

대한물리치료과학회지

Journal of Korean Physical Therapy Science
2026. 06. Vol. 33, No.2 pp. 101-109

뒤넙다리근 자가-스트레칭이 런지 운동 시 넙다리네갈래근과 뒤넙다리근의 활성도에 미치는 영향

최보람

신라대학교 보건복지대학 물리치료학과

The effect of hamstring self-stretching on quadriceps femoris and hamstring muscle activation during lunge exercise

Bo-ram Choi., Ph.D., P.T.

Dept. of Physical Therapy, College of health and welfare, Silla University

Abstract

Background: Hamstrings are among the most important muscles in our bodies. They affect sports, exercise, and daily living. However, in the 21st century, most people sit for too long due to environmental factors. Consequently, their hamstrings shorten, causing not only abnormal posture but also deterioration in overall daily living and exercise. The purpose of this study is to investigate the activity of the quadriceps femoris and hamstring during the lunge exercise when hamstring self-stretching is performed by people with hamstring shortness and to propose appropriate performance conditions for the lunge exercise.

Design: Pre-post Study.

Methods: Twenty-three subjects with hamstring shortness (hamstring length test $< 155^\circ$) were selected. To measure muscle activation, electromyography patches were attached to the biceps femoris, semitendinosus, vastus lateralis, and vastus medialis of the legs with hamstring shortness. Hamstring self-stretching used the hold-relax method of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching, and muscle activation during the lunge exercise, pre and post self-stretching, was compared.

Results: The hamstring was significantly longer post hamstring self-stretching compared to pre hamstring self-stretching ($p < .05$). All muscles were significantly more active when the lunge exercise was performed post hamstring self-stretching compared to pre hamstring self-stretching ($p < .05$).

Conclusion: To prevent hamstring shortness, stretching should be applied as a requirement, not as an option. Since the efficiency can be reduced during the lunge exercise in the hamstring shortness state, hamstring self-stretching should be performed before the lunge exercise.

Key words: Hamstring, Hold-relax, Lunge exercise, PNF stretching, Self-stretching, Shortness.

교신저자

최보람

46958 부산광역시 사상구 백양대로 700번길 140

T:051-999-5438 E: boram@silla.ac.kr

I. 서론

뒤넙다리근(hamstring muscles)은 스포츠와 같은 과도한 활동뿐만 아니라 앉아서 생활하는 일상 활동에도 깊게 관련된 중요한 근육이다(Kim 등, 2013). 21세기를 들어서면서 다양한 교통수단, 컴퓨터의 발달, 사무직 직장인 증가, 스마트폰의 대중화로 현대인들은 앉아 있는 시간이 길어지면서 무릎관절의 장시간 굽힘으로 인해 뒤넙다리근의 단축과 유연성 감소가 나타나게 된다(Jandre Reis와 Macedo, 2015). 이에 따라 뒤넙다리근과 넙다리네갈래근간의 불균형적인 활성화로 다리에 효율적인 힘을 발생시키기 어렵다. 게다가 뒤넙다리근은 단축 성향이 강한 동적 근육으로 뒤넙다리근 단축에 대한 허리 움직임 제한을 보상하기 위해 척추에서 많은 가동성을 제공한다(Norris, 2008). 따라서 뒤넙다리근이 단축이 골반의 뒤쪽 경사를 유발하고, 허리뼈의 뒤굽음 증가로 인해 허리의 과도한 사용을 초래하여 허리의 기능 장애가 발생하며(BARASH 등, 1970), 엉덩관절과 허리 사이의 힘 전달 과정의 변화로 허리골반리듬(lumbo-pelvic rhythm)에도 부정적인 영향을 미친다(Hamill와 Knutzen, 2006).

