLD: single leg deadlift. *p < 0.05.

SLD 5 group: effect size = 0.59).

Y-균형 검사의 앞쪽 방향에서 기본 동적 스트레칭군을 제외한 모든 군에서 시간에 따라 유의한 차이를 보였다(p < 0.05)(Table 3). 효과 크기는 정적 스트레칭군에서 가장 높았다(SS group: effect size = 0.53, SLD group: effect size = 0.05, SLD 5 group: effect size = 0.46). 뒤가쪽과 뒤안쪽 방향에서는 모든 군에서 유의한 차이를 보였다(p < 0.05). 효과 크기는 뒤가쪽 방향에서 5초 동적 스트레칭군에서 가장 높았고(SS group: effect size = 0.42, SLD group: effect size = 0.45, SLD 5 group: effect size = 0.50), 뒤안쪽 방향에서는 기본 동적 스트레칭군에서 가장 높았다(SS group: effect size = 0.43, SLD group: effect size = 0.53, SLD 5 group: effect size = 0.47). 변화량에 대한 군 간 비교는 모든 방향에서 유의한 차이를 보이지 않았다(p > 0.05)(Table 3).

수직 점프의 군 내의 전후 비교에서 기본 동적 스트레칭군에서만 시간에 따른 유의한 차이가 나타났다(p < 0.05). 변화량에 대한 군 간

Table 3. Y balance test

Variables	SS group	SLD group	SLD 5 group	Between p-value
Anterior (cm)				
Pre	65.25±4.58	69.19±7.24	68.35±5.84	
Post	68.13±6.00	69.54±6.30	70.95±5.49	
Change score	2.88±2.63	0.36±2.39	2.60±2.44	0.062
Within p-value	0.007*	0.651	0.008*	
Effect size	0.53	0.05	0.46	
Posterolateral (cm)				
Pre	76.04±13.03	78.43±10.62	82.20±11.29	
Post	82.00±15.10	84.41±15.06	89.29±15.79	
Change score	5.96±5.19	5.98±6.80	7.10±8.66	0.918
Within p-value	0.005*	0.021*	0.029*	
Effect size	0.42	0.45	0.50	
Posteromedial (cm)				
Pre	66.03±13.04	69.98±9.32	75.65±14.06	
Post	72.58±16.73	75.92±12.54	83.15±17.15	
Change score	6.54±7.57	5.94±6.66	7.51±6.53	0.879
Within p-value	0.023*	0.020*	0.005*	
Effect size	0.43	0.53	0.47	

Values expressed as mean±standard deviation. SS: static stretching, SLD: single leg deadlift. *p < 0.05.

Table 4. Comparison of vertical jump

Flexibility	SS group	SLD group	SLD 5 group	Between p-value
Pre	21.38±6.16	22.87±6.50	26.99±5.22	
Post	22.52±5.79	24.44±6.43	27.74±6.44	
Change score	1.13±3.30	1.58±1.09	0.76±1.76	0.720
Within p-value	0.305	0.001*	0.208	
Effect size	0.19	0.24	0.13	

Values expressed as mean±standard deviation. SS: static stretching, SLD: single leg deadlift. *p < 0.05.

비교에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다($p > 0.05$)(Table 4). 효과 크기는 기본 동적 스트레칭군에서 가장 높았다(SS group: effect size = 0.19, SLD group: effect size = 0.24, SLD 5 group: effect size = 0.13).

고찰

본 연구는 정적 및 동적 스트레칭이 넵다리뒤근육 유연성, 동적균형 능력 및 수직 점프 능력에 미치는 효과를 보고자 하였다. 실험 결과 우리는 동적 스트레칭 중재가 넵다리뒤근육의 유연성, 동적균형 능력 및 수직 점프 능력에 긍정적인 효과를 미치는 것을 규명하였다.

