폼롤러를 이용한 자가근막이완이 인체근막시스템과 심혈관계기능에 미치는 영향에 대한 고찰

이천옥¹ MS, 이세원² PhD

¹인천대학교 대학원 체육학과, ²인천대학교 체육학부 및 스포츠 과학연구소

A Literature Review of the Effects of Self-Myofascial Release with a Foam Roller on Human Fascial System and Cardiovascular Function

Cheonok Lee¹ MS, Sewon Lee² PhD

¹Department of Human Movement Science, Incheon; ²Division of Sport Science & Sport Science Institute, Incheon National University, Incheon, Korea

PURPOSE: Self-myofascial release (SMR) using a foam roller is a popular intervention used to improve flexibility and restore skeletal muscles, fascia, tendons, ligaments and soft-tissue extensibility. However, the mechanism about the effects of SMR on flexibility, delayed onset of muscle soreness and arterial stiffness has not been elucidated. The purpose of this review is to provide basic knowledge for the mechanism about the effects of SMR from a functional and anatomical perspective.

METHODS: In this review, we summarized previous studies investigating the effects of SMR which were associated with the human fascial system on flexibility, delayed onset of muscle soreness, arterial stiffness and autonomic nervous system (ANS).

RESULTS: SMR with a foam roller can improve flexibility by increasing blood flow and circulation to the soft tissues. Foam rolling-related mechanisms to increase range of motion or reduce pain include the activation of cutaneous and fascial mechanoreceptors and interstitial afferent nerves that modulate sympathetic/parasympathetic activation as well as the activation of global pain modulatory systems and reflex-induced reductions in muscle and myofascial tone. In addition, SMR with a foam roller may improve arterial stiffness, which was associated with increased circulating level of nitric oxide induced by elevated shear stress on the walls of the blood vessel.

CONCLUSIONS: SMR using a foam roller improves flexibility by relaxing tension in skeletal muscles or fascia and may help to improve arterial stiffness and the function of the ANS. We suggest that SMR using a foam roller may help to reduce the risks of cardiovascular disease as a new alternative method.

Key words: Human fascia system, Foam roller, Flexibility, Arterial stiffness, Cardiovascular risk factor

서론

현대인들은 컴퓨터와 스마트폰의 과도한 사용 등으로 일상생활 또는 업무에서 잘못된 자세를 장시간 유지하고, 비정상적인 움직임과 반

복적인 패턴은 인체의 중심축과 균형을 무너뜨려 그 결과 유연성의 감소 및 운동 제한 등의 근골격계 불균형과 기능 장애가 발생한다[1-4]. 통계청 자료에 따르면 우리나라 국민의 근골격계 및 결합조직의 질환이 2010년에 비해 2018년에 26.3% 증가하였다[5]. 세계보건기구(World

Corresponding author: Sewon Lee Tel +82-32-835-8572 Fax +82-32-835-0788 E-mail leeseuw@inu.ac.kr

*This study was supported by Incheon National University Research Grant in 2020.

Keywords 근막 시스템, 폼롤러, 유연성, 동맥경직도, 심혈관 위험 요소

Received 2 Nov 2020 **Revised** 17 Nov 2020 **Accepted** 18 Nov 2020

© This is an Open Access article distributed 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.

Health Organization)는 근골격계 질환(musculoskeletal disorders)을 무리한 힘의 사용, 반복적인 동작, 부적절한 작업 자세, 진동 및 온도 등의 요인으로 인해 신체 조직이 손상되어 골격근육(skeletal muscle), 힘줄(tendon), 인대(ligament), 관절(joint), 말초신경(peripheral nerve), 혈관(blood vessel)에 영향을 미치는 광범위한 염증 및 퇴행성 질환이라고 정의하였다[6,7].

근골격계 불균형에 의해 결합조직이 손상되어 염증, 통증수용기 활성화, 근막 및 근육의 긴장도 증가, 근경련 등이 발생한다. 이러한 결과 근막, 근육, 건, 인대, 관절, 연부조직(soft tissue) 등이 유착되어 압통점이 형성되고 탄력성이 정상범위 이하로 떨어진다[8]. 압통점과 탄력성 감소는 움직임 패턴에 영향을 주어 관절의 기능 장애와 고유수용감각 저하를 일으키고, 이를 개선하기 위해 근방추(muscle spindle), 골지건기관(golgi tendon organs) 및 기계적수용기(mechanoreceptors)의 기능 회복을 촉진시키는 다양한 치료 방법들이 제시되고 있다[9,10].

이러한 치료 방법 중 하나인 폼롤러를 이용한 자가근막이완(self-myofascial release) 기법은 치료사가 아니라 자신이 신체의 일부분을 폼롤러에 접촉시킨 후, 천천히 앞뒤로 움직여서 발생된 압력과 마찰을 통해 손상되거나 수축된 근육 및 근막을 이완시키는 치료 방법이다[11]. 폼롤러를 이용한 자가근막이완 기법은 수축된 근막을 치료하고 골격근, 건, 인대, 관절 그리고 연부조직의 확장성(extensibility)을 회복시키는데 널리 사용되고 있다[12]. 선행연구들에 의하면 6개월간 엉덩이 굽힘관절(hip flexor)의 굽힘이 90° 미만인 40명에게 정적 스트레칭과 폼롤러 운동을 처치하였을 때, 폼롤러 운동이 유연성 증가에 효과적이었다고 보고하였으며, 근육의 압력 감소, 통증역치 증가, 근육의 기능과 수행능력을 향상시킨다고 보고하였다[13,14]. 다른 연구에서는 운동 전후 폼롤러를 이용하여 근육이완을 수행한 결과 근막이완과 근긴장 감소로 인한 근육통의 감소가 나타났다[15]. 폼롤러를 이용한 자가근막이완 기법은 골격근육의 불균형을 교정하고, 골격근의 정상적인 가동범위를 유지하는데 도움이 된다[16]. 또한, 자가근막이완 기법은 자율신경계에 영향을 미쳐 감정적 또는 육체적 스트레스를 완화시킴으로써 혈관 확장, 근수축력 증가, 관절 가동범위 증가 등을 일으킬 수 있다[17-19]. 한 선행연구에서는 건강한 10명의 참가자들에게 30분간 폼롤러 운동을 중재하였을 때 말초동맥경직도가 감소하고 혈중 산화질소(nitric oxide, NO) 농도 증가로 인한 혈관내피세포기능(vascular endothelial function) 향상이 보고되었다[20].