이전 연구에서는 뒤넙다리근이 단축으로 인한 무릎관절의 일차적인 손상뿐만 아니라, 허리와 골반 그리고 엉덩관절 및 발목관절까지 영향을 미치는 이차적인 기능장애를 발생시키는 심각성을 인지하고, 뒤넙다리근의 신장에 관한 많은 연구를 진행했다. 앉은 자세에서 허리 굽히기와 같은 자가-스트레칭(self-stretching) 기법과 고유수용성 감각 촉진 기법을 적용했을 시 뒤넙다리근의 유연성이 크게 증가되었고(Kim 등, 2015), 뒤넙다리근이 짧은 대상자에게 단기적인 뒤넙다리근 자가-스트레칭과 편심성 운동을 시행했을 때, 두 처치 모두 뒤넙다리근의 유연성 향상으로 인해 몸통 굽힘이 증가했다(김태은와 최보람, 2019). 이처럼 자가-스트레칭은 언제 어디서든 간단하게 시행할 수 있고, 관절가동범위 증진과 근육과 인대의 손상 예방하며, 여러 근육간의 협응성을 증진하고, 등척성 운동과 조합 시 근력 강화에 도움이 된다(장정훈 등, 2002). 그러므로 단축된 뒤넙다리근을 자가-스트레칭으로 통해 신장했을 때 실제 운동에 어떤 효율성이 있을지 확인해 볼 필요가 있다.

런지 운동(lunge exercise)은 먼쪽 다리가 고정된 상태로 수행하는 닫힌 사슬 운동으로 일상적인 활동과 유사한 움직임 형태를 보이고 있기 때문에 실생활 접목에 효과적이며, 최소한의 장비로 간편하게 운동이 가능하다(Stuart 등, 1996). 또한 런지 운동은 넙다리네갈래근과 뒤넙다리근을 안전하게 강화할 수 있는 운동이며, 스쿼트 운동보다 더욱 균형 능력을 요구하기 때문에 근력과 균형을 함께 증진할 수 있다(Heijne 등, 2004). 하지만 뒤넙다리근이 단축되었을 때 런지 운동을 수행하면, 주동근인 넙다리네갈래근이 활성화하는 동안 대항근인 뒤넙다리근의 충분한 이완이 이루어지게 하는 상호억제(reciprocal inhibition)가 제대로 일어나지 않기 때문에, 넙다리네갈래근의 원활한 활성을 방해할 수 있다(Chang 등, 2018). 게다가 뒤넙다리근의 단축이 있는 사람들이 뒤넙다리근의 단축을 인지하지 못한 채 런지 운동을 시행하게 되면, 뒤넙다리근이 정상인 길이일 때보다, 넓은근들(vastus muscles)의 활성화도가 낮게 나타나고, 장시간의 지속적인 운동은 넓은근들과 뒤넙다리근의 불균형을 초래하여 무릎관절에 변형을 초래할 수 있다(최보람, 2022). 그러므로 뒤넙다리근의 단축이 있는 사람들에게 뒤넙다리근의 스트레칭 후에 런지 운동을 시행했을 때, 이러한 불균형을 균형적으로 변화시킬 수 있을지 알아볼 필요가 있다.

본 연구는 런지 운동 전에 뒤넙다리근의 단축이 있는 대상자에게 뒤넙다리근 자가-스트레칭을 시행했을 때, 런지 운동으로 나타나는 넙다리네갈래근과 뒤넙다리근의 활성을 알아보고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 건강한 성인 23명을 대상으로 했다. 대상자의 선정 조건은 런지 운동 동작에 제한이 없고, 6개월 이내에 근골격계나 신경학적 손상이나 수술에 대한 이력이 없으며, 뒤넙다리근 길이검사 시 양쪽 다리 중 한 다리라도 무릎관절 펴 각도가 155° 이하(완전 펴는 180°)인 뒤넙다리근의 단축이 있는 대상으로 했다(Kumar, 2011). 최근 6개월 이내에 런지 운동과 뒤넙다리근 스트레칭의 경험이 있는 대상자는 제외했다. 실험 전 대상자들에게 실험 내용을 충분히 설명했고, 연구 참여에 따른 이익과 부작용, 중도탈락의 여부, 개인정보와 비밀보장, 실험 전에 본 연구의 목적과 방법에 대하여 대상자들에게 충분히 설명한 후 동의를 얻었다(Table 1).

