

Effect of Different Types of Foam Rollers on Self-Myofascial Release of the Quadriceps Femoris

Heun Jae Ryu¹, Ji Hun Kim², Han Na Kwon², Ri Been Kim², Ji Hwan Byun², Yuean Hei Lee², Jeong Pyo Seo²

¹Department of Public Health Sciences, Graduate School, Dankook University, Cheonan, Republic of Korea, ²Department of Physical Therapy, College of Health and Welfare Sciences, Dankook University, Cheonan, Republic of Korea

Purpose: This study investigates the impact of self-myofascial release using a foam roller on the quadriceps femoris for pelvic stability. We further compare the effects of a GRID surface Foam Roller (GFR), a Non-Vibration Foam Roller (NVFR), and a Vibration Foam Roller (VFR).

Methods: Thirty healthy adults (15 males, 15 females) participated in this study and were randomly assigned to one of three conditions: GFR, NVFR, or VFR. Participants walked at self-selected speeds with an arm sling before and after foam roller stretching. The analyzed gait parameters included pelvic tilt, pelvic obliquity, and pelvic rotation.

Results: In the NVFR and VFR groups, there was a significant differences were obtained in the pelvic tilt between pre-test and post-test values ($p < 0.05$) in the NVFR and VFR groups, but no significant difference was observed in the GFR group ($p > 0.05$). Comparing the amount of change between the three groups exhibited a significant decrease in pelvic tilt in the NVFR and VFR groups compared to the GFR group ($p < 0.017$). No significant differences were found in pelvic obliquity and pelvic rotation ($p > 0.05$) in all groups.

Conclusion: While walking, the use of a VFR for self-myofascial release results in pelvic alteration by reducing the anterior pelvic tilt. We propose that a foam roller can be utilized to enhance pelvic stability during gait.

Keywords: Foam roller, Quadriceps, Pelvic, Gait, I-Sen

서론

허리 통증은 현대사회에서 아주 흔하게 경험할 수 있는 질환으로 성인의 약 80%가 요통을 경험한다고 보고되었다.¹ 허리 통증의 원인은 다양하지만 그중 자세의 이상으로 인한 허리뼈 및 골반, 다리의 구조적 변이가 큰 요인으로 작용하며 이는 장시간 앉아있기, 유연성 결핍이 유발 요인으로 지목된다.^{2,3} 골반은 배(Abdomen)를 지지하고 척추와 다리를 연결하며 몸통과 다리의 근육들의 부착부위를 제공한다. 또한 보행능력에 가장 효과적으로 작용하는 조절점으로 올바른 골반 중립은 바른 자세를 유도하지만 골반 안정성이 떨어지면 척추 중립에도 영향을 준다.^{4,5}

골반과 관련한 대표적인 큰 근육으로는 볼기근(Gluteal muscles), 넵다리네갈래근(Quadriceps femoris), 뒤넵다리근(Hamstring)을 꼽을 수 있다. 보행 중 넵다리네갈래근과 뒤넵다리근은 동시 수축이 나타나고 특히 디딤기(Stance phase)에 관찰된다.⁶ 넵다리네갈래근은 크게

넵다리곧은근(Rectus femoris), 안쪽넓은근(Vastus medialis), 중간넓은근(Vastus intermedius), 가쪽넓은근(Vastus lateralis)의 네 부분으로 이루어져 엉덩관절부터 무릎관절까지 연결되어 있는 근육으로 보행 시 골반과 무릎관절의 움직임을 만드는 데 사용된다.⁷ 넵다리네갈래근은 골반의 앞 기울기에 영향을 미치는 요소 중 하나이고, 이는 척추 앞굽음증(Spinal lordosis)을 야기할 수 있다.⁸ 이러한 골반 앞 기울임 해결을 위해 골반 앞, 뒤 근육의 유연성 교정이 필요하다고 보고되었다.⁹

