

Original Article

Open Access

공간적 가중을 이용한 강화 유무에 따른 3주간 수축-이완 중재가 넙다리뒤근 단축 대상자의 유연성과 균형능력에 미치는 효과

김용훈 · 박두진[†]

마산대학교 물리치료과, ¹부산가톨릭대학교 물리치료학과

Effects of Three-Week Contract-Relax Interventions with and without Reinforcement Using Temporal Summation for Flexibility and Balance Ability in Young People with Hamstring Shortening

Yong-Hun Kim, P.T., Ph.D. · Du-Jin Park, P.T., Ph.D.[†]

Department of Physical Therapy, Masan University

¹*Department of Physical Therapy, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan*

Received: October 26, 2022 / Revised: November 06, 2022 / Accepted: November 07, 2022

© 2022 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 examine the effect of three-week contract-and-relax (CR) interventions with and without reinforcement using temporal summation for flexibility and dynamic balance ability in young people with hamstring shortening.

Methods: This study was conducted on 20 female college students with hamstring shortening. The participants were divided equally into two groups using stratified randomization: the CR group (CRG) and the CR with reinforcement group (CRRG). All interventions were applied three times a week for three weeks. The passive straight leg raise (PSLR) test and functional reaching test (FRT) were conducted on each participant before and after the three-week intervention.

Results: In both groups, PSLR and FRT improved significantly after the three-week intervention compared to before intervention ($p < 0.01$). The amount of change in PSLR after the three-week intervention was significantly higher in CRRG than in CRG ($p < 0.05$).

Conclusion: Three-week CR interventions with and without reinforcement were effective in improving PSLR and FRT. To improve hamstring shortening, CR intervention with reinforcement may be more useful than CR intervention without reinforcement.

Key Words: proprioceptive neuromuscular facilitation, contract and relax, reinforcement, hamstring, flexibility, balance

[†]Corresponding Author : Du-Jin Park (djpark35@cup.ac.kr)

I. 서론

넙다리뒤근(hamstring)은 조직학 및 생역학적 특징으로 인해 단축이 야기되는 대표적인 근육이다 (Vaquero-Cristóbal et al., 2015). 넙다리뒤근 손상의 위험 요인 중 하나는 해당 근육의 가동 범위의 소실이다 (Heiderscheit et al., 2010). 이러한 넙다리뒤근의 단축은 하지와 관련된 손상을 증가시킬 수 있으며(Henderson et al., 2010), 근절 및 점탄성(viscoelastic properties)의 변화를 초래한다(Labata-Lezaun et al., 2020; Pérez-Bellmunt, 2019). 그리고 단축된 넙다리뒤근은 근육의 근력 약화, 넙다리내갈래근의 기능이상, 자세 변형을 초래하고, 나아가 앞굽음(hyper-lordosis)의 감소까지 나타날 수 있다(Ramesh & Sivasankar, 2014).

넙다리뒤근의 유연성과 가동범위를 개선하기 위한 스트레칭 운동은 스포츠 의학 및 물리치료 분야에서 널리 사용되고 있다(Decoster et al., 2005; McHugh & Cosgrave, 2010). 넙다리뒤근을 위한 스트레칭 운동 중 고유수용성신경근촉진법(proprioceptive neuromuscular facilitation: PNF)은 임상에서 많이 사용되고 있으며, 특히 PNF 기법 중 수축-이완(contract & relax: CR)에 대한 효과를 규명한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다(Trampas et al., 2010; Junker & Stöggl, 2015). 더하여, 수축-이완 기법 적용 시 도수 저항의 크기 변화 (Feland & Marin, 2004), 대항근 수축을 통한 간접적 접근(Davis et al., 2005), 자세 및 엉덩관절 회전 변화 (Trampas et al., 2010) 등을 통해 넙다리뒤근의 유연성 증진을 극대화할 수 있는 방법에 대한 연구도 진행되고 있다.