Table 1. General characteristics of subjects

	Age(yrs)	Height(cm)	Weight(kg)	Hamstring length test(°)
Subject(<i>n</i> =23)	25.1±3.7	156.3±6.3	56.1±5.2	151.6±2.1

2. 연구 도구

가. 표면 근전도 (surface electromyography; EMG)

본 연구에서는 근활성도를 측정하기 위해 표면 근전도(4D-MT& EMD-11, Relive, Korea)를 사용했다. 표본추출률(sampling rate)은 1,000Hz로 설정했고, 20~450Hz 주파수 대역폭의 밴드-패스 필터(bandpass filter)를 사용했다. 전기 신호의 잡음을 제거하기 위하여 60Hz 노치 필터(notch filter)를 사용했다. 수집된 데이터는 평균 제곱근법(root mean square; RMS)으로 처리했다. 전극 부착 전에 저항을 줄이기 위해 알코올 솜으로 부착 부위를 닦은 후 진행했고. 전극은 양쪽 다리 중에 뒤넙다리근이 단축된 다리의 넙다리두갈래근(biceps femoris), 반힘줄근(semi-tendinosus), 가쪽넓은근(vastus lateralis), 안쪽넓은근(vastus medialis)에 부착했다. 넙다리두갈래근은 공동뼈 결절(ischial tuberosity)과 종아리뼈 머리(fibular head) 사이의 중앙 지점에 부착했고, 반힘줄근은 양쪽 정강뼈의 안쪽위관절융기 사이의 중간 지점에 부착했다. 안쪽넓은근은 앞위엉덩뼈가시와 무릎뼈 안쪽을 이은 선의 아래쪽 4/5 지점에, 가쪽넓은근은 앞위엉덩뼈가시와 무릎뼈 가쪽을 이은 선의 2/3에 부착했다(Herman 등, 2009).

나. 최대 수의적 등척성 수축(maximal voluntary isometric contraction, MVIC)

최대 수의적 등척성 수축은 대상자마다 가지고 있는 고유의 활성화(mV)를 배제하고, 활성도를 비율(%)로 상대적으로 비교하기 위해 측정했다(Cram, 2003). 본 연구의 비교 대상인 운동이 런지 운동이기 때문에 런지 운동의 닫힌 사슬 운동과 유사한 동작인 스쿼트 운동으로 MVIC를 측정했다. 대상자는 고정된 의자에 엉덩관절과 무릎관절 90° 굽힘 상태로 앉고, 발바닥은 지면에 고정했다. 벨트를 허벅지에 고정한 후 저항을 이기며 최대 힘으로 일어나게 했다. 이 동작을 통해 넙다리네갈래근과 뒤넙다리근의 공동 활성화(co-activation)를 유도할 수 있기 때문에 모든 근육의 MVIC를 동시에 측정할 수 있다. 이 과정은 3번 측정해서 평균을 내었으며, 측정 사이 1분간 휴식을 취해 근 피로를 최소화했

다(Figure 1-A).

3. 연구 중재

가. 뒹다리근 길이검사(hamstring length test)

연구 대상자를 바로누운자세에서 엉덩관절과 무릎관절을 90°로 유지한다. 허리의 앞굽음(lordosis)을 유지하기 위해, 대상자에게 배를 위쪽으로 내밀고 있으라고 했으며, 무릎을 펴는 동안 허리가 바닥으로 내려가려고 하면 무릎 펴를 멈추라고 했다. 이 동작을 3번 연습했으며, 10분 휴식 후에 3번 측정해서 평균 내었다. 측정 사이 1분간의 휴식을 취해 학습 효과를 최소화했다(Kim, M. 등, 2009). 뒹다리근 자가-스트레칭 전과 후에 각각 실시했다.