본 연구 결과 모든 군에서 유연성에는 중재 전과 비교하여 중재 후 유의한 향상이 있었다. 유연성은 근육의 신장 능력을 의미하며, 이러한 근육의 신장능력은 정적 스트레칭에 의해 향상될 수 있다. Nelson 등¹³의 연구에서도 정적 스트레칭은 넵다리뒤근육의 유연성 증진에 긍정적인 영향을 미쳤다고 보고하였다. 이러한 정적 스트레칭의 효과는 신장에 대한 조직의 적응이며, 근육원섬유마디(sarcomere) 수의 증가뿐만 아니라 근육과 결합조직의 경직을 감소시키고 점탄성을 증가시켜 유연성을 증진시키는 결과로 설명된다.^{29,30} 이러한 구조적인 변화뿐만 아니라 조직에 신장을 적용하게 되면 조직은 불편함을 견디는 감각 능력이 증진되는 것으로 여겨진다.^{31,32} 따라서 본 연구에서 적용한 정적 스트레칭도 이러한 근거로 넵다리뒤근육의 유연성을 증진시킨 것으로 사료된다. 본 연구에서는 동적 스트레칭 군에서도 유연성 증진을 보였다. 기존 연구들에서도 원심성 훈련의 적용은 넵다리뒤근육의 유연성을 증진시킨다고 보고하였다.^{13,33} 그러나 선행 연구들이 본 연구보다 더 큰 유연성 향상을 보여주고 있다. Nelson 등¹³의 연구와 Delvaux 등³³의 연구는 넵다리뒤근육의 유연성이 각 12.79°, 11.4°의 개선을 보였고, 본 연구에서는 기본 동적 스트레칭군이 4.47°, 5초 동적 스트레칭군이 8.43°의 개선을 보였다. 이는 중재 기간과 평가 방법의 차이에 의한 것으로 사료된다. 기존 두 연구는 원심성 훈련을 6주 동안 적용하였고, 평가 또한 수동적인 방법으로 수행되었다. 반면 본 연구는 단일 중재를 적용하였고, 능동적인 평가를 실시하였다. 이로 인해 본 연구에서 적용한 원심성 훈련은 유연성에 긍정적인 영향을 미쳤지만 유연성의 개선 정도에 있어서는 차이가 있는 것으로 사료된다. 한편 흥미롭게도 본 연구에서 군 간 차이는 보이지 않았지만 5초 동적 스트레칭군이 정적 스트레칭과 기본 동적 스트레칭군보다 더 큰 효과 크기를 보였다(SS group: effect size = 0.39, SLD group: effect size = 0.31, SLD 5 group: effect size = 0.59). 5초 동적 스트레칭군은 원심성 훈련을 적용하였고, 끝 자세에서 5초 동안 유지한 뒤 돌아오는 중재를 수행하였다. 끝 자세에서의 5초 유지는 정적 스트레칭의 요소를 포함한다. 따라서 본 연구에서 적용된 5초 동적 스트레칭 중재는 원심성 훈련과 정적 스트레칭의 효과가 혼합되어 더 큰 효과 크기를

를 보인 것으로 사료된다.

유연성뿐만 아니라 동적균형평가에서도 모든 군에서 유의한 개선을 보였으나 군 간의 차이는 나타나지 않았다. 동적균형능력은 감각 운동 통합능력이 중요하며, 좋은 균형능력을 위해서는 고유수용성 감각, 시각, 전정계 등의 감각 정보가 필수적이다.³⁴ 정적 스트레칭은 관절 주변 조직을 신장시켜 관절 위치감각의 입력 증가로 신체의 인식을 개선시키고 동적균형능력을 향상시킬 수 있다.³⁵ 선행 연구에서도 정적 스트레칭을 적용하여 동적균형능력을 개선시켰다는 보고는 본 연구 결과를 뒷받침해준다.^{36,37} 그러나 Behm 등³⁸의 연구에서는 정적 스트레칭의 적용이 동적균형능력을 감소시켰다고 보고하여 본 연구 결과와 상반된 결과를 보였다. Behm 등³⁸의 연구에서는 정적 스트레칭을 45초씩 3세트를 넵다리내갈래근, 넵다리뒤근육 및 발바닥 굽힘근에 적용하였고, 본 연구는 30초씩 3세트를 넵다리뒤근육 한 곳에만 적용하였다. 본 연구는 스트레칭 중재 적용시간과 스트레칭 적용부위에서 기존 연구와 차이를 보였고, 이로 인해 Behm 등³⁸의 연구에서는 정적 스트레칭의 영향이 더 크게 작용하여 본 연구와 상반된 결과가 나타난 것으로 사료된다. 동적 스트레칭 또한 본 연구에서 동적균형에 긍정적인 영향을 미쳤다. 이는 관절 움직임 동안 신경근 활동의 감소가 없어 신경근 기능의 증진과 협응 및 균형을 향상시킬 수 있다는 기존 연구와 같은 결과를 보인다.³⁹ 또한 Jung 등⁴⁰의 연구에서 hip hinge 동작을 포함한 동적 스트레칭 후 동적균형능력이 증진되었다는 결과와도 일치한다. 본 연구의 동적 스트레칭 또한 넵다리뒤근육의 유연성을 증진시킴과 동시에 엉덩관절의 움직임이 같이 일어나기 때문에 골반을 후방 경사로 당기고 있던 긴장이 해소됨에 따라 뒤가쪽 방향으로의 움직임이 증가되었을 것으로 사료된다.