유연성은 근력, 심폐지구력 함께 건강체력의 주요한 구성요소 중 하나이며, 전통적으로 일상생활의 활동 수행능력을 결정하는 요소로 사용되어 왔다[21]. 동맥경직도(arterial stiffness)는 노화에 따라 점진적으로 증가하고, 심혈관계 질환 및 사망률에 대한 독립적인 위험인자로 알려져 있다[22,23]. 최근의 연구에서는 심폐기능 및 근력과 무관하게 나이와 성별에 따른 유연성과 동맥경직도의 정적인 상관관계를 보고하

였다[24].

폼롤러를 이용한 자가근막이완 기법의 여러 효과에 대해서 많은 선행연구가 이루어졌으나, 자가근막이완 기법의 효과를 근막의 구조와 특성 그리고 그와 연결된 메커니즘을 기능해부학적인 관점에서 설명한 연구는 매우 부족한 실정이다. 이에 본 종설(review)에서는 폼롤러를 이용한 자가근막이완 기법의 효과를 기능해부학적인 관점에서 근막 시스템과 연결된 메커니즘으로 설명하고자 한다. 또한, 폼롤링으로 증가된 유연성이 동맥경직도와 자율신경계에 미치는 영향에 대한 선행연구를 비교분석하고, 이를 통해 폼롤러를 이용한 자가근막이완이 심혈관계 질환 예방의 새로운 대안이 될 수 있는지에 대해 고찰하고자 한다.

본 론

1. 기능해부학적인 관점에서의 근막의 구조와 특성

근막 시스템은 전신에 걸쳐 모든 근육, 기관(organ), 샘(gland), 혈관, 세포(cell)를 감싸고 있는 3차원적인 연결조직이다[25]. 근막(myofascia)은 인체 전체에 거미줄과 같이 연결되어 서로 기능적으로 영향을 미치고, 근육조직(muscle tissue, myo)과 근육조직을 감싸고 있는 근막조직(fascia)이 한 덩어리를 이루고 있어 분리될 수 없다는 특성을 가지고 있다[25]. 근막은 매우 강하지만 유연한 성질을 가지고 있고, 각 층들(layers)은 지방조직(adipose tissue)으로 구성된 얇은 층에 의해 분리된다. 근막의 층은 수많은 콜라겐 섬유다발(collagen fiber bundles)이 평행한(parallel) 방향으로 구성되어 있고, 각각의 층은 서로 다른 방향을 향하고 있다[26,27]. 근막은 외부에서 가해진 기계적 에너지(strain)를 전기적 에너지로 변환시키는 압전효과(piezoelectric effects)를 나타내고, 물의 함량 변화에 따라 경직성(stiffness)이 변화하고, 신경종말(nerve endings)이 풍부하게 분포되어 있으며, 많은 기계적수용기를 포함하고 있다[28-30]. 근막은 근골격계의 전반적인 생체에너지를 조절하고, 힘 전달에 관여할 수 있고, 근육처럼 수축할 수 있으며, 염증이 생기면 통증을 유발할 수도 있다[26,29,31,32]. 근막은 기본적으로 표층근막(superficial fascia), 심층근막(deep fascia), 근육과 관련된 층(epi-, peri- and endo-mysium)으로 나뉘어 진다[33]. 표층근막은 콜라겐 섬유(collagen fiber)와 엘라스틴 섬유(elastin fiber) 그리고 표층지방조직(superficial adipose tissue)으로 구성되고, 체온조절, 림프순환, 혈액순환 그리고 피부 감각과 관련이 있다[27]. 심층근막은 모든 근육을 둘러싸는 결합막에 의해 형성되고, 지방이 없고 신경과 혈관, 다양한 장기와 내분비샘을 감싸고 있다. 심층근막은 고유수용성(proprioception)과 말초운동협응성(peripheral motor coordination)과 관련이 있다[27]. 근외막(epi-mysium)은 각각의 근육을 감싸는 근막으로 이루어져 있고 근주막(perimysium)과 근내막(endomysium)으로 세분화되어 근방추와 골지

건기관 사이의 긴장을 조절하는 역할을 한다[30].

기능해부학적인 관점에서 보면 골격근과 건, 인대는 서로 연결되어 근막의 연속성(myofascial continuity)을 보이고, 뼈의 주변부에 있는 근막을 통해 움직임과 긴장을 전달하는 특성을 보인다[25]. 근육들은 서로 독립적으로 작용할 수도 있고, 전신의 결합조직체계에 서로 영향을 주고 받을 수도 있으며, 근막경선(myofascial meridians)을 따라 긴장(tension), 고착(fixation), 비틀림(strain), 보상작용(compensation) 등이 발생한다[27]. 근막은 인체의 구성조직들을 결합시켜 하나의 연속체로서 조직과 기관 사이의 운동과 영양공급 과정이 잘 이루어 지도록 운할작용을 하고, 혈관, 지방세포, 감각수용기, 정맥과 림프순환 등 중추신경계로의 의식적, 무의식적 피드백을 지속적으로 수행할 수 있게 한다[34].

근막의 긴장도 증가는 근육의 통증과 부종을 증가시키고, 근육과 관절의 기능을 감소시키며, 혈액순환을 방해하고 근섬유의 과활동성 반사로 인해 추가적인 특발성 근긴장(muscle tone)을 일으킨다[35]. 또한, 근막의 과사용(overuse)에 의한 손상으로 유착되어 근육이 두꺼워지고 굳어져 생기는 근막 통증유발점(myofascial pain point)은 지속적인 물리적 스트레스나 근세포막의 손상에 의해 격렬한 통증과 피로감을 동반하기도 한다[36]. 염증반응으로 인해 유착된 섬유들은 관절 가동범위, 골격근육의 길이, 근력감소, 근신경계의 과긴장성(hypertonicity)등으로 인한 정상적인 골격근의 기능을 제한하고 연부조직의 탄성을 감소시킨다[37,38]. 결국 이것은 조직의 정상적인 유연성에 변화를 일으키고 계속적으로 발생하는 보상작용은 골격근육의 불균형과 함께 잠재된 손상을 가져온다[38].