나. 런지 운동(lunge exercise)

대상자에게 몸통의 흔들림을 방지하기 위해 시선은 정면을 향하게 했고, 양손은 허리 옆에 두도록 했다. 양쪽 다리 중에 뒹다리근이 단축된 쪽의 엉덩관절과 무릎관절을 90° 굽힘해서 앞으로 내밀었으며, 반대쪽 다리는 엉덩관절 펴고 무릎관절 90° 굽힘으로 뒤쪽으로 내밀었다. 양쪽 다리의 발목 위치는 11자로 나란하게 위치시켰다. 런지 자세를 20초간 유지했고, 총 5회 실시했다. 운동 사이에는 1분 이상의 충분한 휴식을 취했다(Selkowitz 등, 2013). 런지 자세를 유지하는 20초 동안의 근활성도를 측정했고, 실제 데이터는 앞 5초와 뒤 5초를 제외한 중간의 10초 동안의 활성도를 채택했고, 운동 5회 중에 최솟값과 최댓값을 제외한 3회의 데이터를 평균 내었다. 뒹다리근 자가-스트레칭 전과 후에 각각 실시했다(Figure 1-B).

다. 뒹다리근 자가-스트레칭(hamstring self-stretching)

고유수용성 신경근 촉진법(Proprioceptive Neuromuscular Facilitation; PNF) 중 유지-이완(hold-relax) 기법은 신장하기 위한 주동근을 저항이 가해진 등척성 수축을 통해 이완 유발하는 대표적인 PNF 스트레칭 기술이다. 이 방법을 통해 뒹다리근 자가-스트레칭을 시행했다. PNF 스트레칭 적용 방법은 환자 스스로 통증이 없는 범위까지 움직이고, 통증이 느껴지면 약간 이완한 자세로 3초간 유지한 다음, 서클링(circle ring)으로 무릎의 굽힘에 저항하며 10초 수축한 후에, 서클링을 무릎의 펴 방향으로 당겨주면서 뒹다리근을 신장시켰다(Puentedura 등, 2011). 10회를 실시하는 것을 1set로 하여 3회 반복했고, 세트 사이에 5분의 휴식시간을 가졌다(Figure 1-C).

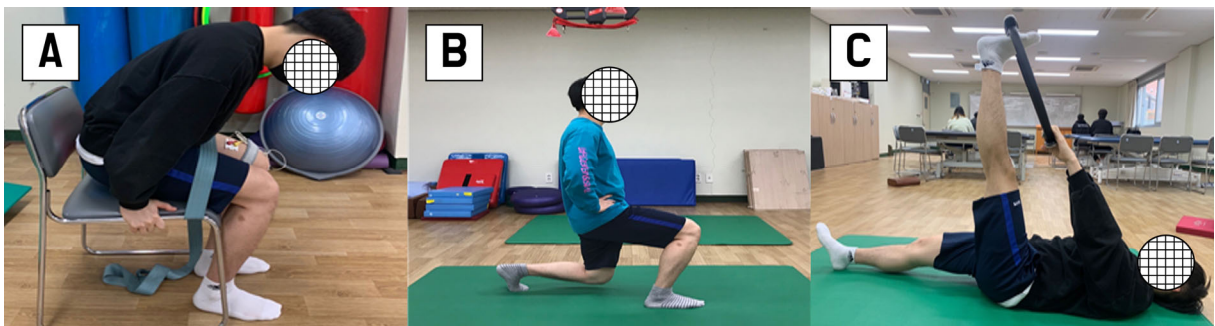


Figure 1. A. Measurement postural of maximal voluntary isometric contraction, B. Lunge exercise, C. Hamstring self-stretching

4. 분석 방법

본 연구의 통계 처리는 SPSSWIN(ver. 22.0)을 사용했다. 정규성 검정을 위해 Shapiro-Wilk 검정을 사용했으며, 뒤넙다리근 자가-스트레칭 전과 후의 차이를 비교하기 대응 t-검정(paired t-test)을 시행했으며, 종속변수는 뒤넙다리근의 길이와 넙다리두갈래근, 반힘줄근, 가쪽넓은근, 안쪽넓은근의 활성화도이다. 유의수준은 0.05로 지정했다.

III. 연구결과

뒤넙다리근 자가-스트레칭 전보다 자가-스트레칭 후에 뒤넙다리근의 길이가 유의하게 증가했다. 뒤넙다리근 자가-스트레칭 후에 런지 운동을 했을 때, 자가-스트레칭 전보다 모든 근육의 활성화도가 유의하게 증가했다(Table 2).

Table 2. Comparison of muscle activation between pre and post self-stretching ($N=23$).