연구 결과, 기본 동적 스트레칭군만 수직 점프 능력에 유일하게 긍정적인 영향을 미쳤다. 수직 점프 능력은 수직 점프 검사에 의해 평가되었고, 대상자는 반동을 주는 점프(counter movement jump)를 수행하였다. 본 연구에서 수행된 동적 스트레칭은 원심성훈련의 대표적인 한 방법이다. 원심성훈련은 post-activation potentiation 현상을 이끌어낼 수 있는 방법 중 하나이다. Post-activation potentiation은 사전 부하 자극(preload stimulus)을 통해 근 수행력이 단기간에 향상되는 현상을 의미한다. 이러한 현상에 의해서 본 연구에서 적용된 기본 동적 스트레칭 중재가 수직 점프 능력을 향상시킨 것으로 사료된다. 또한 Clark 등⁴¹의 연구에서도 원심성 훈련을 통한 수직 점프의 개선을 보고하였다. 이는 본 연구 결과를 뒷받침한다. Carvalho 등⁴²의 연구에서 정적 스트레칭은 수직 점프능력에 유의한 변화를 발생시키지 않는다고 보고하였고, 이는 본 연구 결과와 일치한다. 그러나 Pinto 등⁴³의 선행연구에서는 정적 스트레칭의 적용은 점프능력을 감소시킨다고 언급하였다. 이는 스트레칭의 적용 시간에 의한 것으로 사료된다. 장시간의 정적 스트레칭은 근힘줄 경직(musculotendinous stiffness)에 변

화를 주며, 근활성과 반사적 민감도에 영향을 준다. 하지만 본 연구와 Carvalho 등⁴¹의 연구는 각각 1회에 30초와 15초씩 적용하였고, Pinto 등⁴³의 연구에서 적용된 정적 스트레칭은 60초를 적용하여 상대적으로 더 긴 시간의 스트레칭을 수행하였다. 이로 인해 본 연구 결과와 차이가 발생한 것으로 사료된다. 5초 동적 스트레칭은 원심성 훈련 뿐만 아니라 끝범위에서 버티는 동작으로 대상자에게 도전적인 과제로 근피로를 야기시킬 수 있다. 이로 인해 원심성 훈련을 통한 효과가 5초 동적 스트레칭군에는 미비하여 수직점프 능력에 변화가 나타나지 않은 것으로 사료된다.

하지만 본 연구에서 몇 가지 제한점이 존재한다. 첫째, 단일 중재를 적용하여 장기 중재의 효과를 확인할 수 없었다. 둘째, 동적 스트레칭의 더 다양한 유지시간의 효과를 확인할 수 없었다. 따라서 추후 연구에서는 장기 중재의 적용 및 다양한 상태에서의 중재 적용 등을 고려한 연구도 필요할 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 정적 및 동적 스트레칭이 넵다리뒤근육의 유연성 증진과 동적균형능력에 긍정적인 영향을 미치는 것을 규명하였다. 또한 동적 스트레칭 중 5초 동적 스트레칭은 유연성에서 더 큰 효과 크기를 보였고, 기본 동적 스트레칭은 수직 점프 능력 향상에도 긍정적인 영향을 미쳤다. 따라서 연구결과를 바탕으로 넵다리뒤근육의 유연성 증진과 동적균형 및 수직 점프 능력 향상을 위한 프로그램에 동적 스트레칭인 single leg deadlift 운동을 포함시킬 뿐 아니라 목적에 따라 시간에 차이를 두어 적용할 것을 추천한다.

