

# 다양한 도구의 적용이 뒤넙다리근의 뻣뻣함과 근 긴장도에 미치는 영향

황성현<sup>1</sup> · 김태호<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>대구대학교 일반대학원 학생, <sup>2\*</sup>대구대학교 물리치료학과 교수

## The Effect of Applying Various Tools to the Stiffness and Muscle Tone of Hamstring Muscles

Hwang Sunghyun, PT<sup>1</sup> · Kim Taeho, PT, Ph.D<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>*Dept. of Physical Therapy, Graduate School of Daegu University, Student*

<sup>2\*</sup>*Dept. of Physical Therapy, Daegu University, Professor*

### Abstract

**Purpose** : The purpose of this study was to examine the effects of tools (i., extracorporeal shock wave therapy, massage gun, and foam roller) on range of motion, muscle tone and pain threshold among patients with hamstring stiffness.

**Methods** : Fourteen participants with hamstrings stiffness were recruited. Interventions were performed 6 times, and each session was for 30 seconds using the three tools. The range of motion, muscle tone, and pain threshold were measured. The order of the use of the three tools was randomly determined. The foam roller was made to move from the bottom of the hip crease to the upper part of the back of the hamstring. Additionally, velocity 5 vibration stimulation was performed on the hamstring using a massage gun. Moreover, vibration stimulation was performed on the hamstring with extracorporeal shock wave therapy 5 minutes, 5 Hz, and 1,500 strokes. The flexibility of the posterior thigh muscle was based on maintaining the knee and hip joints in a 90 ° bend in the supine position. The joint angle of the knee was measured, when the knee was actively extended, at the maximum point where the posterior thigh muscle was stretched. The elasticity of the posterior thigh muscle was measured while the subject was prone and in a relaxed state without any force. Measurements were made at the muscle abdominal area of the semitendinosus muscle of the posterior femur, and the area to be measured was marked with a pen. The measurement of the tenderness threshold of the posterior femur was measured using a tenderness meter(Commander Algometer, J-Tech, USA). The force value at the point at which the pressure sensation change to pain was measured after applying vertical pressure to the posterior femur muscle, which was the halfway point between the ischial tuberosity and the popliteal surface of the subject lying on their stomach.

**Results** : The extracorporeal shock wave therapy increased stiffness and, muscle tone, and caused changes in the pain threshold, whereas the other two tools had no effect on these indices.

**Conclusion** : Extracorporeal shock wave therapy has important effects on range of motion and muscle stiffness and can be used in warmup protocols.

**Key Words** : extracorporeal shock wave therapy, form roller, hamstring, massage gun

\*교신저자 : 김태호, hohoho90@naver.com

논문접수일 : 2020년 11월 5일 | 수정일 : 2020년 12월 4일 | 게재승인일 : 2020년 12월 11일

## I. 서론

뒤넙다리근육(hamstring)은 근육 군 중에서 짧아지는(shortness) 빈도가 가장 높은 근육이고, 짧아진 뒤넙다리근으로 인해 많은 사람들이 어려움을 겪고 있다(Kumar, 2011).

현대인들은 일상생활 중에 의자에 앉아서 보내는 시간들이 많아지며 그로 인한 뒤넙다리근의 짧아짐은 유연성을 감소시키고 나쁜 자세, 허리통증이나 보행이상 등의 기능장애를 초래하게 된다(Kisner 등, 2016). 허리앞 굽음(lumbar lordosis)을 감소시키고 유연성(flexibility), 엉덩관절 굽힘(hip joint flexion), 엉치엉덩관절(sacroiliac joint)의 기능부전과 동반되어 허리통증을 유발시키는 원인 중 하나가 뒤넙다리근의 짧아짐과 근육의 강한 뻣뻣함(stiffness)이다(Johnson & Thomas, 2010). 뒤넙다리근의 기능은 무릎관절의 굽힘, 엉덩관절의 펴(extension)과 걷기, 계단 오르고 내리기, 달리기, 서기 등의 신체 움직임을 수행하는 기본적인 요소이기 때문에(Neumann, 2010), 뒤넙다리근의 유연성을 유지하는 것은 허리뼈와 골반의 리듬과 같은 근육뼈대계 기능을 회복하는데 중요한 요소로 야기되어지고 있다(Ayala 등, 2013).