	Pre-stretching	Post-stretching	<i>t</i>	<i>p</i>
HL(deg)	146.26±10.46	156.18±11.88	-3.249	0.000
BF(%)	28.64±10.85	31.96±11.90	-4.621	0.001
ST(%)	28.26±12.35	33.10±14.74	-3.929	0.003
VM(%)	56.50±14.32	61.23±14.82	-3.522	0.001
VL(%)	64.26±9.99	71.31±13.38	-5.370	0.022

HL: hamstring length, BF: biceps femoris, ST: semitendinosus, VM: vastus medialis, VL: vastus lateralis. Values are expressed as mean ±standard deviation. $p<0.05$.

IV. 고 찰

아직 있는 시간이 많은 현대인들은 뒤넙다리근이 장시간 수축한 상태로 사용하지 않아 유연성 감소, 뒤넙다리근의 단축 등 많은 문제가 발생한다(Kim 등, 2015). 뒤넙다리근의 단축은 허리 통증이나 나쁜 자세, 보행 이상 등의 기능장애를 초래하여 전반적인 일상생활 기능 저하가 발생한다(Kim 등, 2012). 하지만 대부분의 현대인은 뒤넙다리근의 단축을 가지고 있음에도 인지하지 못하고 건강을 위하여 또는 취미 활동으로 다양한 운동을 한다. 런지 운동을 할 때 뒤넙다리근이 단축을 인지하지 못한 채 런지 운동을 시행한다면, 런지 운동에 어떤 영향을 주는지 알아볼 필요가 있고, 뒤넙다리근의 스트레칭을 한 후에 런지 운동 시 근활성도의 변화가 있는지 알아볼 필요가 있다. 본 연구의 목적은 뒤넙다리근의 단축이 있는 대상자에게 뒤넙다리근 자가-스트레칭을 한 후 런지 운동 시, 뒤넙다리근 자가-스트레칭 전보다 넙다리네갈래근과 뒤넙다리근의 근활성도에 어떤 차이를 나타내는지 알아보고자 했다. 본 연구의 결과, 뒤넙다리근 자가-스트레칭 적용 후에 뒤넙다리근의 길이가 유의하게 증가했고, 넙다리네갈래근과 뒤넙다리근 모두 활성화도가 유의하게 증가했다.

뒤넙다리근 자가-스트레칭 방법으로 사용된 PNF 스트레칭은 정적(static), 탄성(ballistic) 스트레칭과 함께 가장 많이 사용하는 3대 스트레칭 중 하나이다(Miyahara 등, 2013). 근육, 건, 관절의 고유수용기(proprioceptor)는 정보를 중추신경계로 보내 근육의 활동과 자세의 변화와 그리고 압력과 신장에 반응한다. 자가-스트레칭은 근력의 균형 있는 향상과 함께 통증을 감소시키고 관절의 안정성을 증가시키고 근지구력과 혈액순환 기능을 향상한다(Choi 등, 2009).

본 연구에서 사용된 유지-이완 기법은 골지힘줄기관(Golgi tendon organ)의 I b 감각신경을 자극하여 스트레칭을 하고자 하는 주동근에 과도한 수축을 방지하게 하는 원리를 이용한 것이다(Sharman 등, 2006). 게다가 최근 연구에서는 PNF 스트레칭이 단순히 수동적인 토크(torque)의 증가 또는 강직(stiffness)의 완화 등의 근육 구조물의 신장이 아닌 신장에 대한 지구력(tolerance)의 증가로 인해 관절가동범위를 증가시킬 수 있다고 했다(Mahieu 등, 2009). 이전 연구에서는 PNF 스트레칭의 적용이 넵다리곧은근(rectus femoris)과 안쪽넓은근 활성도의 유의한 증가를 나타냈고(오동진 등, 2011), PNF 스트레칭 적용 유무에 따른 집단 간 차이는 PNF 스트레칭을 적용한 대상자에게 안쪽넓은근과 안쪽 뒤넵다리근(medial hamstring) 활성도의 유의한 증가가 있었다(정우식 등, 2012). 이처럼 자가-스트레칭 방법의 하나인 PNF 스트레칭이 근활성도에 증가에 영향을 줄 수 있기 때문에 다양한 운동 전에 준비 운동으로도 활용되고 있다(최종환 등, 2003).