PNF 기본원리 중 고유수용성 자극을 촉진할 수 방법으로 강화(reinforcement)가 있으며, 이는 시간적 가중(temporal summation)과 공간적 가중(spatial summation)으로 나누어 적용될 수 있다(Adler et al., 2014). 시간적 가중은 역치 이하의 자극을 계속 적용하여 흥분을 유발시켜 강하게 만드는 것이고, 공간적 가중은 몸의 여러 부위에 동시에 자극을 가하여 서로를 강화하는 것이다(Adler et al., 2014). 이러한 강화 방법 중 수축이

완 적용 시 반대편 다리의 굽힘을 이용하여 넙다리뒤근의 수축력을 극대화시키는 방법이 임상 실무에 적용되고 있음에도 불구하고, 이에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 그리하여 본 연구에서는 공간적 가중을 이용한 강화 유무에 따른 3주간의 수축-이완 중재가 넙다리뒤근 단축 대상자의 유연성 및 균형능력에 미치는 효과를 규명하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구에서는 대상자 수 산출을 위해 2명의 대상자로 예비 실험을 진행하였으며, 두 가지 평가 지표인 수동적 뻗은 다리 올림 검사(passive straight leg raise: PSLR)와 기능적 뻗기 검사(functional reaching test: FRT) 모두 효과 크기가 1.2 이상을 보였다. 연구 대상자는 G-power(3.1.9.6, Düsseldorf University, Germany)를 이용하여 효과 크기(effect size)=1.2, 검정력(power)=0.8, 유의수준(α)=0.05로 설정한 결과에 따라 총 20명을 모집하였다.

연구 대상자는 수동적 뻗은 다리 올림 검사(straight leg raise: SLR) 시 80° 이하인 자, 근골격계 및 신경계 질환이 없는 자, 외과적 수술 경험이 없는 자, 운동 수행 시 통증이 없는 자로 선정하였다. 모든 대상자는 중재에 따라 수축-이완 군(contract-relax group: CRG)과 강화를 이용한 수축-이완 군(contract-relax with reinforcement group: CRRG)으로 무작위로 각 10명씩 배정하였다. 모든 연구 과정은 헬싱키 선언을 준수하여 진행하였다.

2. 측정방법 및 도구

1) 수동적 뻗은 다리 올림 검사(passive straight leg raise: PSLR)

넙다리뒤근의 유연성 측정은 다음과 같이 실시하

였다. 먼저 대상자를 치료대에 눕게 하여골반과 반대편 다리를 고정하였다. 골반의 대상 작용을 방지하기 위해, 골반을 중립 위치로 정렬한 후 밴드를 이용하여 고정하였다. 그 다음 검사자의 한 손으로 대상자의 무릎과 뒤꿈치를 잡고 무릎을 펴 한 상태에서 다리를 들어 올려준다(Miyamoto et al., 2018). PSLR 시 끝 지점은 검사자가 단축(tightness)되었다고 느끼는 지점과 대상자의 통증 혹은 불편함이 시작되는 지점으로 결정하였다. 그 지점에서 검사자는 각도계(goniometer)를 사용하여 측정하였으며, 엉덩관절 굽힘 각도가 80° 이상이면 정상이고 이하이면 단축을 의미한다(Ayala et al., 2012). PSLR에 대한 측정자 내 신뢰도는 0.94로 높은 신뢰도를 보였다(Miyamoto et al., 2018). 모든 대상자는 3번에 걸쳐 PSLR를 측정하였으며, 본 연구에서는 3번의 평균값을 사용하였다.

2) 기능적 팔 뻗기 검사(functional reaching test: FRT)

FRT는 편안하게 선 자세에서 바닥면을 유지하면서 팔을 90°굽힘을 시킨 채 앞으로 뻗어 최대한 닿을 수 있는 거리에서 중지 끝을 측정하였으며(Song & Kim, 2018), 측정자 간 및 측정자 내 신뢰도는 0.98, 0.89로 높은 신뢰도를 보인다(Kim et al., 2008). 본 연구에서는 학습효과를 최소화하기 위해 2회의 연습 후 측정하도록 하였고 3회 반복 측정하여 평균값을 산출하였다(Song & Kim, 2018).