스트레칭은 신체 부위의 힘줄이나 근육, 인대 등과 같은 물렁조직(soft tissue)을 늘어줌으로써 유연성 유지 및 향상, 관절의 가동범위 증가, 상해에 대해서 예방할 수 있다. 근육의 과도한 통증과 긴장 완화, 혈액순환 증가 그리고 환경적응 능력과 호흡 순환 능력을 향상시키며 더 나아가 심리적 효과까지 얻을 수 있다. 일반적인 스트레칭 방법으로 능동적 스트레칭, 수동적 스트레칭, 정적 스트레칭, 탄성적 스트레칭 등이 있으며, 최근에는 그 효과를 극대화시킬 수 있는 스트레칭 방법으로 진동 자극을 이용한 스트레칭과 근에너지기법을 이용한 스트레칭 방법들이 소개되고 있다(Lim 등, 2009; Sharman 등, 2006).

선행 연구자들의 다양한 치료 방법 중에서 폼롤러(Form roller)를 이용한 운동방법으로 물리치료를 뛰어넘어 다양한 직업계통에서 자가 스트레칭과 근막이완의 도구로써 효과를 보고 있으며(Han 등, 2017), 선행연구에서 엉덩관절 굽힘 각도 90° 미만 대상자 40명을 기준으

로 폼롤러와 정적 스트레칭 운동에서 폼롤러 운동이 엉덩관절의 관절가동범위 증가에 효과적이었다(Mohr 등, 2014). Han(2018)의 연구에서 일반 폼롤러 그룹보다 진동의 기계적 자극에 대해 운동 중 통증의 자각이 낮게 느껴짐에 따라 더 편하게 접근할 수 있었다. 뒤넙다리근 유연성, 근력, 압통 역치 근 긴장도에 대해 진동 보조 스트레칭 그룹과 정적 스트레칭 그룹에 대한 비교에서 진동 보조 스트레칭 그룹이 유연성과 근 긴장도의 전, 후 차이에서 정적 스트레칭 그룹보다 높게 나타났다(Park & Lee, 2017). 체외충격파와 신장 기법을 병행한 체외충격파 그룹이 유연성, 근 긴장도, 압통역치 전·후 차이에서 뒤넙다리근에 유의미하게 나타났다(Kim, 2017).

스트레칭 시 환자의 통증이 발생하여 도구를 사용하여 효율적으로 근육을 스트레칭 적용할 방안을 생각하였다. 이에 본 연구에서는 뒤넙다리근이 뻣뻣한 성인을 대상으로 뒤넙다리근을 세 가지 중재방법으로 폼롤러, 마사지건과 체외충격파를 이용한 방법을 적용하여 관절 가동범위와 뻣뻣함, 압통의 역치 차이를 확인함으로써 즉각적인 효과를 알아보기 위함이다. 이를 통해 임상에서 뒤넙다리근에 대한 즉각적인 영향이 나타나는 효과적인 스트레칭 운동을 제시하기 위한 자료를 제공하고 자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상자

경주시 소재의 D회사에 근무 중인 40대 성인 남녀 14명을 모집하였다. 대상자 선정기준은 바로 누운 자세에서 엉덩관절을 90° 굽힘하고 측정한 무릎관절의 최대 능동적 펴 각도가 165° 이하인 대상자(Kim와 Kim, 2010)로 하였고, 엉덩관절이나 무릎관절 또는 발목관절에 외과적 수술 경험이 있는 자, 엉덩관절 90° 굽힘이 불가능한 자는 제외하였다(Park & Lee, 2017). 14명의 대상자들에게 제비뽑기를 하여 중재의 순서를 배치하였다. 실험 참여하기 전 모든 대상자에게 연구의 절차와 목적에 대해 설명하였으며, 자발적인 연구 참여를 위하여 동

의서에 서명한 자만 연구 대상으로 2020년 9월 9일 부터 9월 16일까지 한주간 동안 실시하였으며 실험진행 중 6명의 탈락자가 발생하여 최종적 14명으로 실험을 마무리 하였다. 본 연구는 대구대학교 생명윤리위원회 승인 후 실시하였다(승인번호: 1040621-202007-HR-042).