런지 운동은 스쿼트 운동과 함께 대표적인 닫힌 운동 사슬 운동이다. 먼쪽 분절의 고정을 통해 몸쪽 분절을 움직이면서 주동근과 길항근의 공동활성(co-activation)을 유발하는 효과적인 근력 운동이다(Earl 등, 2001). 닫힌 사슬 운동은 대부분의 근력 강화를 위한 프로그램에서 주요 운동 방법으로 사용되며 길항근이 원심성 활성으로 작용하기 때문에 손상된 관절에 많은 안정성을 제공한다(Iwasaki 등, 2006). 불안정한 지지면에서 런지를 수행했을 때 넓은근들의 활성도가 증가했으며, 단기간의 런지 운동이 정적과 균형 능력 향상에 도움이 된다고 했다(Song 등, 2018). 게다가 런지 운동은 안쪽넓은근과 가쪽넓은근의 비율이 1.18:1로 안쪽넓은근의 활성도를 집중시킬 수 있기 때문에 무릎넵다리통증 증후군(patellofemoral pain syndrome) 환자의 재활에 효과적인 운동이다(Irish 등, 2010). 하지만 이전의 런지 운동에 대한 효과를 알아보는 연구에서는 모두 정상인을 대상으로 실험했으며, 대상자의 근육 길이에 대한 검사가 이루어진 연구는 부족했다. 이전 연구에서는 런지 운동 시 뒤넵다리근 단축 그룹이 뒤넵다리근 정상 길이 그룹보다 안쪽넓은근과 뒤쪽넓은근의 근활성도가 적게 나타났다(최보람, 2022). 이 결과는 뒤넵다리근의 길이 상태에 따라 운동의 효율성이 달라진 것을 의미한다. 그러므로 운동 전에 근길이 검사를 통해 대상자의 상태를 확인할 필요가 있고, 운동에 영향을 주는 근육이 단축되었다면 스트레칭을 통해 이완시켜야 할 것이다. 본 연구에서는 뒤넵다리근 자가-스트레칭 적용 후에 뒤넵다리근의 길이가 유의하게 증가했고, 런지 운동 시, 뒤넵다리근 자가-스트레칭 전보다 넵다리넵갈래근과 뒤넵다리근 모두 활성도가 유의하게 증가했다. 그러므로 런지 운동 전에 스트레칭이 필요할 뿐만 아니라, 이전에 뒤넵다리근의 길이검사가 반드시 이루어져야 한다.

런지 운동은 대표적인 닫힌 사슬 운동이며 런지 운동에 사용되는 근육의 활성도를 알아보기 위해 최대 수의적 등척성 수축(MVIC)을 측정할 때는 먼쪽 분절이 고정된 상태로 몸쪽 분절에서 움직임이 일어나는 방법으로 측정되어야 한다. 하지만 대부분의 이전 런지 운동 연구에서는 넵다리넵갈래근의 최대 수의적 등척성 수축 측정은 엉덩관절 90° 굽힘 상태로 앉아 체간을 고정하고, 무릎관절 160~170° 펴 지점에서 무릎을 펴는 열린 사슬 자세로 저항을 주어 실시하는 방법을 제시하고 있다(Newman 등, 2003). 이전 연구에서는 다리 길이의 40%의 간격으로 런지 동작 시 가쪽넓은근은 208.86%로 안쪽넓은근은 151.87%로 최대 수의적 등척성 수축 수치의 100%를 초과하는 모습을 볼 수 있다(박훈영 등, 2018). 또 다른 연구에서는, 열린 사슬 자세인 근육 검진 자세로 넵다리 넵갈래근의 MVIC를 측정했으며, 뒤넵다리근 단축 그룹이 런지 운동 시 가쪽넓은근은 141.38%, 안쪽넓은근은 141.22%로 모두 100% 이상의 근활성도를 나타냈다(최보람, 2022). MVIC는 대상자 간의 이미 존재하는 생물학적 차이를 상쇄하기 위해 대상자의 최대 수축력을 기준으로 나타나는 활성 비율로 대상자 간의 비교를 할 수 있도록 만든 방법이다. 하지만 이전 연구에서 나타나는 최대 수축력 이상인 100% 이상의 데이터들은 최대 수축력을 제대로 측정했다고 할 수 없다. 이는 닫힌 사슬 운동을 수행하는 데 있어 최대 수의적 등척성 수축 측정을 열린 사슬 운동인 몸쪽 분절을 고정하고 먼쪽 분절을 움직이는 방법으로 측정하여서 나타난 결과라고 판단되며, MVIC 측정 자세에 따른 차이가 나타날 수 있음을 의미한다. 그러므로 런지 운동을 비롯한 닫힌 사슬 운동의 근활성도를 알아보기 위해 MVIC를 측정하면 닫힌 사슬 자세로 실시하는 것이 적절한