2. 폼롤러를 이용한 자가근막이완의 효과와 메커니즘

근골격계 질환은 근육, 힘줄, 인대, 신경 및 추간판 등과 같은 인체 구조물이 손상되어 발생하는 질환으로 일회성 외상으로 인한 원인보다는 특정 신체 부위의 반복적인 사용으로 생긴 생체역학적 스트레스가 일으킨 미세한 외상의 누적으로 인해 유발되는 것으로 알려져 있다[39,40]. 근골격계 질환은 경추부터 발목관절에 이르기까지 다양한 부위에서 발생하며, 신체의 균형, 움직임 등에 관여하는 수용기인 고유수용감각 기능 저하를 유발한다[41]. 고유수용감각 기능 저하는 신체의 감각운동 조절, 균형, 골격근의 경직 조절, 관절 안정성, 협응력 등의 저하를 초래하게 된다[42]. 특히 통증, 관절 내 부종(edema), 근피로(muscle fatigue), 외상(truma)은 고유수용감각 기능의 빠른 기능 저하를 유도하고, 치료 후에도 고유수용감각 기능 회복속도를 감소시켜 재손상의 위험성을 증가시키게 된다[42].

최근 스포츠 현장에서 근골격계 질환의 예방과 운동 전후 수행능력 향상, 피로, 부상 방지를 위한 중재 방법으로 폼롤러를 이용한 자가근막이완 기법이 널리 사용되고 있다[14,43-45]. 폼롤러를 이용한 자가근

막이완은 재생 및 회복에 중점을 둔 치료적인 기법으로 전신의 근육을 롤링, 압박하여 연부조직에 생성된 압력을 통해 빼내, 근육 및 결합조직의 기능부전을 개선할 수 있다[43]. 지금까지 보고된 자가근막이완의 효과는 유연성 증가, 가동성 향상, 조직 사이의 유착(adhesion) 및 반흔조직(scar tissue) 감소, 근육불균형 교정, 근육경련 감소, 통증 감소, 동맥경직도 감소, 혈류공급 증가, 부교감신경 활성화 증가, 혈관내피 세포 기능 향상, 근육긴장 이완, 근육경직도 감소 등이 있으며, 이러한 효과는 인체의 다양한 기관에 일시적 및 장기적 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[13,14,20,37].

폼롤러를 이용한 자가근막이완 기법의 효과 중 유연성 및 관절 가동범위의 증가가 가장 잘 알려져 있다[13,46,47]. 선행연구들을 살펴보면 일시적 효과와 장기적 효과 두 가지로 분류할 수 있는데, 먼저 일시적 효과에 대한 연구를 살펴보면 다음과 같다. MacDonald et al. [37]의 연구에서 11명의 건강한 남성을 대상으로 1분씩 2회 폼롤링을 하였을 때 무릎 펴관절 가동범위가 유의하게 증가하였고, Škarabot et al.은 청소년 11명을 대상으로 폼롤링을 30초씩 3회 실시했을 때 발목 가동범위의 유의한 증가를 보고하였으며, Roylance et al.은 27명의 건강한 대학생을 대상으로 2분간 폼롤링을 중재하였을 때 sit-and-reach score가 증가하였다고 보고하였다[48,49]. 또한 Souza et al. [46]은 젊은 성인 남성을 대상으로 한 연구에서 발목과 엉덩이 굽힘관절 가동범위의 증가를 보고하였고, Krause et al. [47]도 젊은 성인 남성의 무릎 굽힘관절 가동범위 증가를 보고하였다. 하지만 Peacock et al. [43]의 연구에서는 11명의 다양한 종목의 선수들을 대상으로 30초씩 1회 폼롤링을 처치하였을 때 힘, 민첩성, 속도 등의 수행능력이 증가하였으나 5분간의 동적 스트레칭을 실시한 그룹과 sit-and-reach score의 차이를 나타내지 않았고, Laffaye et al. [50]은 젊은 남성을 대상으로 한 연구에서 발목과 무릎관절의 가동범위에 차이가 나타나지 않았으나 지연성근통증(delayed onset of muscle soreness, DOMS)은 감소하였다. 만성적 효과에 대한 연구로 Mohr et al. [13]은 1분씩 3회 2주간 6세션을 실시하였을 때 엉덩이 굽힘관절 가동범위가 증가하였고, Bushell et al. [51]은 1분씩 3회 1주일 운동중재를 실시하였을 때 고관절 펴관절 가동범위가 유의하게 증가하였다고 보고하였다. 그러나 Miller et al. [52]의 연구에서 23명의 건강한 대학생을 대상으로 1분씩 3회 8주간 24세션을 실시하였을 때 엉덩이 굽힘관절 가동범위에 유의한 변화가 나타나지 않았다. 선행연구를 참고하여 폼롤링 방법, 기간, 근육 부위 등에 따른 유연성과 관절 가동범위에 대한 효과를 Table 1에 요약 제시하였다.

폼롤러를 이용한 자가근막이완 기법이 유연성과 관절 가동범위의 향상에 유의한 효과를 나타내는 메커니즘은 근막 유착 모델과 신경생리학적 모델로 설명할 수 있다. 먼저 근막 유착 모델을 살펴보면, 근막의 제한(fascial restrictions)은 종종 근막조직의 탄력 감소와 탈수(dehydration)현상으로 인한 부상, 질병, 비활동(inactivity) 또는 염증에 반

Table 1. Acute and chronic effects of self-myofascial release on flexibility

Study author	Exercise type	Exercise protocol	Target muscles	Flexibility measurement	Alteration in ROM	Reference
Bushell et al., 2015	Chronic 1 week	3 bouts for 1 min	Hip flexors and quadriceps	Dynamic lunge position	↑	[51]
Krause et al., 2017	Acute	2 bouts for 1 min	Anterior thigh	Knee flexion ROM	↑	[47]
Laffaye et al., 2019	Acute	2 bouts for 1 min	Hip and knee flexors	Ankle or knee flexion ROM	=	[50]
MacDonald et al., 2013	Acute	2 bouts for 1 min	Quadriceps	Knee extension ROM	↑	[37]
Miller et al., 2006	Chronic 8 weeks (24 sessions)	3 bouts for 1 min	Hamstrings	Hip flexion ROM	=	[52]
Mohr et al., 2014	Chronic 2 weeks (6 sessions)	3 bouts for 1 min	Hamstrings	Hip flexion ROM	↑	[13]
Peacock et al., 2014	Acute	1 bout for 30 sec	Various	Sit-and-reach test	=	[43]
Roylance et al., 2013	Acute	2 min (estimated)	Various	Sit-and-reach test	↑	[48]
Škarabot et al., 2015	Acute	2 bouts for 30 sec	Plantar flexors	Weightbearing lunge test	↑	[49]
Souza et al., 2019	Acute	a short-term 2×10 repetitions, a long-term 2×20 repetitions	Posterior thigh and calf	Ankle dorsiflexion and hip flexion ROM	↑	[46]

ROM, Range of motion; ↑, increase; =, no change.