## 2. 연구방법

### 1) 측정도구 및 평가방법

뒤넙다리근이 뻣뻣한 대상자에게 각 중재에 대한 효과를 알아보기 위하여 중재 전후에 뒤넙다리근 근 긴장도, 시상면에서 뒤넙다리근의 유연성, 뒤넙다리근 압통역치 변화를 확인함으로써 즉각적인 효과를 알아보는 것이다. 모든 대상자의 실험 전후 측정은 한 명의 물리치료사에 의해 측정되었다. 즉각적으로 보기 위해 세 가지 조건 모두 사전 측정을 하고 중재는 제비뽑기로 선택하였다. 중재를 뽑으면 1회 5분 중재 이후 3분의 휴식시간 후 사후 측정을 하였다. 총 세 가지 중재를 위와 같은 방법으로 반복하여 측정하였다.

#### (1) 무릎 관절가동범위 측정

뒤넙다리근의 유연성은 바로 누운 자세(supine)에서 무릎관절과 엉덩관절을 각각 90° 굽힘자세를 유지한 것을 기준으로 하며 무릎관절을 최대 능동적으로 펴하였을 때, 뒤넙다리근이 늘어난 최대 지점의 무릎관절 각도를 촬영하였다. 각도측정은 Image-J를 이용하여 측정하였다(Jung 등, 2013). Image J로 측정 시에 일관성을 유지하기 위하여 각각의 마커를 붙이고 사전, 사후 검사를 실시하였다(Fig 1a). 측정은 각 중재가 끝난 직후 3분의

휴식시간 후 측정하였다.

#### (2) 근 긴장도검사

대상자들의 중재 전·후 뒤넙다리근의 근 긴장도를 측정하기 위해 근 긴장도검사기(MyotonPRO, MytonAS, Estonia)를 사용하였다. 근 긴장도검사기는 근육의 안정 시 또는 근 수축 시에 근육의 탄력성을 평가하기 위한 장비로써, 비침습적 방법을 이용하고, 측정하여 전산화시키는 장비이다(Fröhlich-Zwahlen 등, 2014)(Fig 1b). 위 팔두갈래근과 넙다리내갈래근의 근 긴장도를 측정한 연구결과에서 측정자간 상관계수는 .97~.99로 높은 신뢰도를 보였다(Agyapong-Badu 등, 2016).

뒤넙다리근의 탄력성 측정은 대상자가 옆드려 아무런 힘을 주지 않은 이완 상태에서 측정하였다. 측정은 뒤넙다리근 중 반힘줄모양근의 근복 부위에서 측정하였고 사전에 측정할 부위에 펜으로 표식을 하였다(Kong, 2017). 측정은 각 중재가 끝난 직후 3분의 휴식시간 후 측정하였다.

#### (3) 압통계

뒤넙다리근의 압통 역치 측정은 압통계(Commander Algometer, J-Tech, USA)를 사용하여 측정하였다. 옆드려 누운 대상자의 궁둥뼈 결절과 오금면 사이의 1/2 지점인 뒤넙다리근 근복에 압통계로 수직 압력을 가한 후 압력 감각이 통증으로 바뀌는 시점에 대한 힘의 값을 측정하였다(Fig 1c).

압통계 측정이 높은 검사자내 신뢰도(intratester reliability)는  $r=.69\sim.97$ 와 검사자간 신뢰도(intertester reliability)  $r=.71\sim.89$ 가 있으며, 압통계로 측정한 검사-재

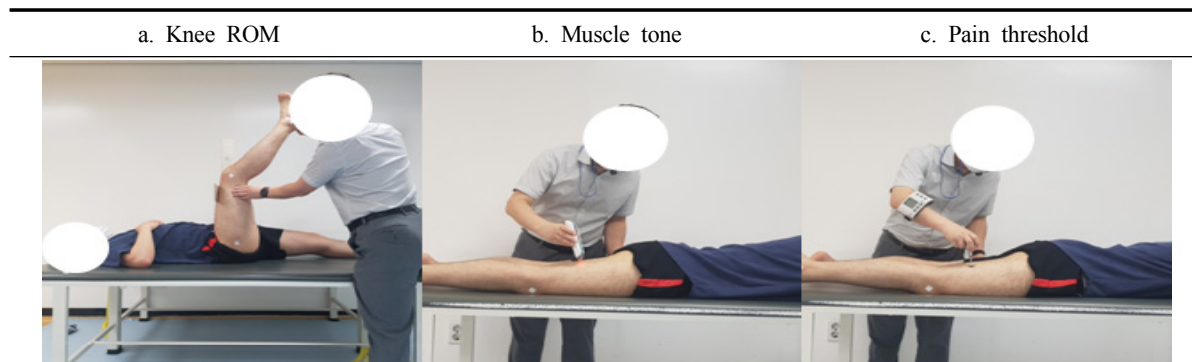


Fig 1. Measurement of hamstring

검사의 신뢰도( $r=0.85$ )가 높았다고 보고하였다(Seo 등, 2008).