최대 수축력을 측정하고 비교 기준을 명확히 할 수 있을 것이다.

본 연구는 제한점은 첫째, 대상자들이 건강한 20대 남녀로 한정되어 있고, 대상자의 수가 부족하다. 둘째, 사전검사와 자가-스트레칭 그리고 사후검사 간의 시간 간격이 일정하지 않아서, 사전검사에 사용된 뒤넙다리근 길이검사나 MVIC 검사 시 활성화했던 힘이 사후검사에 영향을 미칠 수 있었다. 추후 연구에서는 적절한 시간 간격과 운동 횟수에 대한 좀 더 심도 있는 접근이 필요하다.

V. 결 론

아마 있는 시간이 많은 사람들은 뒤넙다리근이 쉽게 단축된다. 그로 인해 만들어지는 많은 문제점이 전반적인 일상 생활 기능 저하를 일으킨다. 뒤넙다리근이 단축된 상태에서 런지 운동 시 효율이 낮아질 수 있으므로, 런지 운동을 수행하기 전 뒤넙다리근 자가-스트레칭을 통해 단축된 뒤넙다리근을 신장시키는 것을 권장한다.

참고문헌

- 김태은, 최보람. 즉각적인 뒤넙다리근 편심성 운동과 정적 스트레칭이 몸통 전방 굽힘에 미치는 영향. 한국전문물리치료 학회지. 2019;26(3):32-41.
- 박훈영, 김난향, 차용준. 런지 동작 시 발 위치의 앞뒤 간격에 따른 하지 근위부 근육의 근 활성화도 비교. 대한물리의학회 지. 2018;13(4):131-138.
- 오동건, 성순창, 이만균. PNF 탄력밴드 운동과 중추신경계 발달 운동이 뇌졸중 환자의 일상생활체력과 근활성도에 미치는 영향. 한국체육과학회지. 2011;20(2):815-827.
- 장정훈, 정동혁, 박래준. 스포츠 물리치료에서의 스트레칭의 개념 및 발달과정. 대한물리치료학회지. 2002;14(4):317-331.
- 정우식, 박승규, 박종향. PNF 결합패턴이 뇌졸중 환자의 하지 근 활성화도 및 보행능력에 미치는 영향. 한국콘텐츠학회논문 지. 2012;12(1):318-328.
- 최보람. 런지 운동 시 뒤넙다리근의 단축이 넙다리 근육 활성화도에 미치는 영향. 대한물리치료과학회지. 2022;29(3):21-28.
- 최종환, 류철현, 이규문. PNF 와 웨이트 트레이닝 복합훈련이 대학생의 유연성, 근력과 순발력에 미치는 영향. 한국발육 발달학회지. 2003;11(3):35-43.
- BARASH HL, GALANTE JO, LAMBERT CN, et al. Spondylolisthesis and tight hamstrings. J Bone Joint Surg. 1970;52(7):1319-1328.
- Chang W, Kim Y, Lee K, et al. Effect of facilitating reciprocal inhibition of ankle flexors on muscle activation pattern in sit to stand movement in stroke-case study. Neuro Ther. 2018;15(47.86):16.73.
- Choi W, Cho N, Kang H, et al. The effect of dynamic and static PNF stretching on lower back flexibility. PNF Mov. 2009;7(2):11-20.
- Cram JR. The history of surface electromyography. Appl Psychophysiol Biofeedback. 2003;28(2):81-91.
- Earl JE, Schmitz RJ, Arnold BL. Activation of the VMO and VL during dynamic mini-squat exercises with and without isometric hip adduction. J Electromyogr Kinesiol. 2001;11(6):381-386.