3) 디지털 근력 측정계

본 연구에서는 도수 저항을 일정한 수준으로 유지하기 위해 디지털 근력 측정계(Muscle testing, JTECH Medical, USA)를 사용하였다(Hwang & Park, 2017). 실험 전 운동에 따른 최대로 버틸 수 있는 저항을 측정하였으며, 최대 저항의 약 60%정도를 도수 저항으로 적용하였다.

3. 실험 절차

1) 수축-이완 중재군(contact-relax group, CRG)

모든 대상자는 옆으로 눕혀 머리 밑에 베개를 두고, 단축된 다리를 위쪽으로 오게 하여 정렬한다. 넙다리뒤근의 수축을 유도할 수 있는 PNF 패턴인 엉덩관절 펴-벌림-안쪽돌림(extension-abduction-internal rotation)과 무릎 펴, 발바닥굽힘과 가쪽번짐 자세로 CR을 적용하였다(Fig. 1).



Fig. 1. Contract and relax.

저항 강도는 가동범위 증진을 위한 최적의 수축 강도를 최대 수의적 수축의 64.3%로 제시한 선행 연구의 결과에 따라 최대 근력의 약 60%로 적용하였다(Sheard & Paine, 2010; Shin, 2018). 넙다리뒤근의 수축 시간은 선행 연구의 결과에 따라 10초간 실시하였으며(Rowlands et al., 2003), 이완 시간 역시 10초로 적용하여 1회 총 소요 시간은 20초로 설정하였다(Shin, 2018). 3회를 1세트로 설정하였으며, 세트 간 휴식 시간은 1분간 제공하였다. 1일간 중재는 10분간에 걸쳐 총 5세트를 실시하였으며, 3주 동안 주3회로 실시하였다.

2) 강화를 이용한 수축-이완 중재군(contact-relax with reinforcement group, CRRG)

CRG와 같은 자세에서 치료대에 단축된 다리가 위로

올라가게 하여 동일한 다리 패턴인 엉덩관절 펌-벌림-안쪽돌림에 대한 저항을 적용하였다. 공간적 가중을 이용한 강화를 동시에 적용하기 위하여, 치료대에 닿는 반대편 다리는 엉덩관절 굽힘-모음-가쪽돌림(flexion-adduction-external rotation)과 무릎관절 굽힘, 발등굽힘과 안쪽번짐에 대한 저항을 탄력밴드(thera-band)로 적용하였다(Fig. 2). 강화에 대한 저항의 크기를 일정하게 유지하기 위해 동일한 길이의 초록색 탄력밴드를 이용하였다. 그리고 모든 중재 시간과 기간은 동일하게 적용하였다.



Fig. 2. Contract and relax with reinforcement.

4. 자료 분석

본 연구에서는 3주간의 중재 전후 넓다리뒀근 단축 대상자의 유연성 및 균형능력 변화를 알아보기 위하여 대응표본 t 검정을 실시하였다. 두 군 간 중재 전후 유연성 및 균형능력의 변화량 차이를 확인하기 위하여 독립표본 t 검정을 실시하였다. 중재 전후 효과의 크기를 비교하기 위해서 Cohen's D 효과를 비교하였다. 통계분석 프로그램은 SPSS version 21.0을 사용하였으며, 통계적 유의수준은 $\alpha = 0.05$ 로 설정하였다.

III. 연구 결과

1. 연구 대상자의 일반적인 특성

연구 대상자의 일반적 특성은 표1과 같다. 본 연구에 참여한 연구 대상자는 여자 20명이며, 두 군의 일반적 특성은 표1과 같다(Table 1). 두 군 간 평균 연령, 신장, 체중, 체질량지수는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).