대상자가 압력 통증역치 값에 도달한 경우 통증 호소에 대해서 소리를 내도록 하였으며, 그 순간 압통계를 측정 부위로부터 제거하였다. 압통을 측정하기 전 대상자의 오른쪽 손등에 압력 통증역치에 대하여 사전 교육을 실시하였다. 측정은 각 중재가 끝난 직후 3분의 휴식 시간 후 측정하였으며 측정 부위는 실험용 마커로 표기하였다.

3. 중재방법

1) 폼 롤러

양쪽 다리를 폼롤러 위에 놓고, 자신의 팔로 몸을 지지하고, 엉덩이 주름 아래부터 오금 뒷면의 위쪽 부분까지 움직이도록 하였다(Pearcey 등, 2015)(Fig 2a). 양쪽 다리를 동시에 실시하였다. 30초간 적용하는 것을 1세트로

정하며, 6세트 반복하여 실시하였으며 세트 사이 30초간 휴식시간을 제공하였다(Park, 2014).

2) 마사지 건

마사지 건(Massage gun, Shenzhen Hi-Max Technology Co., China)을 이용하여 뒤넙다리근의 근복에 마사지 건으로 자극하였다. 속도 5의 진동자극을 30초간 적용하는 것을 1세트로 정하며, 6세트 반복하여 실시하였으며 세트 사이 30초간 휴식시간을 제공하였다(Park & Lee, 2017)(Fig 2b).

3) 체외충격파

체외충격파(Extracorporeal shockwave therapy, REMED Co., Korea)를 이용하여 뒤넙다리근의 근복에 체외충격파를 이용하여 자극하였다. 강도 5, 5 Hz, 1500타수의 진동자극을 5분 동안 실시하였으며 세트 사이 30초간 휴식시간을 제공하였다(Kim, 2017)(Fig 2c).

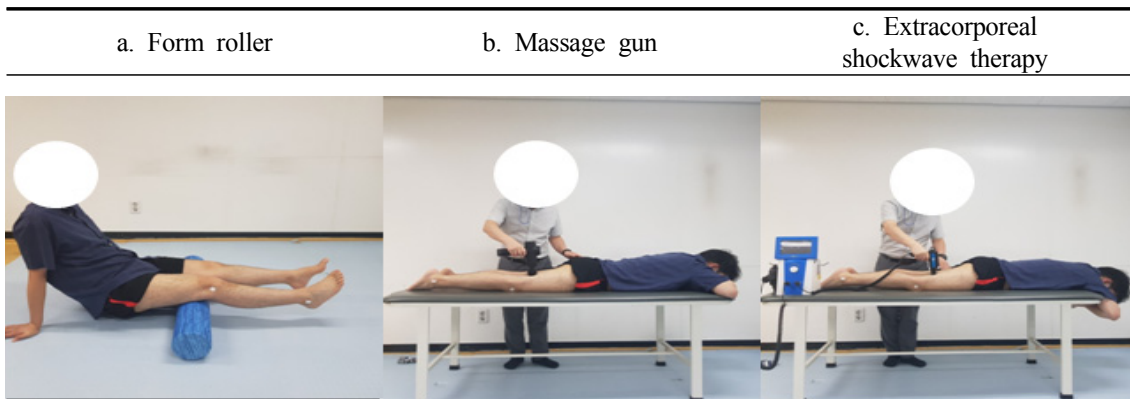


Fig 2. Intervention of hamstring

4. 분석 방법

본 연구에서 수집된 자료는 SPSS 18.0(SPSS Inc, Chicago IL, USA)를 사용하여 분석하였다. 연구대상자의 일반적인 특성은 기술통계를 사용하였다. 도구를 사용한 스트레칭 중재 방법에 따른 뒤넙다리근육에 대해 전·후의 관절가동범위, 근육의 뻣뻣함, 역치에 대한 변화량의 유의성을 알아보기 위하여 일원배치반복측정분산분석

(analysis of variance with repeated measures repeated measures ANOVA)을 사용하였으며, 조건 간의 차이를 알아보기 위하여 실시한 사후분석은 본페로니 방법으로 하였다. 각 조건 내 전·후의 관절가동범위, 근육의 뻣뻣함, 역치를 비교하기 위하여 짝비교 T-검정(paired t-test)을 실시하였다. 자료의 모든 통계적 유의한 수준은  $p<0.05$  로 하였다.