- Hamill J, Knutzen KM. Biomechanical basis of human movement. Lippincott Williams & Wilkins, 2006.
 - Heijne A, Fleming BC, Renstrom PA, et al. Strain on the anterior cruciate ligament during closed kinetic chain exercises. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(6):935-941.
 - Herman DC, Oñate JA, Weinhold PS, et al. The effects of feedback with and without strength training on lower extremity biomechanics. *Am J Sports Med.* 2009;37(7):1301-1308.
 - Irish SE, Millward AJ, Wride J, et al. The effect of closed-kinetic chain exercises and open-kinetic chain exercise on the muscle activity of vastus medialis oblique and vastus lateralis. *J Strength Cond Res.* 2010;24(5):1256-1262.
 - Iwasaki T, Shiba N, Matsuse H, et al. Improvement in knee extension strength through training by means of combined electrical stimulation and voluntary muscle contraction. *Tohoku J Exp Med.* 2006;209(1):33-40.
 - 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 J.* 2015;9(4):535-540.
 - Kim G, Hwang B. Kinetic analysis on the lumbar at the trunk flexion according to the degree of hamstring flexibility of healthy adult. *J Kor Soc Phys Med.* 2012;7(4):501-507.
 - Kim G, Lee J, Kwon S. Effects of hamstring flexibility and dynamic stability of lower lumbar according to stretching and massage techniques. *J Kor Soc Phys Med.* 2013;8(4):609-617.
 - Kim M, Kim Y, Jung D, et al. Reliability of measured popliteal angle by traditional and stabilized active-knee-extension test. *Phys Ther Kor.* 2009;16(4):1-7.
 - Kim T, Goo B, Yun S, et al. Effect of suboccipital muscle inhibition and combination technique on the flexibility of hamstring in individuals with shortened hamstring. *PNF Movt.* 2015;13(1):31-37.
 - Kumar GP. Comparison of cyclic loading and hold relax technique in increasing resting length of hamstring muscles. *Hong Kong Physiother J.* 2011;29(1):31-33.
 - Mahieu NN, Cools A, De Wilde B, et al. Effect of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on the plantar flexor muscle-tendon tissue properties. *Scand J Med Sci Sports.* 2009;19(4):553-560.
 - Miyahara Y, Naito H, Ogura Y, et al. Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching and static stretching on maximal voluntary contraction. *J Strength Cond Res.* 2013;27(1):195-201.
 - Newman SA, Jones G, Newham DJ. Quadriceps voluntary activation at different joint angles measured by two stimulation techniques. *Eur J Appl Physiol.* 2003;89(5):496-499.
 - Norris CM. Back stability: Integrating science and therapy. Human Kinetics, 2008.
 - Puentedura EJ, Huijbregts PA, Celeste S, et al. Immediate effects of quantified hamstring stretching: Hold-relax proprioceptive neuromuscular facilitation versus static stretching. *Phys Ther Sport.* 2011;12(3):122-126.
 - Selkowitz DM, Beneck GJ, Powers CM. Which exercises target the gluteal muscles while minimizing activation of the tensor fascia lata? electromyographic assessment using fine-wire electrodes. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2013;43(2):54-64.
 - Sharman MJ, Cresswell AG, Riek S. Proprioceptive neuromuscular facilitation stretching. *Sport med.*
-

2006;36(11):929-939.

Song S, Kim S, Kim J, et al. The effect of lunge exercise on the balance of unstable supporting surface of adult in their twenties. J Kor Phys Ther Sci. 2018;25(3):53-60.

Stuart MJ, Meglan DA, Lutz GE, et al. Comparison of intersegmental tibiofemoral joint forces and muscle activity during various closed kinetic chain exercises. Am J Sports Med. 1996;24:792-799.