Table 1. Descriptive statistics for subjects (n=20)

Variables	CRG (n=10)	CRRG (n=10)	t	p
Age(years)	22.00	22.00	-	-
Height(cm)	163.75±2.80	163.20±3.36	-0.07	0.95
Weight(kg)	55.50±8.53	52.67±4.19	1.03	0.31
BMI(kg/m ²)	20.67±2.88	19.61±1.29	1.16	0.26

BMI: body mass index, CRG: contract-relax group, CRRG: contract-relax with reinforcement group

2. 3주간 중재 전·후 유연성 및 균형능력 비교

CRG은 3주간 중재 전후 유연성 및 균형능력에서 유의한 차이를 보였다(Table 2). PSLR과 FRT는 중재 전에 비해 중재 후 유의하게 증가하였다. CRRG은 3주간 중재 전후 유연성 및 균형능력에서 유의한 차이를 보였다(Table 3). PSLR과 FRT는 중재 전에 비해 중재 후 유의하게 증가하였다.

3. 두 군 간 3주간 중재 전·후 유연성 및 균형능력 변화량 비교

3주간 중재 전후 유연성 및 균형능력의 변화량은 표4와 같다. PSLR은 CRRG가 CRG에 비해 유의하게 증가하였다. FRT는 두 군 간 유의한 차이가 없었다.

Table 2. Comparison of flexibility and balance ability between before and after 3-week intervention in contract-relax group (n=10)

	Pre-test	Post-test	t	Cohen's <i>d</i>	p
PSLR(°)	53.50±13.25	82.36±11.02	-18.94	2.35	<0.01
FRT(cm)	15.61±3.71	26.11±3.17	-18.94	3.02	<0.01

PSLR: passive straight leg raise, FRT: functional reaching test

Table 3. Comparison of flexibility and balance ability between before and after 3-week intervention in contract-relax with reinforcement group (n=10)

	Pre-test	Post-test	t	Cohen's <i>d</i>	p
PSLR(°)	61.42±5.42	97.31±6.50	-16.81	5.95	<0.01
FRT(cm)	16.75±4.44	29.33±4.96	-14.82	2.66	<0.01

PSLR: passive straight leg raise, FRT: functional reaching test

IV. 고 찰

본 연구는 공간적 가중을 이용한 강화 유무에 따라 3주간의 수축-이완 중재가 넙다리뒤근 단축 대상자의 유연성 및 균형에 미치는 효과를 알아보려고 실시하였다. 2주간의 CR기법을 적용한 선행 연구에서는 직접 및 간접 접근법 모두 중재 전에 비해 2주 후 PSLR의 각도가 14.71~16.85° 유의하게 증가하였다(Kim et al., 2016). 3주간의 CR기법을 적용한 이전 연구에서는 등척성 수축의 시간에 따라 PSLR의 각도가 16.1~20.7° 유의하게 증가하였다(Rowlands et al., 2003). 본 연구에서도 3주간의 CR기법 중재 후, 중재 전에 비해 PSLR의 각도가 28.86~35.89° 유의하게 증가하여 선행 연구의 결과를 지지하였다.

본 연구를 포함한 이전 연구 모두 수축 시간, 자세, 중재 기간 등의 차이로 인해 객관적인 비교는 어렵지만, 직접적 CR기법과 수축 시간을 8~10초로 적용한 결과만을 비교하면 다음과 같다. PSLR 각도는 2주간

16.85° (Kim et al., 2016), 3주간 20.7° 증가를 보였으며 (Rowlands et al., 2003), 본 연구에서는 3주간 28.86° 증가하였다. Rowlands 등(2003)은 6주간의 CR기법이 3주간 CR기법에 비해 PSLR 각도가 유의하게 증가함을 보고하였다. 더하여 능동적 무릎 펴기(active knee extension: AKE) 각도에 대한 CR 기법의 효과를 규명한 이전 연구에서는 중재 전에 비해 4주간 8.5° (Lim et al., 2015), 8주간 10.96° 유의하게 증가하였다(Choi, 2013). 이는 단기간 보다는 장기간의 CR 중재가 넙다리뒤근의 유연성에 효과적임을 시사하는 결과라 생각된다.