근육의 긴장도 회복을 위한 방법에는 초음파, 근에너지 기법, 능동 신장 운동, 수동 신장 운동, 자가 근막 이완기법 등이 있다.¹⁰⁻¹² 자가 근막 이완은 긴장된 근막을 신장시키고, 혈류를 증가시키며, 림프 순환을 촉진시킨다.^{13,14} 자가 근막 이완기법은 다른 기법들과 비교했을 때, 그 효과성과 접근성에서 독보적인 위치를 차지하고 있다.¹⁵ 왜냐하면 대부분의 기법들은 고가의 장비를 필요로 하거나 전문가에 의한 시술이 요구되기 때문이다.¹⁰ 그러나 자가 근막 이완기법은 집에서

Received April 3, 2023 Revised July 4, 2023

Accepted July 26, 2023

Corresponding author Jeong Pyo Seo

E-mail raphael0905@hanmail.net

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.

쉽게 할 수 있는 기법으로, 별도의 비용 없이 근육 긴장을 효과적으로 낮출 수 있다는 장점이 있다.¹³ 또한, 능동 신장 운동 같은 경우에는 운동의 자세가 제대로 나오지 않아 특정 근육의 긴장도를 제대로 낮추는 데 한계가 있는 반면, 자가 근막 이완기법은 본인의 상태와 필요에 따라 특정 근육에 집중할 수 있어 더 효과적이다.¹³

최근에는 폼롤러(Foam roller)를 사용한 근막 이완이 미국의 피트니스 트렌드 중 하나로 부상했다.^{13,15} 폼롤링(Foam rolling)은 초음파나 근 에너지 기법(Muscle energy technique)처럼 복잡하고 전문적인 기술을 요구하지 않는다. 이로 인해, 숙련도가 부족한 사용자라도 심부화상 혹은 근피로와 같은 부정적인 결과 없이 안전하게 사용할 수 있다. 따라서 폼롤링은 워밍업에 이상적이며, 건강한 개인에게는 운동 후 발생하는 근육통을 감소시키는 효과를 발휘한다.^{13,15} 폼롤러는 사용자의 체중을 이용해 연조직에 압력을 가하는 요법으로 롤 모양의 구르는 형태로 근막의 이완과 근 긴장의 감소, 관절가동범위 증가에 효과가 있다.¹⁶ 폼롤러의 종류에는 돌기형, 그리드(GRID)형 등 여러 형태가 있는데, 이 중 진동 폼롤러는 압력과 함께 진동이 관절과 혈관에 대한 기계적 수용체를 자극해 신경근 메커니즘을 활성화시켜 보다 깊은 조직에 영향을 미친다고 보고되었다.¹⁷

골반 중립은 척추 중립에 깊은 연관이 있다.¹⁸ 골반 안정성과 관련하여 뒤넙다리근의 유연성을 연구한 선행연구들은 많았다.^{19,21} 하지만 넙다리내갈래근의 이완이 골반 안정성에 미치는 영향을 보고한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 우리는 이 연구에서 넙다리내갈래근의 유연성이 골반 안정성에 미치는 영향에 대해 연구하고자 하였고, 두 번째로 폼롤러 종류에 따른 자가 근막이완의 효과를 비교하고자 하였다.

연구 방법

1. 실험방법

1) 연구대상

실험 참여에 의학적 문제가 없는 30명의 건강한 성인(남=15, 여=15)이 실험에 참가했으며, 참가자들은 본 실험 적용에 따른 효과분석에 영향을 미칠 수 있는 다른 프로그램이나 운동을 한 경험이 없었다. 연구 시작 전에 연구의 취지와 절차에 대해 설명하고, 실험 동의를 구하였다.

2) 측정장비

대상자의 양적인 보행 분석 자료를 수집하기 위하여 무선 동작 분석기(iSEN, stt system, Spain, 2016)를 이용하였다. 본 연구에서는 보행분석에 해당되는 프로토콜을 이용하여 대상자의 보행을 분석 후 골반 기울기(pelvic tilt), 가쪽 기울기(pelvic obliquity) 그리고 회전(pelvic ro-

tation)을 측정하였다.