### III. 결 과

#### 1. 연구대상자의 일반적 특성

연구대상자 14명의 특성으로 평균 나이는 39.7세, 키는 169.07 cm, 몸무게는 66.93 kg, BMI는 23.32±2.72 kg/m<sup>2</sup>와 같다.

#### 2. 세 가지 조건 간 근 긴장도, 압통 역치, 뒤넙다리근 유연성 비교

조건에 따라서 근 긴장도는 체외충격파에서 가장 많은 변화를 보였으며, 폼롤러 조건에서 변화가 가장 적었다. 세 가지 조건 간 유의한 차이가 있었으며(p<.05), 본페로니 방법으로 사후분석한 결과 폼롤러 조건과 체외충격파 조건에서 유의한 차이를 보였다(p<.05)(Table 1).

조건에 따라서 압통 역치는 체외충격파에서 가장 많

은 변화를 보였으며, 폼롤러 조건에서 변화가 가장 적었다. 세 가지 조건 간 유의한 차이가 있었으며(p<.05), 본페로니 방법으로 사후분석한 결과 폼롤러 조건과 체외충격파 조건에서 유의한 차이를 보였다(p<.05)(Table 1).

조건에 따라서 뒤넙다리근의 각도는 체외충격파에서 가장 많은 변화를 보였으며, 폼롤러 조건에서 변화가 가장 적었다. 세 가지 조건 간에서 유의한 차이가 있었으며(p<.05), 본페로니 방법으로 사후분석한 결과 폼롤러 조건과 체외충격파 조건에서 유의한 차이를 보였다(p<.05)(Table 1).

#### 3. 각 조건 내 증재의 전·후 차이

세 조건 모두에서 전·후에 대하여 관절가동범위, 압통 역치는 유의하게 증가하였으며, 근육의 뻣뻣함은 유의하게 감소하였다(p<.05)(Table 1).

Table 1. Comparison of dependent variables within condition and between conditions

| Parameters                      | Group       | Pre         | Post         | F    | p     | Bonferroni       |
|---------------------------------|-------------|-------------|--------------|------|-------|------------------|
| ROM (°)                         | Form roller | 132.43±9.87 | 139.5±10.91  | 3.34 | .044* | Form roller<ESWT |
|                                 | Massage gun | 132.43±9.87 | 142.71±10.72 |      |       |                  |
|                                 | ESWT        | 132.43±9.87 | 147.86±11.20 |      |       |                  |
| Muscle tonus (Hz)               | Form roller | 14.48±1.48  | 13.85±1.45   | 3.76 | .029* | Form roller<ESWT |
|                                 | Massage gun | 14.48±1.48  | 13.46±1.20   |      |       |                  |
|                                 | ESWT        | 14.48±1.48  | 12.75±0.56   |      |       |                  |
| Threshold (lb/cm <sup>2</sup> ) | Form roller | 14.06±3.65  | 16.50±3.43   | 3.64 | .032* | Form roller<ESWT |
|                                 | Massage gun | 14.06±3.65  | 18.28±3.42   |      |       |                  |
|                                 | ESWT        | 14.06±3.65  | 20.24±3.16   |      |       |                  |

ESWT: extracorporeal shockwave therapy

### IV. 고 찰

본 연구는 다양한 도구의 적용이 뒤넙다리근의 뻣뻣함과 근 긴장도에 미치는 즉각적인 효과에 대해서 비교하고자 수행하였다. 그 결과 체외충격파를 이용한 조건이 나머지 두 조건보다 유연성 향상과 근 긴장도, 압통

역치의 변화를 나타내었다.