넙다리뒤근의 단축은 정상적인 신체 정렬을 파괴하여 정적·동적 균형능력을 감소시킬 수 있다(Kwon et al., 1998). 본 연구의 CRG와 CRRG 모두 중재 전에 비해 3주 중재 후 FRT가 유의하게 향상되었다. 이는 강화 유무와 상관없이 CR기법이 넙다리뒤근 단축 대상자의 균형능력 개선을 위해 적용될 수 있음을 시사한다. 넙다리뒤근 단축 대상자를 대상으로 CR기법이 균형능력에 미치는 효과를 분석한 연구는 부족한 실

Table 4. Comparison of flexibility and balance ability between two groups (n=20)

	CRG (n=10)	CRRG (n=10)	t	p
PSLR(°)	28.86±5.28	35.89±7.40	-2.68	0.01
FRT(cm)	11.91±3.49	10.78±4.59	-2.06	>0.05

PSLR: passive straight leg raise, FRT: functional reaching test, CRG: contract-relax group, CRRG: contract-relax with reinforcement group

정이다. Gong 등(2007)은 4주간 CR기법을 적용하여 균형능력의 유의한 향상을 보고하였지만, 넙다리뒤근의 단축이 없는 건강한 대상자로 연구를 실시하였다. Ryan 등(2010)은 간접적 CR기법을 건강한 대상자로 균형능력 변화를 확인하였으며, Szafraniec 등(2018) 역시 건강한 대상자로 엉덩관절 모음근과 별림근에 CR기법을 적용하여 균형능력을 관찰하였다. 향후에는 장기간의 CR기법이 넙다리뒤근의 단축 대상자의 균형능력에 미치는 효과를 규명하는 연구가 이루어질 것 희망한다.

Ayala 등(2012)은 PSLR 각도가 80° 이상이며, 그 이하는 넙다리뒤근의 단축을 의미한다고 하였다. 본 연구에서 CRG와 CRRG 모두 3주간 중재 후 PSLR 각도가 80° 이상을 보였다. 이는 강화 유무에 상관없이 3주 이상의 직접적 CR중재는 넙다리뒤근의 단축을 개선시킬 수 있음을 보여주는 결과이다. 더하여, CRRG는 중재 전과 후에 PSLR 변화량이 CRG보다 유의하게 증가하였으며, 효과 크기에서도 CRRG(effect size=5.95)는 CRG(effect size=2.35)에 비해 2배 이상 높게 나타났다. 이러한 결과는 두 가지 기전에 의한 것으로 생각된다.

첫 번째, 선행 연구에서는 한쪽 다리를 엉덩관절과 무릎관절을 90도 굽히는 동안 반대편 골반의 대항하는 힘(counter force)에 의해 반대편 다리의 넙다리뒤근의 활성도가 발생하였다(Nakajima et al., 2003). 그리고 다리를 굽힘에 대한 저항이 크면 클수록 반대편 넙다리뒤근의 활성도는 증가하였다. 두 번째는 탄력 밴드를 이용한 강화로 인해 아래쪽 다리가 고정되어 CR기법을 적용한 다리의 저항을 보다 안정적으로 제공할 수 있었기 때문이라 생각된다. 넙다리뒤근과 종아리근의 등장성 수축(isotonic contraction) 동안 해당 근육의 직렬탄성요소(Series elastic component)는 최대한 신장되고, 이완 시에는 저장된 탄성 에너지로 인해 증가된 엉덩관절의 가동범위를 확보하는데 기여한 결과이다(Alexander, 2002).