총 5개의 센서가 본 연구에 사용되었으며 각 센서는 대상자의 대상자의 엉치뼈(S1)와 왼쪽 오른쪽 넙다리뼈의 1/2지점, 정강이뼈 1/2지점에 부착하였다.^{22,23}

3) 중재도구

폼롤러를 통한 하지 스트레칭은 참가자를 무작위로 10명씩 세 그룹으로 나누어 진행하였다: (1) 그리드 표면 폼롤러를 적용한 그룹(GRID Foam Roller group, GFR 그룹), (2) 비진동 폼롤러를 적용한 그룹(Non-Vibration Foam Roller group, NVFR 그룹), (3) 진동 폼롤러를 적용한 그룹(Vibration Foam Roller group, VFR 그룹). GFR에서 사용한 그리드 폼롤러는 에틸렌초산비닐(Ethylene Vinyl Acetate)소재로 된, 표면에 일정한 그리드 패턴이 특징인, 길이 33cm, 지름 14cm의 원통형 모양의 폼롤러(Trigger point, USA)를 적용하였으며, NVFR 그룹, VFR 그룹에서 사용한 발포폴리프로필렌(Expanded polypropylene)소재인, 길이 44cm, 지름 15cm의 원통형 모양의 폼롤러(Vulken)이다.²⁴ VFR은 진동을 키고 이용하였으며, NVFR은 진동 폼롤러의 진동을 끄고 사용하였다(Figure 1).

2. 실험절차

1) 보행측정

실험은 폼롤러 스트레칭 적용 전과 후로 보행을 하도록 하였다. 보행 거리 기준은 10m로 설정하였으며, 각 2회씩 보행을 측정 한 후 평균값을 기록하였다. 본 연구에서는 보행 시 불편함이 없는 건강한 참여자를 대상으로 진행했기 때문에 팔 흔들을 억제했을 때 하지 분절 운

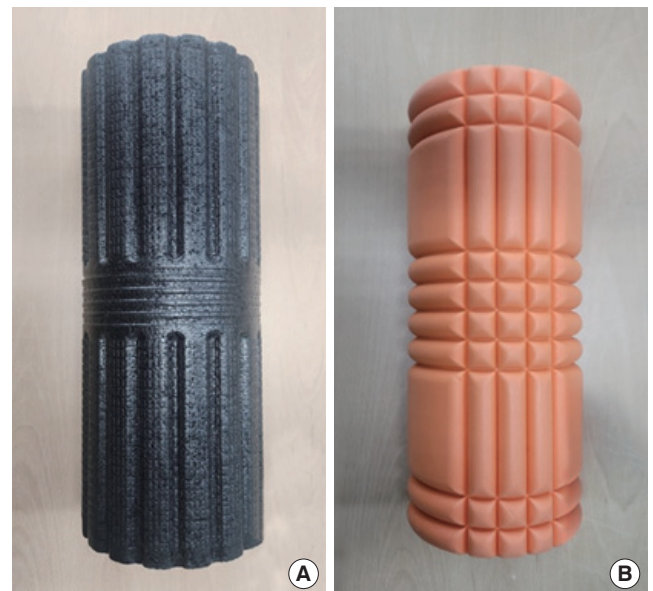


Figure 1. Foam roller. (A): Vibration foam roller, (B): GRID foam roller

등을 활성화시킨다는 보고를 바탕으로 골반 불안정성을 유발하기 위해 팔 흔들음을 억제하였다.²⁵ 팔 흔들음을 위해 팔걸이를 사용하였고, 스트레칭 적용 전후 보행은 모두 우세 측에 단일 끈형 팔걸이를 착용한 채 진행하였다.