REFERENCES

1. Jonhagen S, Nemeth G, Eriksson E. Hamstring injuries in sprinters: the role of concentric and eccentric hamstring muscle strength and flexibility. *Am J Sports Med.* 1994;22(2):262-6.
2. Hartig DE, Henderson JM. Increasing hamstring flexibility decreases lower extremity overuse injuries in military basic trainees. *Am J Sports Med.* 1999;27:173-6.
3. Kang TW, Kim BR. The effects of stretching and strengthening exercise on the pain, pelvic tilt, functional disability index, and balance ability of patients with chronic lower back pain. *J Kor Phys Ther.* 2019;31(1):7-12.
4. Worrell TW, Smith TL, Winegardner J. Effect of hamstring stretching on hamstring muscle performance. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1994;20:154-9.
5. Ji YR, Hong YS, Lee D et al. The immediate effects of dynamic stretching and static stretching using a wedge board on the balance ability and jump function of healthy adult. *J Kor Phys Ther.* 2021;33(6):286-91.
6. Song JY, Kim JH. Effects of ankle invertor and plantar flexor stretching on balance and walking ability of stroke patients. *J Kor Phys Ther.* 2022;

- 34(4):181-6.
7. Anderson B, Burke ER. Scientific, medical, and practical aspects of stretching. *Clin Sports Med.* 1991;10:63-86.
8. Cramer JT, Housh TJ, Johnson GO et al. Acute effects of static stretching on peak torque in women. *J Strength Cond Res.* 2004;18(2):236-41.
9. Witvrouw E, Lysens R, Bellemans J et al. Intrinsic risk factors for the development of anterior knee pain in an athletic population. A two-year prospective study. *Am J Sports Med.* 2000;28(4):480-9.
10. Choi JE, Lee YH, Lee DY et al. Immediate effects of foam rolling and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on hamstring flexibility. *J Kor Phys Ther.* 2020;34(3):116-20.
11. Kim JH, Kim TH. Immediate effects of stretching on hamstring stiffness. *J Kor Phys Ther.* 2010;22(1):1-7.
12. Nelson RT, Bandy WD. Eccentric training and static stretching improve hamstring flexibility of high school males. *J Athl Train.* 2004;39(3):254-8.
13. Hwang HS. The effect of stretching type on hamstring flexibility. *J Int Acad Phys Ther Res.* 2018;9(2):1461-7.
14. Borges MO, Medeiros DM, Minotto BB et al. Comparison between static stretching and proprioceptive neuromuscular facilitation on hamstring flexibility: systematic review and meta-analysis. *Eur J Physiother.* 2018;20(1):12-9.
15. Linek P, Sikora D, Wolny T et al. Reliability and number of trials of Y balance test in adolescent athletes. *Musculoskelet Sci Pract.* 2017;31:72-5.
16. Houel N, Fauray A, Seyfried D. Accuracy and reliability of the Myotest Pro system to evaluate a squat jump. *Procedia Engineering.* 2011;13:434-8.
17. Yang DJ, Jeong YS. The acute effects of dynamic and static stretching on jump height and muscle activity. *Journal of Digital Convergence.* 2013; 11(8):265-72.
18. Behm DG, Chaouachi A. A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(11):2633-51.
19. Yoon SH, Lee JW, Lee D et al. Immediately effects of static stretching of the ankle plantar flexor for 5 minutes on balance control and muscle activity in healthy young adults. *J Kor Phys Ther.* 2021;33(6):272-7.
20. Kim MK, Ji HJ, Kong YS et al. Comparative study on muscle activity and torque value of quadriceps of healthy adults. *J Kor Phys Ther.* 2016;28(3): 212-6.
21. Lee JH, Kim JY, Kim HS et al. Comparison of sit and reach test, straight leg raise test and visual analogue scale when applying static stretching and mulligan's two leg rotation in young adults with hamstring shortness. *J Kor Phys Ther.* 2019;31(5):266-72.
22. Song WM, Seo HJ, Shin WS. Effects of electric stimulation with static stretching on hamstrings flexibility. *J Kor Phys Ther.* 2015;27(3):164-8.
23. Craig Liebenson DC. Learning the single leg dead lift. *J Bodyw Mov Ther.* 2015;19:732-5.
24. Norris CM, Matthews M. Inter-tester reliability of a self-monitored active knee extension test. *J Bodyw Mov Ther.* 2005;9(4):256-9.
25. Gribble PA, Hertel J, Plisky P. Using the star excursion balance test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: a literature and systematic review. *J Athl Train.* 2012;47(3):339-57.
26. Robinson RH, Gribble PA. Support for a reduction in the number of trials needed for the star excursion balance test. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008;89(2):364-70.
27. Pierce CA, Block RA, Aguinis H. Cautionary note on reporting eta-squared values from multifactor anova designs. *Edu Psychol Measur.*