본 연구에서는 선행 연구의 결과에 따라 최대 수의적 수축의 약 60%로 저항을 제공하였지만(Sheard & Paine, 2010; Shin, 2018), 강화를 이용한 CR기법은 60%

보다 더 큰 저항이 제공되었을 가능성이 높으며, 이에 따른 근육의 직렬탄성요소(series elastic component)의 신장과 탄성복원은 증가되었을 것이다. 이전 연구를 살펴보면, 최대 수의적 수축의 20%, 50~60%, 100% 강도에 대한 CR기법의 효과를 비교하였다(Kwak & Ryu, 2015; Sheard & Paine, 2010). 하지만 본 연구의 강화를 적용한 CR기법과 유사한 저항의 강도인 최대 수의적 수축의 약 70~80%에 해당하는 최대 저항의 효과를 비교한 연구는 없는 실정이다. 더하여, 이러한 최대 수의적 수축은 최대 수의적 수축보다 근육의 잠재적인 손상과 피로 예방을 위해 CR기법 적용 시 권장된다고 하였다(Kwak & Ryu, 2015).

누운 자세에서 직접적인 CR기법을 2주간 적용한 선행 연구에서는 PSLR에 대한 효과 크기는 2.03이었으며(Kim et al., 2016), 3주간 적용한 이전 연구에서는 2.26으로 나타났다(Rowlands et al., 2003). 본 연구는 옆으로 누운 자세로 실시하였으며, 3주간 CR기법 적용 후 PSLR에 대한 효과 크기는 2.35로 선행 연구와 유사한 수준을 보였다. 자세에 따른 PSLR의 차이는 없는 것으로 보인다. 향후에는 다양한 자세에서 CR기법의 수축 강도에 따라 넙다리뒤근의 단축에 미치는 효과뿐만 아니라 다양한 신장 기법과 CR기법이 넙다리뒤근의 유연성 변화에 미치는 영향을 효과 크기 분석을 통해 규명하는 연구가 이루어 졌으면 한다.

V. 결론

강화 유무와 상관없이 3주간의 CR기법은 넙다리뒤근 단축 대상자의 PSLR 및 FRT를 개선시키는데 효과적이었다. 강화를 적용한 3주간의 CR기법은 일반적인 CR기법에 비해 PSLR를 향상시키는데 임상에서 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

References

- Adler SS, Beckers D, Buck M. PNF in Practice: An Illustrated Guide, 4th ed. Berlin Heidelberg, Germany. Springer. 2014.
- Alexander RM. Tendon elasticity and muscle function. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A, Molecular and Integrative Physiology*. 2002;133(4):1001-1011.
- Ayala F, Sainz de Baranda P, De Ste Croix M, et al. Reproducibility and criterion-related validity of the sit and reach test and toe touch test for estimating hamstring flexibility in recreationally active young adults. *Physical Therapy in Sport*. 2012;13(4):219-226.
- Choi GJ. The effects of static and PNF stretching on range of motion and jump performance in the taekwondo player. *The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*. 2013;8(11):1771-1776.
- Davis DS, Ashbly PE, McCale KL, et al. The effectiveness of 3 stretching techniques on hamstring flexibility using consistent stretching parameters. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 2005;19(1):27.
- Decoster LC, Cleland J, Altieri C, et al. The effects of hamstring stretching on range of motion: a systematic literature review. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2005;35(6):377-387.
- Feland JB, Marin HN. Effect of submaximal contraction intensity in contract-relax proprioceptive neuromuscular facilitation stretching. *British Journal of Sports Medicine*. 2004;38(4):E18.
- Gong WT, Seo HK, Kim TH. The influence of contract-relax exercise of PNF on equilibrium ability. *Journal of Korean Academy of Orthopaedic Manual Therapy*. 2007;13(1):1-9.
- Heiderscheit BC, Sherry MA, Silder A, et al. Hamstring strain injuries: recommendations for diagnosis, rehabilitation, and injury prevention. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2010;40(2):67-81.
- Henderson G, Barnes CA, Portas MD. Factors associated with increased propensity for hamstring injury in English Premier League soccer players. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2010;13(4):397-402.
- Hwang YI, Park DJ. Comparison of abdominal muscle activity during abdominal drawing-in maneuver combined with irradiation variations. *Journal of Exercise Rehabilitation*. 2017;13(3):335-339.
- Junker DH, Stöggel TL. The foam roll as a tool to improve hamstring flexibility. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2015;29(12):3480-3485.
- Kim K, Seo SK, Yoon HJ, et al. Correlations between muscle strength of the ankle and balance and walking in the elderly. *The Journal of Korean Society of Physical Therapy*. 2008;20(1):33-40.
- Kim NY, Kim EH, Kim HJ, et al. The effectiveness of the direct and indirect contract-relax technique in PNF. *PNF and Movement*. 2016;14(1):7-14.
- Kwak DH, Ryu YU. Applying proprioceptive neuromuscular facilitation stretching: optimal contraction intensity to attain the maximum increase in range of motion in young males. *Journal of Physical Therapy Science*. 2015;27(7):2129-2132.
- Kwon OY, Choi HS, Min KJ. Characteristics of fall incidence in an elderly community population and the effects of exercise training on strength and balance for elderly fallers. *Korean Public Health Research*. 1998;24(2):27-40.
- Labata-Lezaun N, López-de-Celis C, Llurda-Almuzara L, et al. Correlation between maximal radial muscle displacement and stiffness in gastrocnemius muscle. *Physiological Measurement*. 2020;41(12):125013.
- Lim JH, Lee MK, Park JH, et al. Effects of proprioceptive neuromuscular facilitation relaxation techniques on hamstring flexibility and vertical jump performance. *PNF and Movement*. 2015;13(3):135-143.