2) 폼롤러를 통한 하지 스트레칭

폼롤러를 통한 하지 스트레칭은 2구획으로 나누어 적용하였다. 무릎 뼈 위부터 넙다리내갈래근의 중간 부위까지를 첫 번째 구역, 넙다리내갈래근의 중간 부위부터 위앞엉덩뼈가시(Anterior superior iliac spine, ASIS)까지를 두 번째 구역으로 나누어 진행하였다.²⁶

엎드려 누운 자세에서 두 팔꿈관절로 지지면을 지지하고 하지는 쭉 펴져 있는 상태로 앞 허벅지와 지지면 사이에 폼롤러를 위치해 스트레칭을 진행하였다. 신체의 상하 방향으로 움직임을 주어 폼롤러가 지지면을 따라 굴러가며 스트레칭이 되도록 한다. 적용시간은 첫 번째, 두 번째 구획 각 90초씩 총 2회로 하였으며, 두 적용 사이에 30초의 휴식을 가졌다.²⁷

3. 자료분석

본 연구는 IBM SPSS 28 for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, US) 통계 프로그램을 이용하여 각 항목별 평균 및 표준편차를 산출하였다. 실험 그룹 내 항목별 전후차이를 비교하기 위해 윌콕슨 부호순위 검정 (Wilcoxon signed rank test)을 실시하였다. 골반 가동성의 변화량은 (중재 전 골반 가동성-중재 후 골반 가동성) / 중재 전 골반 가동성이라는 공식에 대입하여 산출하였고, 세 그룹 간의 변화량 차이를 분석하기 위해 크루스칼-월리스 검정(Kruskal-Wallis test)을 실시하였다($\alpha = 0.05$). 사후 분석으로는 어느 그룹 간의 차이가 유의한지를 확인하기 위해 맨-휘트니 검정(Mann-Whitney U test)을 실시하였으며 이 과정에서 전체 유의수준 유지하기 위해 본페로니 교정(Bonferroni correction)을 이용하여 유의수준 α 는 0.017로 설정하였다.

결 과

본 연구에 참가한 연구 대상자들은 총 30명이며 성별 비는 남자 15명, 여자 15명이고, 나이 24.5 ± 2.3 세, 키 167.9 ± 7.6 cm, 몸무게 62.7 ± 12.6 kg 이다(Table 1).

골반 기울기의 전후비교 결과, NVFR 그룹과 VFR 그룹의 전후비교에서는 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). GFR 그룹의 전후비교에서는 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$)(Table 2). 각 그룹 간의 유의성 여부를 확인하기 위한 검정 결과, GFR 그룹과 NVFR 그룹, VFR 그룹의 세 그룹 간의 골반 기울기 변화량 비교에서는 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$)(Table 2). 사후 분석을 위한 검정 결과, GFR 그룹과 NVFR 그룹의 두 그룹 간의 변화량 비교와 GFR 그룹과 VFR 그룹의 두 그룹 간의 변화량 비교에서는 유의한 차이를 보였다($p < 0.017$). 반면 NVFR 그룹과 VFR 그룹의 두 그룹 간의 변화량 비교에서는 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.017$).

골반 가쪽 기울기의 전후비교 결과, GFR 그룹과 NVFR 그룹, VFR 그룹의 전후비교에서는 모두 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$)(Table 2). 각 그룹 간의 유의성 여부를 확인하기 위한 검정 결과, GFR 그룹과 NVFR 그룹, VFR 그룹의 세 그룹 간의 골반 가쪽 기울기 변화량 비교에서는 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$)(Table 2).

골반 회전의 전후비교 결과, GFR 그룹과 NVFR 그룹, VFR 그룹의 전후비교에서는 모두 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$)(Table 2).

Table 1. General characteristics of subjects

Variable	Data
Age (years)	24.47 ± 2.30
Hight (cm)	167.87 ± 7.57
Weight (kg)	62.73 ± 12.56
Male/Female	15/15

Mean ± SD, (Unit).