- 2004;64(6):916-24.
28. Bandy WD, Sanders B. *Therapeutic exercise: techniques for intervention*. Philadelphia, Lippincott Williams and Wilkins. 2001.
29. Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P et al. Biomechanical responses to repeated stretches in human hamstring muscle in vivo. *Am J Sports Med*. 1996;24(5):622-8.
30. Ben M, Harvey LA. Regular stretch does not increase muscle extensibility: a randomized controlled trial. *Scand J Med Sci Sports*. 2010;20(1):136-44.
31. Konrad A, Tilp M. Increased range of motion after static stretching is not due to changes in muscle and tendon structures. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2014;29(6):636-42.
32. Delvaux F, Schwartz C, Decréquy T et al. Influence of a field hamstring eccentric training on muscle strength and flexibility. *Int J Sports Med*. 2020; 41(4):233-41.
33. Cohen H, Blatchly CA, Gombash LL. A study of the clinical test of sensory interaction and balance. *Phys Ther*. 1993;73(6):346-54.
34. Walsh GS. Effect of static and dynamic muscle stretching as part of warm up procedures on knee joint proprioception and strength. *Hum Mov Sci*. 2017;55:189-95.
35. Costa PB, Graves BS, Whitehurst M et al. The acute effects of different durations of static stretching on dynamic balance performance. *J Strength Cond Res*. 2009;23(1):141-7.
36. Nelson AG, Kokkonen J, Arnall DA et al. Acute stretching increases postural stability in nonbalance trained individuals. *J Strength Cond Res*. 2012;26(11):3095-100.
37. Behm DG, Bambury A, Cahill F et al. Effect of acute static stretching on force, balance, reaction time, and movement time. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(8):1397-402.
38. Faigenbaum AD, Bellucci M, Bernieri A et al. Acute effects of different warm-up protocols on fitness performance in children. *J Strength Cond Res*. 2005;19(2):376-81.
39. Jung M, Kim N, Lee Y. Immediate effect of hip hinge exercise stretching on flexibility of lower limb, pelvic tilting angle, proprioception and dynamic balance in individual with hamstring tightness. *Phys Ther Rehabil Sci*. 2022;11(2):259-68.
40. Clark R, Bryant A, Culgan JP et al. The effects of eccentric hamstring strength training on dynamic jumping performance and isokinetic strength parameters: a pilot study on the implications for the prevention of hamstring injuries. *Phys Ther Sport*. 2005;6(2):67-73.
41. Carvalho FL, Carvalho MC, Simão R et al. Acute effects of a warm-up including active, passive, and dynamic stretching on vertical jump performance. *J Strength Cond Res*. 2012;26(9):2447-52.
42. Pinto MD, Wilhelm EN, Tricoli V et al. Differential effects of 30-vs. 60-second static muscle stretching on vertical jump performance. *J Strength Cond Res*. 2014;28(12):3440-6.