- McHugh MP, Cosgrave CH. To stretch or not to stretch: the role of stretching in injury prevention and performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 2010;20(2):169-181.
- Miyamoto N, Hirata K, Kimura N, et al. Contributions of hamstring stiffness to straight-leg-raise and sit-and-reach test scores. *International Journal of Sports Medicine*. 2018;39(2):110-114.
- Nakajima M, Kawamura K, Takeda I. Electromyographic analysis of a modified maneuver for quadriceps femoris muscle setting with co-contraction of the hamstrings. *Journal of Orthopaedic Research*. 2003;21(3):559-564.
- Pérez-Bellmunt A, Llurda L, Simon M, et al. Neuromuscular response what is it and how to measure it? *Physical Medicine and Rehabilitation Journal*. 2019;2(1):1-7.
- Ramesh M, Sivasankar P. Comparison of three different physiotherapeutic interventions in improving hamstring flexibility in individuals with hamstring tightness. *International Journal of Health Sciences and Research*. 2014;4:129-134.
- Rowlands AV, Marginson VF, Lee J. Chronic flexibility gains: effect of isometric contraction duration during proprioceptive neuromuscular facilitation stretching techniques. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 2003;74(1):47-51.
- Ryan EE, Rossi MD, Lopez R. The effects of the contract-relax-antagonist-contract form of proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on postural stability. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010;24(7):1888-1894.
- Sheard PW, Paine TJ. Optimal contraction intensity during proprioceptive neuromuscular facilitation for maximal increase of range of motion. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010;24(2):416-421.
- Shin SS. Immediate effects of various contract-relax techniques on the peak force and range of motion of knee extension. -A Pilot Study- *PNF and Movement*. 2018; 16(2): 229-238
- Song SK, Kim JJ. A change of balance ability by leg strength exercise of female university students. *The Journal of Korean Clinical Health Science*. 2018;6(2): 1199-1204.
- Szafraniec R, Chromik K, Poborska A, et al. Acute effects of contract-relax proprioceptive neuromuscular facilitation stretching of hip abductors and adductors on dynamic balance. *Peer J*. 2018;6:e6108.
- Trampas A, Kitsios A, Sykaras E, et al. Clinical massage and modified Proprioceptive Neuromuscular Facilitation stretching in males with latent myofascial trigger points. *Physical Therapy in Sport*. 2010; 11(3):91-98.
- Vaquero-Cristóbal R, López-Miñarro PA, Alacid Cárceles F, et al. The effects of the pilates method on hamstring extensibility, pelvic tilt and trunk flexion. *Nutrición Hospitalaria*. 2015;32(5):1967-1986.