응하여 발생한다[53]. 상처를 입은 근막이 서로 달라붙는 섬유 유착(fibrous adhesion)은 통증, 신경 과활성화와 관절 가동범위, 근육길이, 연부조직의 확장성 감소 등을 일으킨다[53]. 폼롤링은 연부조직에 직접적인 압력을 가하여 조직을 스트레칭 시키고, 몸의 연부조직과 폼롤러 사이에 마찰을 일으킨다. 이때 발생하는 마찰은 근막에 열을 발생시켜 근막을 구성하는 콜라겐과 엘라스틴이 보다 유동적인 상태로 변화하도록 유도하여, 근막 층 사이의 섬유 유착을 완화하고 연부조직의 확장성을 회복시킴으로써 유연성과 관절 가동범위를 향상시킬 수 있다[37]. 신경생리학적 모델을 설명하면, 고유수용기 및 기계적수용기 자극에 의한 신경계의 변화가 이러한 반응을 조정하는 것으로 보인다. 고유수용기인 골지건기관이 자극을 받으면 자가억제(auto-genic inhibition)를 유발하여 해당 근육의 운동단위 흥분을 감소시키고 이로 인해 근육의 장력이 감소된다는 견해이다[54]. 또한, 근막에서 발견되는 기계적수용기인 루피니 및 파시니소체(Ruffini and Pacini corpuscles)가 폼롤링으로 발생한 압력을 감지하고, 이러한 자극이 신전반사의 전기적 신호인 H반사(Hoffmann's reflex)억제를 야기하여 알파운동뉴런의 흥분성 감소 및 억제로 이어진다. 즉, 기계적수용기 자극에 의한 중추신경계의 억제가 근긴장도를 감소시켜 유연성과 관절 가동범위를 증가시킨다는 주장이다[26].

폼롤러를 이용한 자가근막이완 기법의 또 다른 효과는 근막통증(myofascial pain) 감소와 DOMS 완화이다[44,55]. 근막통증은 근막통 유발점(myofascial trigger point)에 의해 유발되는 감각신경, 운동신경, 그리고 자율신경계에 나타나는 증상이다. 근막통 유발점은 단단띠(taut band) 내의 민감한 결절로서, 압박 시 특징적인 통증과 연관통, 운동 및 자율신경계 이상을 일으킨다[54]. 또한 DOMS는 근력 운동을

부적절 또는 과도하게 하였을 경우 발생하고 운동 후 24시간 이내에 점점 증가하여 24-72시간 사이에 가장 심해지며 이후 점차 통증이 약화되는 증상을 의미하며, 스포츠 손상 중 가장 흔한 형태이면서 반복적으로 발생하는 운동상해 유형이다[56]. 이에 대한 대처가 적절치 못할 경우 만성통증으로 이어지거나 관절 가동범위 감소 등으로 골격근 성장에 지장을 줄 수 있다[57]. DOMS의 발생 기전으로는 여러 요인들이 제시되고 있는데 대표적으로 젖산 침착, 근육 연축, 결합조직이나 근육조직 손상, 염증 등이 있다[58]. 결합조직 손상 모델의 경우, 근육의 연결 혹은 뼈 등과의 결합부위에 형성되는 부분에 과도한 염착(distortion)가 발생하는 경우 근육통증으로 이어질 수 있으며, 미세한 근경련의 축적으로 인해 연부조직에 유착이 형성되고, 이러한 유착이 탄력성을 감소시켜 운동범위의 감소를 유발하거나 부상의 위험을 높일 수 있다고 설명하고 있다[37,58]. 한편 근육 손상 모델의 경우, 원심성 운동(eccentric exercise)시 근조직의 수축 상황에서 부분파열이 발생하는데, 이때 히스타민(histamine), 브라디키닌(bradykinin) 등과 같은 염증전달물질이 방출되어, 근육 내 삼투압 증가와 구심성 신경섬유 활성화를 일으키고, 그로 인한 통증이 중추신경계에 전달되면서 DOMS가 발생한다고 보고하고 있다[58]. 근막통증이나 DOMS 감소에 대한 폼롤러를 이용한 자가근막이완 기법의 효과에 대한 선행연구로는 MacDonald et al.이 one-repetition maximum (1 RM)의 60%의 강도로 스쿼트 10세트를 실시한 후, 60초씩 2회의 폼롤링을 처치하였을 때 Numerical rating scale of pain가 각각 24, 48, 72시간 이후에 유의하게 감소하였다고 보고하였다[55]. 또한 Pearcey et al. [14]은 8명의 건강한 남성을 대상으로 1 RM의 60%의 강도로 스쿼트 10세트를 실시한 후 60초씩 2회의 폼롤링을 처치하였을 때 Pressure-pain threshold가 24, 48, 72

시간 이후에 유의하게 감소하였고, Jay et al. [59]은 22명의 일반인에게 케틀벨을 이용한 스티프 데드리프트(stiff-legged deadlifts with a kettlebell) 10회씩 10세트를 실시한 후 10분간 자가근막이완을 실시하였을 때 Visual analogue scale와 Pressure-pain threshold가 48시간에서 유의하게 감소하였다고 보고하였다.

이러한 효과는 폼롤링을 실시할 때 발생하는 압력이 직접적으로 근육 조직 내 위치하는 혈관의 확장을 유도하여 산소와 영양분을 공급함으로써 조직의 회복을 유도할 수 있고, 국소부위의 염증 매개물질의 방출을 촉진시키고 근육 내 삼투압을 감소시켜 통증을 감소시킨다고 설명할 수 있다[14,60]. 또한, 척수신경계에서 크고 주요한 원심성 신경섬유를 스트레칭 시켜 3차 신경섬유로의 통증 전달을 느리게 만들어 척수의 통증 피드백을 억제함으로써 통증이나 DOMS를 감소시킬 수 있다[61]. 선행연구에 제시된 폼롤링 방법, 기간, 근육부위 등에 따른 근육통증과 DOMS에 대한 효과를 Table 2에 요약 제시하였다.