스트레칭에 대한 즉각적 효과에 대해 젊은 대상자뿐 아니라 손상을 받은 환자들이나 노인을 대상으로도 관절가동범위가 증가되었다고 보고되고 있다. Feland 등 (2001)은 노인 97명의 평균 나이 65세 대상으로 30초 동안의 수축-이완(contract-relax)의 PNF 스트레칭과 정적인

스트레칭을 뒤넙다리근육에 실시하여 관절가동범위 4 ° 증가를 보고하였고, Zakas 등(2005)은 여성노인 20명을 60초 동안의 스트레칭 후 관절가동범위 7 ° 정도의 증가를 보고하였으며, Reid와 McNair(2010)는 골관절염 환자 28명의 환자에게 60초 동안의 스트레칭 후 관절가동범위 4.9 ° 증가를 보고하였다.

Fasen 등(2009)은 4개의 다른 넙다리뒤근 스트레칭 운동방법에 대한 연구를 하였고, 그 결과 4주 후 수동적 스트레칭 운동보다 능동적 스트레칭 운동에서 넙다리뒤근의 유의한 변화가 있었다. Ayala 등(2012)은 정상범위의 넙다리뒤근 유연성과 제한된 넙다리뒤근 유연성을 가진 그룹을 대상으로 12주 동안 능동적 스트레칭 운동 프로그램을 적용하였고, 두 그룹 모두 PSLR (passive straight leg raise) 각도가 유의하게 증가하였다. Taheri 등(2017)은 뇌졸중 환자 중에서 하지 경직을 가진 28명을 대상으로 3주 동안 주 1회 간격으로 항강직성 약물치료와 신장 기법을 병행한 체외 충격파, 체외충격파 중 한 가지를 적용하였다. 그 결과 스트레칭 기법을 병행한 체외 충격파 치료군에서 치료 후 즉각적으로 그리고 12주 후에 유연성, 하지 경직, 통증, 하지 기능적 점수, 3 m 보행시간이 유의하게 증가하였다. 본 연구에서도 ESWT는 넙다리뒤근의 유연성 증가를 나타냈고, 시간에 따른 그룹 내 유의한 차이를 보인 것으로 사료된다.

Nam(2015)은 어깨와 목의 근막통증증후군 환자들에게 체외충격파 치료를 병행한 근막이완술과 근막이완술을 40명의 환자들에게 적용하였고, 4주간 주 2회씩 적용한 결과, 근막이완술과 체외충격파 치료를 병행한 근막이완술 두 집단 모두 통증이 유의하게 감소하였다. 또한 두 집단 모두 목 관절가동범위와 어깨 기능도 유의하게 증가하였고, 압력통각역치가 유의하게 증가하였다. 본 연구에서도 ESWT는 넙다리뒤근의 압통역치 증가를 나타냈고, 시간에 따른 그룹 내 유의한 차이를 보인 것으로 사료된다.

체외충격파와 신장기법을 병행한 체외충격파 두 그룹 모두 유연성, 근 긴장도, 압통역치 전·후 차이에서 뒤넙다리근에 유의미하게 나타났다(Kim, 2017). 본 연구에서도 ESWT는 넙다리뒤근의 근 긴장도의 감소를 나타냈고, 시간에 따른 그룹 내 유의한 차이를 보인 것으로 사료된다.

근육의 수축과 이완을 빠르게 진행시키는 진동자극은 골지힘줄기관(golgi tendon organ; GTO's)에 자극을 주어 근육의 이완을 유도하며 비정상적인 근 수축을 감소시키고, 운동범위의 향상을 가져온다(Collocca & Keller, 2004). 체외충격파를 적용했을 때 진동이 근육(Ia, Ib, II 섬유)의 감각 단위로부터 동심성 입력을 활성화시켜 근육으로부터 감각 입력을 조절하며 III와 IV 동심성 섬유와 관련하여 통증을 감소시킬 것이라고 하였으며(Lau과 Nosaka, 2011), 진동에 대해서 진통 효과가 통증의 관문 조절설에 의해 설명될 수 있다고 보고하였다(Gay 등, 2007). 본 연구에서도 체외충격파를 사용한 것이 대상자의 뒤넙다리근에 대하여 즉각적인 결과값이 빠르게 도출된 것이라 사료된다.

본 연구는 도구를 이용한 세 가지의 중재방법을 뒤넙다리근육에 적용하여 즉각적인 효과를 알아보는 연구이다. 체외충격파를 이용한 것이 마사지건과 폼롤러를 이용한 것보다 즉각적으로 효과가 있으므로, 임상에서 운동 프로그램 적용 시에 함께 적용한다면 유용할 것이다.