Table 2. Pre-test, post-test descriptive results

		Pre-test (°)		Post-test (°)		Change (%)		Post-hoc
		M ± SD		M ± SD	p	M ± SD	p	
Pelvic Tilt	GFR	7.20 ± 2.15		7.60 ± 2.50	0.622	4.78 ± 17.86		G < N, V
	NVFR	7.55 ± 1.46		6.65 ± 1.45	0.006*	14.33 ± 9.17	0.012 [†]	
	VFR	7.45 ± 1.61		6.00 ± 1.25	0.020*	29.28 ± 40.01		
Pelvic Obliquity	GFR	9.45 ± 2.73		9.45 ± 3.24	0.569	1.75 ± 11.77		0.244
	NVFR	8.70 ± 2.46		8.85 ± 1.97	0.865	4.17 ± 17.34		
	VFR	8.85 ± 1.93		9.45 ± 1.61	0.090	6.59 ± 12.59		
Pelvic Rotation	GFR	17.20 ± 5.31		16.85 ± 4.76	0.859	5.74 ± 29.48		0.743
	NVFR	18.10 ± 4.43		17.90 ± 3.13	0.384	2.64 ± 17.47		
	VFR	16.70 ± 3.76		16.60 ± 3.31	1.000	0.81 ± 12.20		

Data reported as mean ± SD. * $p < 0.05$: Wilcoxon signed rank test, [†] $p < 0.05$: Kruskal-wallis test, GFR: GRID Foam roller, NVFR: Non-Vibration Foam roller, VFR: Vibration Foam roller, G: GFR, N: NVFR, V: VFR.

각 그룹 간의 유의성 여부를 확인하기 위한 검정 결과, GFR 그룹과 NVFR 그룹, VFR 그룹의 세 그룹 간의 골반 회전 변화량 비교에서는 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$)(Table 2).

고찰

본 연구에서는 넙다리네갈래근에 폼롤러 적용 후 골반의 가동성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 대상자들을 GFR 그룹, NVFR 그룹, VFR 그룹으로 나누어 보행분석 실험을 진행하였다. 실험 결과 GFR 그룹을 제외한 NVFR 그룹, VFR 그룹에서 골반 기울기에 감소를 보였다.

이를 통해 NVFR 그룹, VFR 그룹에서 넙다리네갈래근에 적용한 폼롤러가 골반 기울기 감소에 효과가 있음을 파악할 수 있었다. 넙다리네갈래근은 골반 기울기에 영향을 미치는 근육으로 넙다리네갈래근의 과도한 긴장은 골반을 앞쪽으로 기울인다.^{21,28,29} 또한 제한된 엉덩관절 펌 가동성을 가진 개인은 골반 앞 기울기의 증가를 나타냈다.³⁰ 이에 따른 해결 방안으로 하지 스트레칭은 골반 기울기를 감소 시킴으로 골반 안정화를 도모할 수 있다.³¹⁻³⁴

본 연구에서는 VFR 그룹이 가장 큰 골반 기울기 감소량을 보였다. VFR은 기계적 자극을 사용하며, 이러한 기계적 자극은 고유수용성 감각, 근육방추(Muscle spindle), 골지힘줄기관(Golgi tendon organ), 그리고 인대의 통증수용체와 같은 다양한 생리적 시스템에 영향을 미친다.³⁵ 이러한 기계적 자극은 근육의 수축과 이완을 가속화하여 비정상적인 근육 수축을 줄이고 근육 이완을 유도하는 것으로 알려져 있다.³⁶ 이는 선행연구에서도 확인된 바 있으며, 특히 자가 근막 이완법의 지속적인 사용이 뒤넙다리근의 유연성을 유지하는 데 도움이 되고, 이는 골반의 뒤 기울기 변화에 영향을 주었다는 결과를 제안하고 있다.¹⁹⁻²¹ 이러한 연구 결과는 본 연구의 단일 넙다리 근육 이완이 골반의 기울기 변화에 영향을 미친다는 결과와 일치하는 부분이 있다.

VFR은 NVFR, GFR에 비해 더 높은 진동 주파수에서 기계 수용체의 더 큰 기여로 인해 우수한 골반 기울기 변화를 보인 것으로 사료된다. 이는 특히 사이질 수용체 유형 3, 4(interstitial receptor type III and IV)가 빠르고 지속적인 긴장과 압력에 반응하는 능력 때문일 수 있다. 이러한 수용체는 통증과 염증 반응을 감지하고, 이를 통해 교감 신경 및 부교감신경 활동에 영향을 미친다. 따라서, VFR이 높은 진동 주파수는 이러한 수용체의 반응을 촉진하고, 이를 통해 통증 변형 효과를 높일 수 있다.³⁷⁻³⁹ 이러한 반응은 심박수, 혈압 및 통증 민감도 감소로 이어지며, 이는 근육의 이완을 촉진하고 혈관 확장을 가능하게 한다. VFR은 NVFR, GFR에 비해 조직 깊숙이 영향을 미치며, 근육이 더 이완될 수 있다.²⁰ 이는 본 연구의 결과와 일치하며, 넙다리네갈래근의 더 큰 이완은 골반 앞 기울기 감소를 야기했고, 이는 더 큰 골반 변화

를 가져왔다고 사료된다.