3. 폼롤러를 이용한 자가근막이완으로 인한 유연성 증가

동맥경직도 및 자율신경계에 미치는 영향

유연성은 근력, 심폐지구력 함께 건강체력의 주요한 구성요소 중 하나이며, 동맥경직도(arterial stiffness)는 심혈관계 질환 및 사망률에 대한 독립적인 위험인자로 알려져 있다[21,23]. 또한, 심박변이도(heart rate variability, HRV)는 비침습적으로 교감신경과 부교감신경의 균형을 조정하는 자율신경계 기능을 대변하는 유용한 지표로 사용되고 있다[62].

선행연구에서 중년 및 노인 그룹에서 유연성이 감소할수록 동맥경직도가 증가하였고, 몸통 유연성(trunk flexibility)은 심폐기능 및 근력과 무관하게 나이와 관련된 동맥경직도와 상관관계가 나타난다고 보고하였다[21,24]. 따라서 동맥경직도의 나이에 따른 증가는 동일한 개인에게 나이에 따른 유연성 감소와 비슷한 양상으로 나타난다[21]. 이전에 제시한 바와 같이, 폼롤러를 이용한 자가근막이완은 근육과 근막의 긴장을 낮추어 근육, 힘줄, 인대, 근막의 유연성을 향상시키므로 [13], 폼롤러를 이용한 자가근막이완으로 향상된 유연성은 동맥경직도 감소 효과를 기대할 수 있을 것이다. 이에 관한 선행연구를 살펴보면, Okamoto et al. [20]은 건강한 청년 10명을 대상으로 폼롤링을 30분 동안 실시한 후 brachial-ankle pulse wave velocity로 측정한 말초동맥경직도가 감소하였고, 이는 NO 증가를 통한 혈관내피세포-의존성 혈관 확장(endothelium-dependent vasorelaxation) 기능 향상을 통해 개선되었다고 제시하였다. 또한, Ketelhut et al.은 최근 연구에서, 건강한 젊은 성인에게 폼롤링을 30분 동안 실시한 후 수축기 혈압(systolic blood pressure, SBP), 이완기 혈압(diastolic blood pressure, DBP) 및 말초저항(peripheral resistance)과 Augmentation pressure (AP)가 유의하게 감소하였으며, Arroyo et al.은 62명의 성인남녀를 대상으로 30초간 윈게이트(Wingate) 운동을 실시 후 실험집단에 근막이완요법을 적용한 결과, HRV index가 안정 시 수준으로 유의하게 감소하여 부교감신경 활성화 회복에 긍정적인 영향과 함께 DBP를 포함한 여러 심혈관계 기능을 향상시킨다는 것을 발견하였다[63,64]. Lee et al. [65]은 비만 여자대학생을 대상으로 8주간의 자가근막이완 운동을 실시하였을 때 SBP와 파

Table 2. Acute effect of self-myofascial release on delayed onset of muscle soreness (DOMS)

Study author	Exercise protocol	Subjects	Protocols inducing DOMS	Measurement	Alteration in symptoms	Reference
Cheatham et al., 2017	2 min per exercise	Healthy young males and females	No intervention	PPT	↓	[15]
D'Amico et al., 2020	60-sec per exercise	Healthy young males and females	a session of 40 × 15 meter sprints	gLMS, VAS	↓	[19]
Jay et al., 2014	10 min per exercise	Healthy young males	10 sets of 10 repetitions of stiff legged deadlifts with a kettlebell	VAS for pain PPT at 48 hr	↓	[59]
Laffaye et al., 2019	2 bouts for 60-sec per exercise	Healthy young males	2 sets of 10 push-ups; 2 sets of 10 air squats; 2 sets of 5 squat jumps; and 2 sets of 5 hopping on the spot jumps, with a 30-s rest between series	VAS at 24, 48 hr	↓	[50]
MacDonald et al., 2013	2 bouts for 60-sec per exercise	Physically active, males with resistance training experience	10 sets of 10 repetitions of back squats with 60% of 1RM with 2 min of rest between each	BS-11 Numerical Rating Scale of pain at 0, 24, 48, and 72 hr	↓	[55]
Pearcey et al., 2015	20 min	Healthy young males	10 sets of 10 repetitions of back squats at 60% of their 1-repetition maximum	PPT at 24, 48, and 72 hr	↓	[14]
Romero-Moraleda et al., 2017	5 bouts for 60-sec per exercise	Healthy young males and females	100 drop jumps, 5 sets of 20 repetitions, separated by 2 min rests	NPRS	↓	[45]

DOMS, Delayed Onset of Muscle Soreness; gLMS, General labelled magnitude scale; NPRS, Numeric pain rating scale; 1RM, 1 Repetition Maximum; PPT, Pressure-pain threshold; VAS, Visual analogue scale; ↓, decrease.

형증가지수(augmentation index)가 유의하게 감소하여 혈관기능을 향상시켰다고 보고하였다. Lastova et al. [66]의 젊은 성인을 대상으로 한 연구에서 15분 동안 폼롤링을 한 후에 부교감신경의 활성을 나타내는 normalized high-frequency (nHF)가 증가하였고, 교감신경의 활성을 나타내는 normalized low-frequency (nLF)와 교감신경과 부교감신경의 활성 비율을 나타내는 nLF/nHF, SBP와 DBP의 감소가 나타났으나, 심박변이도를 나타내는 root mean square of successive R-R intervals (RMSSD)와 심박수는 변화가 없었다. Kim et al. [67]은 20대 여성을 대상으로 하이힐을 신고 1.2 m/s의 속력으로 30분간 트레드밀에서 걷은 후, 30분 동안 폼롤링을 처치한 결과 혈액에서 교감신경을 조절하는 코티졸(cortisol) 농도가 감소하였다고 보고하였다.