본 연구에서 도출된 제한점은 다음과 같다. 첫째, 대상자의 수가 적어 연구의 일반화에 대해서 어렵고, 둘째, 중재에 대한 즉각적인 효과를 확인하기 위한 연구로써 중재 후 검사에 걸리는 시간을 정확히 일치시키지 못하였다. 셋째, 연구 목적에 따라 근육의 생리학적 변화에 영향을 끼칠 수 있는 평가-재평가와 요소 간에 발생될 수 있는 학습효과(learning effect)와 이월효과(carry-over effect)를 통제하지 못하였다.

앞으로 임상에서 도구와 더불어 다양한 스트레칭 방법을 환자에게 적용한다면 임상적으로 효과적인 재활이 될 것이라 예상된다.

## V. 결 론

본 연구는 도구를 이용한 세 가지의 중재 방법을 뒤넙다리근육에 적용하여, 관절가동범위와 근육의 뻣뻣함, 압통의 역치의 변화를 확인함으로써 즉각적인 효과를 알아보는 것이다. 뒤넙다리근이 뻣뻣한 성인 남녀 14명에게 폼롤러 스트레칭, 마사지건, 체외충격파를 실시하

였다. 도구를 사용한 방법 적용 후 압통의 역치, 관절가동범위가 유의하게 증진되고, 근 긴장도는 유의하게 감소되었다. 체외충격파 방법이 도구를 사용한 스트레칭 방법에서 가장 효과적이었다.

임상에서 스트레칭 시 환자들이 통증을 야기할 때에 체외충격파를 이용하여 뒤넙다리근 근막을 이완시켜 준 후 중재 프로그램 적용 시 효과적인 물리치료가 실시될 것으로 전망된다. 또는 운동을 시작하기 전 준비운동 전 치료사가 체외충격파로 뒤넙다리근을 이완 후 실시하면 유용할 것이다.

## 참고문헌

- Agyapong-Badu S, Warner M, Samuel D, et al(2016). Measurement of ageing effects on muscle tone and mechanical properties of rectus femoris and biceps brachii in healthy males and females using a novel hand-held myometric device. *Arch Gerontol Geriatr*, 62, 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2015.09.011>.
- Ayala F, De Ste Croix M, Sainz de Baranda P, et al(2012). Absolute reliability of hamstring to quadriceps strength imbalance ratios calculated using peak torque, joint angle-specific torque and joint ROM-specific torque values. *Int J Sports Med*, 33(11), 909-916. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1311586>.
- Ayala F, Sainz de Baranda P, De Ste Croix M, et al(2013). Comparison of active stretching technique in males with normal and limited hamstring flexibility. *Phys Ther Sport*, 14(2), 98-104. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2012.03.013>.
- Colloca CJ, Keller TS(2004). Active trunk extensor contributions to dynamic posteroanterior lumbar spinal stiffness. *J Manipulative Physiol Ther*, 27(4), 229-237. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2003.11.001>.
- Fasen J, Annie M, Susan L, et al(2009). A randomized controlled trial of hamstring stretching: comparison of four techniques. *J Strength Cond Res*, 23(2), 660-667. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318198fbd1>.
- Feland JB, Myer JW, Merrill RM(2001). Acute changes in hamstring flexibility: PNF versus static stretch in senior athletes. *Phys Ther Sport*, 2(4), 186-193. <https://doi.org/10.1054/ptsp.2001.0076>.
- Fröhlich-Zwahlen AK, Casartelli NC, Item-Glatthorn JF, et al(2014). Validity of resting myotonometric assessment of lower extremity muscles in chronic stroke patients with limited hypertonia: a preliminary study. *J Electromyogr Kinesiol*, 24(5), 762-769. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2014.06.007>.
- Gay A, Parratte S, Salazard B, et al(2007). Proprioceptive feedback enhancement induced by vibratory stimulation in complex regional pain syndrome type I: An open comparative pilot study in 11 patients. *Joint Bone Spine*, 74(5), 461-466. <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2006.10.010>.
- Han SW, Lee YS, Lee DJ(2017). The influence of the vibration form roller exercise on the pains in the muscles around the hip joint and the joint performance. *J Phys Ther Sci*, 29(10), 1844-1847. <https://doi.org/10.1589/jpts.29.1844>.
- Han SW(2018). Short-term change on pressure pain threshold and vertical jump when foam roll exercises and vibration foam roll exercises. *Korean Soc Sport Phys Ther*, 14(1), 137-145. <https://doi.org/10.24332/aospt.2018.14.1.16>.
- Johnson EN, Thomas JS(2010). Effect of hamstring flexibility on hip and lumbar spine joint excursions during forward-reaching tasks in participants with and without low back pain. *Arch Phys Med Rehabil*, 91(7), 1140-1142. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2010.04.003>.
- Jung HM, Won DY, Jung JE(2013). Quantitative analysis methods for adapting image J programs on mouse calvarial defected model. *J Digit Converg*, 11(9), 365-370. <https://doi.org/10.14400/JDPM.2013.11.9.365>.
- Kim HR(2017). Effects of extracorporeal shock wave and stretching technique on flexibility, muscle tone and pressure pain threshold of shortened hamstring.