본 연구에서는 폼롤러 적용 전후로 골반 회전과 가쪽 기울기에 대해 유의한 결과가 나타나지 않았다. 본 연구에서 폼롤러를 적용한 넙다리네갈래근은 엉덩관절 굴곡 작용과 무릎관절 펌 작용을 하는 작용근이며, 그중 넙다리골은근은 엉덩관절의 아래앞엉덩뼈가시(Anterior inferior iliac spine)에 부착해 수축 시 골반을 앞 기울기를 시켜 허리의 과다앞굽음을 유발하는 근육이다.^{8,40} 넙다리골은근을 제외한 나머지 넓은근(Vasti muscle)들은 넙다리뼈에서이며, 무릎뼈의 바닥부위에 부착하는 강력한 하나의 힘줄을 형성하기 위해 합쳐진다.⁴¹ 즉 본 연구에서 적용한 넙다리네갈래근은 골반 앞 기울기에 영향을 주는 넙다리골은근과 무릎관절에 영향을 주는 나머지 근육들로 이루어져 있어 골반 앞 기울기에 영향을 미치는 근육이지만 골반 회전과 골반 가쪽 기울기 영향을 미치지 않아 유의한 결과가 나타나지 않은 것으로 사료된다.

본 연구는 넙다리네갈래근에 적용된 세 가지 형태의 폼롤러가 정상인의 보행 시 골반 변화에 대한 영향을 알아보기 위하여 실시하였고 다음과 같은 결과를 확인할 수 있었다. 폼롤러 스트레칭에 따른 보행 시 골반 기울기가 VFR, NVFR에서 골반의 기울기가 감소되었고, GFR에서는 보행 시, 유의하게 골반 기울기의 감소가 보이지 않았다. 또한 골반 기울기 변화에 대해 그룹 간 비교를 한 결과 VFR과 NVFR에서 GFR보다 유의하게 골반 기울기가 감소하였다. 결과적으로 넙다리네갈래근에 적용한 폼롤러는 보행 시 골반 앞 기울기를 감소시킴으로써 골반 변화에 중요한 역할을 하는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에는 몇 가지 제한점이 있다. 본 연구는 30명의 작은 표본으로 진행된 연구이며 젊은 20대 성인을 대상으로 한 연구로 임상적으로 일반화시키기 어렵다. 또한 폼롤러 적용 전 골반 기울기에 대한 개인차를 고려하지 않은 점이 유의하지 않은 결과에 영향을 미칠 수 있다. 선행연구에서 폼롤러 적용 시 특정 장치를 이용하여 중재 시 속도를 조절하였으나, 본 연구에서는 통제하지 않은 점 역시 제한점으로 보인다. 또한, 본 연구는 골반의 앞 기울기에 초점을 맞추었으며, 후방 기울기를 고려하지 않았다는 점이 제한점으로 작용하였다. 골반의 앞 기울기와 후방 기울기는 상호 연관되어 있으며, 각각의 변화는 개인의 보행 패턴, 균형 등에 다른 영향을 미칠 수 있다. 마지막으로, 본 연구는 정상인을 대상으로 하였고, 골반 기울기의 변화가 골반의 안정성에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 직접적인 증거를 제공하지는 않았다. 나아가 본 연구는 폼롤러와 보행분석장치를 동시에 사용한 첫 번째 연구이며 그룹마다 다른 지름 및 경도를 가진 폼롤러를 적용한 점과 장기적인 효과를 확인하지 못하였기에 관련한 추가 연구가 필요할 것으로 고려된다. 따라서 향후 연구에서는 충분한 연구 대상자를 통해 골반 장기적 변화를 관찰할 수 있는 연구가 이루어져야 할 것이며, 골반 안정성에 영향을 미칠 수 있는 다른 보행 변수와 근육을

고려할 필요가 있다고 사료된다.