선행연구에 따르면 혈관과 근육, 근막은 엘라스틴-콜라겐으로 이루어진 결합조직으로 생리화적인 구성이 비슷하여 서로 밀접한 영향을 끼칠 수 있고, 동맥경직도는 동맥의 혈관 톤(tone)에 의해 결정되며 교감신경 활동에 의해 부분적으로 조절된다[17]. 폼롤링을 통해 발생한 기계적 스트레스는 전단응력(shear stress)을 발생시켜 혈류역학적 반응의 영향으로 혈관내피세포를 자극하여, NO 농도를 높여 혈관을 확장시킨다. 또한, 늘어난 근육섬유는 중추신경계를 통한 교감신경의 활성을 감소시키고 부교감신경의 활성을 향상시켜 동맥경직도의 감소를 일으킬 수 있다[20,68-70]. 이와 유사한 연구로, 근막이완 마사지 후에 부교감신경 활동 증가, 심박수 감소, 혈압 감소, 엔돌핀 수치 증가, 심박변이도 증가 등의 결과가 보고되었으며, 지속적인 스트레칭은 혈관내피세포에서 endothelial nitric oxide synthase mRNA 발현을 증가시켜 동맥경직도를 감소시킬 수 있다는 연구도 보고되었다[44,71]. 따라서 폼롤링을 이용한 자가근막이완은 근육과 근막의 긴장을 낮추고 유연성을 향상시켜 동맥경직도를 감소시키고 자율신경계 기능을 향상

시킬 수 있다. 선행연구를 참고하여 폼롤링 방법, 기간, 근육부위 등에 따른 동맥경직도, 자율신경계에 대한 효과를 Table 3에 요약 제시하였다.

결론

본 종설에서는 스포츠 현장과 병원 등에서 널리 쓰이고 있는 폼롤러를 이용한 자가근막이완 기법의 다양한 효과에 대한 선행연구를 분석하여 기능해부학적인 관점에서 근막 시스템과 연결된 메커니즘을 고찰한 결과 다음과 같이 요약정리 할 수 있었다.

근막은 인체의 모든 신경, 혈관, 근육섬유를 둘러싸고 있는 3차원적인 결합조직으로 동맥, 정맥, 모세혈관, 고유수용기와 신경 등이 각각의 층에 위치해 있으며, 지방세포와 수분, 히알루론산 등의 물질과 근섬유의 비율에 따라 움직임에 영향을 받는다[27,30,72]. 근막의 기능은 인체의 구성조직들을 결합시켜 신체를 정상적 형태로 보존해주며 혈관, 지방세포 및 감각수용기, 정맥과 림프순환 등 중추신경계로의 피드백을 지속적으로 수행할 수 있게 하고 근골격계의 생체역학에 전반적으로 관여한다[26,29,32,34]. 근막의 긴장도 증가는 근육의 통증과 부종을 증가시키고, 근육과 관절의 기능을 감소시키며, 혈액순환을 방해하여 근육의 불균형과 손상을 가져온다[38,42]. 이로 인해 통증, 부종, 근피로, 외상, 고유수용감각 저하 등으로 근육, 힘줄, 인대, 신경 및 추간관 등에 손상을 일으키는 근골격계 질환이 발생할 수 있다[39-42].

근골격계 질환의 예방과 운동 수행능력 향상, 통증 완화 등을 위한 방법으로 폼롤러를 이용한 자가근막이완 기법이 널리 사용되고 있다[43]. 폼롤러를 이용한 자가근막이완은 전신을 롤링압박하여 연부조직에 생성된 압력을 통해 뼈대, 근육 및 결합조직의 기능부전을 해결하는 방법으로 지금까지 보고된 자가근막이완의 효과는 유연성 증가,

Table 3. Acute and chronic effects of self-myofascial release on arterial stiffness and autonomic nervous system

Study author	Exercise type	Exercise protocol	Subjects	Variables measured	Results	Reference
Arroyo et al., 2008	Acute	30 min	Healthy young males and females	HRV index, HF, DBP	HRV index ↓, HF ↓, DBP ↑	[63]
D'Amico et al., 2020	Acute	60- sec per exercise	Healthy young males and females	bfPWV, RMSSD	PWV =, RMSSD =	[19]
Ketelhut et al., 2020	Acute	30 min	Healthy male recreational athletes	SBP, DBP, AP, PR	SBP, DBP, AP, PR ↓	[64]
Kim et al., 2014	Acute	30 min	Healthy young females	Cortisol level	Cortisol level ↓	[67]
Lastova et al., 2018	Acute	10-repetitions per exercise	Healthy young males and females	HR, SBP, DBP, nHF, nLF, nLF/nHF, RMSSD	HR =, RMSSD, nHF ↑, nLF ↓, nLF/nHF ↓, SBP ↓, DBP ↓	[66]
Lee et al., 2020	Chronic 8 weeks (16sessions)	40 min	Obese female college students	SBP, DBP, Alx, FMD, PWV	SBP ↓ Alx ↓	[65]
Okamoto et al., 2014	Acute	30 min	Healthy young males and females	baPWV, Levels of plasma NO	baPWV ↓ NO ↑	[20]

Alx, augmentation index; AP, augmentation pressure; baPWV, brachial-ankle pulse wave velocity; DBP, diastolic blood pressure; FMD, brachial artery vascular flow-mediated dilation; HR, Heart Rate; HRV, Heart Rate Variability; NO, Nitric Oxide; nHF, normalized high-frequency; nLF, nLF/nHF, ratio of nLF to nHF; PR, peripheral resistance; PWV, pulse wave velocity; RMSSD, root mean square of successive R-R intervals; SBP, systolic blood pressure; ↓, decrease; ↑, increase; =, no change.

유착 및 반흔조직 감소, 근육불균형 교정, 통증 감소, 동맥경직도 감소, 혈류공급 증가, 부교감신경 활성화 증가, 혈관내피세포 기능 향상 등이 있다[13,14,20,37].

폼롤러를 이용한 자가근막이완에 대한 선행연구에서는 폼롤링을 하였을 때 무릎 펴관절, 발목 관절, 엉덩이 굽힘관절 가동범위, sit-and-reach score가 유의하게 증가하였다고 보고하였다[43,48,49,73]. 이러한 유연성과 관절 가동범위의 향상은 폼롤링에 의해 근막에서 발생한 마찰열이 콜라겐과 엘라스틴을 유동적인 상태로 변화시켜, 근막 유착을 분해하고 연부조직의 확장성을 회복시킨다고 설명할 수 있다[37]. 신경생리학적으로는 고유수용기인 골지건기관을 자극시켜 유발된 자가억제가 해당 근육의 운동단위 흥분을 감소시켜 근육의 장력이 감소되고, 기계적수용기인 루피니, 파시니소체가 중추신경계의 억제를 통해 근긴장도를 감소시켜 유연성과 관절 가동범위를 증가시킨다고 설명할 수 있다[26,54].