- Graduate school of Namseoul University, Republic of Korea, Master's thesis.
- Kim JH, Kim TH(2010). Immediate effects of stretching on hamstring stiffness. *J Korean Phys Ther*, 22(1), 1-7.
- Kisner C, Colby LA, Borstad J(2016). *Therapeutic exercise: Foundations and techniques*. 6th ed, Philadelphia, Dacis Co, pp.87-88.
- Kong KW(2017). The effects of eccentric contraction exercise using closed kinetic chain on the length, muscle activity, and muscle elasticity of hamstring. Graduate school of Daegu University, Republic of Korea, Doctoral dissertation.
- Kumar GP(2011). Comparison of cyclic loading and hold relax technique in increasing resting length of hamstring muscles. *Hong Kong Physiother J*, 29(1), 31-33. <https://doi.org/10.1016/j.hkpj.2011.03.002>.
- Lau WY, Nosaka K(2011). Effect of vibration treatment on symptoms associated with eccentric exercise-induced muscle damage. *Am J Phys Med Rehabil*, 90(8), 648-657. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e3182063ac8>.
- Lim SH, Son JM, Park DS, et al(2009). A comparative study on the muscle energy technique (MET) and stretching exercise effect of hamstring flexibility improvement. *J Korean Med Rehabil*, 19(1), 201-211.
- Mohr AR, Long BC, Goad CL(2014). Effect of foam rolling and static stretching on passive hip-flexion range of motion. *J Sport Rehabil*, 23(4), 296-299. <https://doi.org/10.1123/jsr.2013-0025>.
- Nam EJ(2015). The effect of the combined treatment of extracorporeal shock wave therapy and myofascial release on pain and functions of patients with myofascial pain syndrome. Graduate school of Sahmyook University, Republic of Korea, Master's thesis.
- Neumann DA(2010). *Kinesiology of the musculoskeletal system: foundations for rehabilitation*. 2nd ed, London, Mosby Elsevier, pp.565-569.
- Park HY, Lee MM(2017). A comparison of the effect of stretching technique on hamstring muscle for flexibility, strength, pressure pain threshold value and muscle tone. *J Korean Soc Phys Med*, 12(4), 39-46. <https://doi.org/10.13066/kspm.2017.12.4.39>.
- Pearcey GEP, Bradbury-Squires DJ, Kawamoto JE, et al(2015). Foam rolling for delayed-onset muscle soreness and recovery of dynamic performance measures. *J Athl Train*, 50(1), 5-13. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-50.1.01>.
- Reid DA, McNair PJ(2010). Effects of an acute hamstring stretch in people with and without osteoarthritis of the knee. *Physiotherapy*, 96(1), 14-21. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2009.06.010>.
- Seo HG, Jung YW, Kim KT(2008). Effects of mckenzie cervical exercise program on cervical pain and balance in industrial workers. *J Korean Phys Ther*, 14(1), 1-14.
- Sharman MJ, Cresswell AG, Riek S(2006). Proprioceptive neuromuscular facilitation stretching: mechanisms and clinical implications. *Sports Med*, 36(11), 929-939. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636110-00002>.
- Taheri P, Vahdatpour B, Mellat M, et al(2017). Effect of extracorporeal shock wave therapy on lower limb spasticity in stroke patients. *Arch Iran Med*, 20(6), 338-343. <https://doi.org/10.5535/arm.2013.37.4.461>.
- Zakas A, Balaska P, Grannatikopoulou M, et al.(2005). Acute effects of stretching duration on range of motion in elderly women. *J Bodyw Mov Ther*, 9(4), 270-276. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2004.10.006>.