REFERENCES

1. Hoy D, Bain C, Williams G et al. A systematic review of the global prevalence of low back pain. *Arthritis Rheum.* 2012;64(6):2028-37.
2. O'Sullivan PB. Lumbar segmental 'instability': clinical presentation and specific stabilizing exercise management. *Man Ther.* 2000;5(1):2-12.
3. Shiri R, Karppinen J, Leino-Arjas P et al. The association between obesity and low back pain: a meta-analysis. *Am J Epidemiol.* 2010;171(2):135-54.
4. Kang JI, Choi HJ. The effect of pelvic stability exercise program on pain and hip joint of patients with chronic low back pain involving sacroiliac joint pain. *J Digit Converg.* 2013;11(4):331-8.
5. Lee H, Kim H, Kim H et al. The effects of trunk stability education in pelvic stabilization. *J Korean Soc Integr Med.* 2013;1(4):57-66.
6. Frigo C, Pavan EE, Brunner R et al. A dynamic model of quadriceps and hamstrings function. *Gait Posture.* 2010;31(1):100-3.
7. Jeon H, Noh D, Kim S et al. Effect of the muscle activity of each quadriceps femoris muscle according to walking on the wearable inertial sensor measurements. *Kor Soc Mechanical Engineers Spring Autumn Conf.* 2020: 1622.
8. Janda V. *Muscles and motor control in low back pain: assessment and management.* New York, Churchill Livingstone, 1987:253-78.
9. Tashiro Y, Hasegawa S, Nishiguchi S et al. Body characteristics of professional Japanese keirin cyclists: flexibility, pelvic tilt, and muscle strength. *J Sport Sci.* 2016;4:341-5.
10. Ajimsha M, Daniel B, Chithra S et al. Effectiveness of myofascial release in the management of chronic low back pain in nursing professionals. *J Bodyw Mov Ther.* 2014;18(2):273-81.
11. Robertson VJ, Baker KG. A review of therapeutic ultrasound: effectiveness studies. *Phys Ther.* 2001;81(7):1339-50.
12. Winters MV, Blake CG, Trost JS et al. Passive versus active stretching of hip flexor muscles in subjects with limited hip extension: a randomized clinical trial. *Phys Ther.* 2004;84(9):800-7.
13. Beardsley C, Škarabot J. Effects of self-myofascial release: a systematic review. *J Bodyw Mov Ther.* 2015;19(4):747-58.
14. Cheon HJ. The effects of self-myofascial release therapy with foam roller on the balance of patients with DOMS. *Arch Orthop Sports Phys Ther.* 2017;13(2):55-64.
15. Cheatham SW, Stull KR. Comparison of three different density type foam rollers on knee range of motion and pressure pain threshold: a randomized controlled trial. *Int J Sport Phys Ther.* 2018;13(3):474.
16. Cheatham SW, Kolber MJ, Cain M et al. The effects of self-myofascial release using a foam roll or roller massager on joint range of motion, muscle recovery, and performance: a systematic review. *Int. J Sports Phys Ther.* 2015;10(6):827.
17. Alonso-Calvete A, Lorenzo-Martínez M, Padrón-Cabo A et al. Does vibration foam roller influence performance and recovery? A systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2022;8(1):1-10.
18. Delisle A, Gagnon M, Sicard C. Effect of pelvic tilt on lumbar spine geometry. *IEEE Trans Rehabil Eng.* 1997;5(4):360-6.
19. Gajdosik RL, Albert CR, Mitman JJ et al. Influence of hamstring length on the standing position and flexion range of motion of the pelvic angle, lumbar angle, and thoracic angle. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1994;20(4): 213-9.
20. Lim JH, Park CB, Kim BG et al. The effects of vibration foam roller applied to hamstring on the quadriceps electromyography activity and hamstring flexibility. *J Exerc Rehabil.* 2019;15(4):560-5.