폼롤러를 이용한 자가근막이완 기법의 또 다른 효과는 젖산 침착, 근육 연축, 결합조직이나 근육조직 손상, 염증 등에 의해 발생하는 근막통증과 DOMS 감소이다[14,37,58]. 이러한 효과는 폼롤링이 혈관의 확장을 유도하여 적절한 산소와 영양분을 공급함으로써 조직을 회복시키고 염증 물질을 방출시키며, 척수신경계에서 원심성 신경섬유를 스트레칭 시켜 척수의 통증 피드백을 억제함으로써 통증이나 DOMS를 감소시킬 수 있다고 설명할 수 있다[14,60,61].

폼롤러를 이용한 자가근막이완의 유연성 증가에 대한 효과는 이미 많은 선행연구에 의해서 알려져 있다. 최근의 한 연구에서 유연성과 동맥경직도가 강한 상관관계가 있다고 보고하였고, 다른 연구에서는 나성은 전 연령층에서 유연성과 동맥경직도의 상관관계가 있었으나, 여성은 젊은 여성과 중년 여성을 제외한 여성 노인 그룹에서만 상관관계를 보였다는 성별에 따른 차이를 보고하였다[21,74]. 폼롤링에 대한 선행연구에서, Okamoto et al. [20]은 말초동맥경직도 감소와 혈관내피세포 기능 향상을 보고하였고, Ketelhut et al. [64]은 SBP, DBP 및 심혈관계 기능 향상을 발견하였으며, Lastova et al. [66]은 SBP, DBP와 교감신경 활성화 감소와 부교감신경 활성화 증가 등 자율신경계 기능을 향상시킨다는 것을 발견하였다. 선행연구에 따르면 구조적으로 혈관과 근육, 근막은 엘라스틴-콜라겐으로 이루어진 결합조직으로 생리학적인 구성이 비슷하고 서로 밀접한 영향을 미치며, 동맥경직도는 자율신경계에 의해 조절된다[18]. 폼롤링을 통해 발생한 기계적 스트레스는 혈관내피세포에서 생성되는 NO 농도를 높여 혈관을 확장시키고, 늘어난 근육섬유는 교감신경 활성화 감소와 부교감신경 활성화 증가를 통해 유연성 증가와 동맥경직도의 감소를 일으킬 수 있다[20,68-70]. 따라서 폼롤러를 이용한 자가근막이완이 근육과 근막의 긴장을 낮추고, 이로 인해 향상된 유연성은 동맥경직도를 감소시킬 수 있을 것이라고 유추할 수 있다.

지금까지 폼롤러를 이용한 자가근막이완 기법에 대한 연구는 유연성과 관절 가동범위 증가, 통증 감소, 수행능력 증가 등에 대해 집중적으로 이루어져 왔다. 선행연구에 따르면 유연성과 동맥경직도는 정적 상관관계가 있고, 폼롤러를 이용한 자가근막이완의 유연성 향상은 이미 널리 알려져 있으나, 폼롤러를 이용한 자가근막이완으로 향상된 유연성과 동맥경직도 및 자율신경계에 대한 연구는 아직까지 미미한 실정이다. 이에 본 종설은 폼롤러를 이용한 자가근막이완 기법의 다양한 효과를 기능해부학적인 관점에서 근막 시스템과 연결된 메커니즘으로 설명하였으며, 심혈관계 위험인자를 낮추는 새로운 대안으로 폼롤러를 이용한 자가근막이완이 유연성과 동맥경직도 및 자율신경계에 미치는 영향에 대한 심도 깊은 연구의 필요성을 제시하고자 한다.

CONFLICT OF INTEREST

이 논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며, 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Conceptualization: C Lee, S Lee; Data curation: C Lee; Formal analysis: C Lee; Writing-original draft: C Lee, S Lee; Writing-review & editing: C Lee, S Lee.

ORCID

Cheonok Lee <https://orcid.org/0000-0002-0016-9514>

Sewon Lee <https://orcid.org/0000-0002-6179-5156>

REFERENCES

1. Ardahan M, Simsek H. Analyzing musculoskeletal system discomforts and risk factors in computer-using office workers. *Pak J Med Sci*. 2016;32(6):1425.
2. Piranveyseh P, Motamedzade M, Osatuke K, Mohammadfam I, Moghimbeigi A, et al. Association between psychosocial, organizational and personal factors and prevalence of musculoskeletal disorders in office workers. *Int J Occup Saf Ergon*. 2016;22(2):267-73.
3. Van Eerd D, Munhall C, Irvin E, Rempel D, Brewer S, et al. Effectiveness of workplace interventions in the prevention of upper extremity musculoskeletal disorders and symptoms: an update of the evidence.