21. López-Miñarro P, Muñoz J, Belmonte F et al. Acute effects of hamstring stretching on sagittal spinal curvatures and pelvic tilt. *J Hum Kinet.* 2012; 31(2012):69-78.
22. Monaghan K, Delahunt E, Caulfield B. Ankle function during gait in patients with chronic ankle instability compared to controls. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2006;21(2):168-74.
23. Sangeux M, Peters A, Baker R et al. Hip joint centre localization: evaluation on normal subjects in the context of gait analysis. *Gait Posture.* 2011; 34(3):324-8.
24. Lee EH. *Foam roller Home Pilates.* Seoul, Cheongrim life Publishing, 2017;12.
25. Shin JM. The effect of suppressing arm swing and walking speed on thigh, pelvis and thorax during human walking. *J Sport Leis Stud.* 2012; 49(2):761-72.
26. Cheatham SW, Stull KR. Roller massage: comparison of three different surface type pattern foam rollers on passive knee range of motion and pain perception. *J Bodyw Mov Ther.* 2019;23(3):555-60.
27. Hughes GA, Ramer LM. Duration of myofascial rolling for optimal recovery, range of motion, and performance: a systematic review of the literature. *Int J Sports Phys Ther.* 2019;14(6).
28. Celestre PC, Dimar JR, Glassman SD. Spinopelvic parameters: lumbar lordosis, pelvic incidence, pelvic tilt, and sacral slope: what does a spine surgeon need to know to plan a lumbar deformity correction? *Neurosurg Clin N Am.* 2018;29(3):323-9.
29. Takahashi S, Hoshino M, Ohyama S et al. Relationship of back muscle and knee extensors with the compensatory mechanism of sagittal alignment in a community-dwelling elderly population. *Sci Rep.* 2021;11(1):2179.
30. Lee LW, Kerrigan DC, Della Croce U. Dynamic implications of hip flexion contractures. *Am J Phys Med Rehabil.* 1997;76(6):502-8.
31. Christiansen CL. The effects of hip and ankle stretching on gait function of older people. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008;89(8):1421-8.
32. Cristopoliski F, Sarraf TA, Dezan VH et al. Transient effect of flexibility exercises in the hip joint on the gait of older women. *Rev Bras Med Esporte.* 2008;14:139-44.
33. DiBenedetto M, Innes KE, Taylor AG et al. Effect of a gentle iyengar yoga program on gait in the elderly: an exploratory study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86(9):1830-7.
34. Watt JR, Jackson K, Franz JR et al. Effect of a supervised hip flexor stretching program on gait in elderly individuals. *PM R.* 2011;3(4):324-9.
35. Lee CL, Chu IH, Lyu BJ et al. Comparison of vibration rolling, nonvibration rolling, and static stretching as a warm-up exercise on flexibility, joint proprioception, muscle strength, and balance in young adults. *J Sport Sci.* 2018;36(22):2575-82.
36. Colloca CJ, Keller TS. Active trunk extensor contributions to dynamic posteroanterior lumbar spinal stiffness. *J Manip Physiol Ther.* 2004;27(4): 229-37.
37. Behm DG, Alizadeh S, Daneshjoo A et al. Potential effects of dynamic stretching on injury incidence of athletes: a narrative review of risk fac-

- tors. 2023;1-15.
38. Lin WC, Lee CL, Chang NJ. Acute effects of dynamic stretching followed by vibration foam rolling on sports performance of badminton athletes. *J Sports Sci Med.* 2020;19(2):420-8.
39. Proske U, Gandevia SC. The proprioceptive senses: their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiol Rev.* 2012;92:1651-97.
40. Gullett JC, Tillman MD, Gutierrez GM et al. A biomechanical comparison of back and front squats in healthy trained individuals. *J Strength Cond Res.* 2009;23(1):284-92.
41. Neumann DA. *Kinesiology of the musculoskeletal system.* 2nd ed. Seoul, Bub Mun Publishing Company, 2011:538-41.