- Occup Environ Med. 2016;73(1):62-70.
4. Holzgreve F, Maltry L, Lampe J, Schmidt H, Bader A, et al. The office work and stretch training (OST) study: an individualized and standardized approach for reducing musculoskeletal disorders in office workers. *J Occup Med Toxicol*. 2018;13(1):1-9.
 5. StatisticsKorea. Statistics of health insurance (2004-2018).
 6. Kelsey JL, Hochberg MC. Epidemiology of chronic musculoskeletal disorders. *Annu Rev Public Health*. 1988;9(1):379-401.
 7. Punnett L, Wegman DH. Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate. *J Electromyogr Kinesio*. 2004;14(1):13-23.
 8. Barr AE, Barbe MF. Inflammation reduces physiological tissue tolerance in the development of work-related musculoskeletal disorders. *J Electromyogr Kinesiol*. 2004;14(1):77-85.
 9. Mauntel TC, Clark MA, Padua DA. Effectiveness of myofascial release therapies on physical performance measurements: a systematic review. *Athl Train Sports Health Care*. 2014;6(4):189-96.
 10. Ramos-González E, Moreno-Lorenzo C, Matarán-Penarrocha GA, Guisado-Barrilao R, Aguilar-Ferrández ME, et al. Comparative study on the effectiveness of myofascial release manual therapy and physical therapy for venous insufficiency in postmenopausal women. *Complement Ther Med*. 2012;20(5):291-8.
 11. Schleip R. Fascial plasticity—a new neurobiological explanation: part 1. *J Bodywork Mov Ther*. 2003;7(1):11-9.
 12. Sullivan KM, Silvey DB, Button DC, Behm DG. Roller-massager application to the hamstrings increases sit-and-reach range of motion within five to ten seconds without performance impairments. *Int J Sports Phys Ther*. 2013;8(3):228.
 13. Mohr AR, Long BC, Goad CL. Effect of foam rolling and static stretching on passive hip-flexion range of motion. *J Sport Rehabil*. 2014;23(4):296-9.
 14. Pearcey GE, Bradbury-Squires DJ, Kawamoto J-E, Drinkwater EJ, Behm DG, et al. Foam rolling for delayed-onset muscle soreness and recovery of dynamic performance measures. *J Athl Train*. 2015;50(1):5-13.
 15. Cheatham SW, Baker R. Differences in pressure pain threshold among men and women after foam rolling. *J Bodyw Mov Thera*. 2017;21(4):978-82.
 16. Frederick A, Frederick C, Myers TW. Fascial stretch therapy. *Handspring Pub*. 2014.
 17. Lindsay M, Robertson C. Fascia: clinical applications for health and human performance. *Delmar Pub*. 2008.
 18. Clark M, Lucett S. NASM essentials of corrective exercise training. *Lippincott Williams & Wilkins*. 2010.
 19. D'Amico A, Gillis J, McCarthy K, Leftin J, Molloy M, et al. Foam rolling and indices of autonomic recovery following exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Phys Ther*. 2020;15(3):429.
 20. Okamoto T, Masuhara M, Ikuta K. Acute effects of self-myofascial release using a foam roller on arterial function. *J Strength Cond Res*. 2014;28(1):69-73.
 21. Yamamoto K. Human flexibility and arterial stiffness. *J Phys Fitn Sports Med*. 2017;6(1):1-5.
 22. Lakatta EG, Levy D. Arterial and cardiac aging: major shareholders in cardiovascular disease enterprises: Part I: aging arteries: a “set up” for vascular disease. *Circulation*. 2003;107(1):139-46.
 23. Laurent S, Boutouyrie P, Asmar R, Gautier I, Laloux B, et al. Aortic stiffness is an independent predictor of all-cause and cardiovascular mortality in hypertensive patients. *Hypertension*. 2001;37(5):1236-41.
 24. Yamamoto K, Kawano H, Gando Y, Iemitsu M, Murakami H, et al. Poor trunk flexibility is associated with arterial stiffening. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2009.
 25. Myers T. Anatomy trains and force transmission, in fascia: the tensional network of the human body, Elsevier. 2012. p. 131-6.
 26. Schleip R. Fascial plasticity—a new neurobiological explanation Part 2. *J Bodyw Mov Ther*. 2003;7(2):104-16.
 27. Stecco C, Porzionato A, Macchi V, Tiengo C, Parenti A, et al. A histological study of the deep fascia of the upper limb. *Ital J Anat Embryol*. 2006;111(2):105-10.
 28. Fukada E, Yasuda I. Piezoelectric effects in collagen. *Jpn J App Phys*. 1964;3(2):117.
 29. Benjamin M. The fascia of the limbs and back—a review. *J Anat*. 2009;214(1):1-18.
 30. Stecco C, Gagey O, Belloni A, Pozzuoli A, Porzionato A, et al. Anatomy of the deep fascia of the upper limb. second part: study of innervation. *Morphologie*. 2007;91(292):38-43.
 31. Gerlach U, Lieser W. Functional construction of the superficial and deep fascia system of the lower limb in man. *Acta Anat (Basel)*. 1990;139(1):11-25.
 32. Liptan GL. Fascia: a missing link in our understanding of the pathology of fibromyalgia. *J Bodyw Mov Ther*. 2010;14(1):3-12.
 33. Langevin HM, Huijing PA. Communicating about fascia: history, pitfalls, and recommendations. *Int J Ther Massage Bodywork*. 2009;2

- (4):3.
34. Findley T, Chaudhry H, Stecco A, Roman M. Fascia research—a narrative review. *J Bodywork Mov Ther.* 2012;16(1):67-75.
35. Bálint G, Szebenyi B. 9 Non-pharmacological therapies in osteoarthritis. *Baillière Clin Rheumatol.* 1997;11(4):795-815.
36. Travell JG, Simons DG. Myofascial pain and dysfunction: the trigger point manual. Vol. 2: Lippincott Williams & Wilkins. 1983.
37. MacDonald GZ, Penney MD, Mullaley ME, Cuconato AL, Drake CD, et al. An acute bout of self-myofascial release increases range of motion without a subsequent decrease in muscle activation or force. *J Strength Cond Res.* 2013;27(3):812-21.
38. Clark M, Lucett S, Sutton B. NASM essentials of corrective exercise training. Burlington, MA. Jones & Bartlett Learning. 2014;272-83.
39. Bernard BP, Putz-Anderson V. Musculoskeletal disorders and workplace factors; a critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back. 1997.
40. Woolf AD, Pfleger B. Burden of major musculoskeletal conditions. *Bull World Health Organ.* 2003;81:646-56.
41. Röijezon U, Clark NC, Treleaven J. Proprioception in musculoskeletal rehabilitation. Part 1: basic science and principles of assessment and clinical interventions. *Man Ther.* 2015;20(3):368-77.
42. Clark NC, Röijezon U, Treleaven J. Proprioception in musculoskeletal rehabilitation. Part 2: clinical assessment and intervention. *Man Ther.* 2015;20(3):378-87.
43. Peacock CA, Krein DD, Silver TA, Sanders GJ, Von Carlowitz K-PA. An acute bout of self-myofascial release in the form of foam rolling improves performance testing. *Int J Exerc Sci.* 2014;7(3):202.
44. MJ CSK. Does Self-myofascial release with a foam roll change pressure pain threshold of the ipsilateral lower extremity antagonist and contralateral muscle groups? an exploratory study. *J Sport Rehabil.* 2017;1(27):2.
45. Romero-Moraleda B, La Touche R, Lerma-Lara S, Ferrer-Peña R, Paredes V, et al. Neurodynamic mobilization and foam rolling improved delayed-onset muscle soreness in a healthy adult population: a randomized controlled clinical trial. *PeerJ.* 2017;5:e3908.
46. de Souza A, Sanchotene CG, da Silva Lopes CM, Beck JA, da Silva ACK, et al. Acute effect of 2 self-myofascial release protocols on hip and ankle range of motion. *J Sport Rehabil.* 2019;28(2):159-64.
47. Krause F, Wilke J, Niederer D, Vogt L, Banzer W. Acute effects of foam rolling on passive tissue stiffness and fascial sliding: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials.* 2017;18(1):1-6.
48. Roylance DS, George JD, Hammer AM, Rencher N, Fellingham GW, et al. Evaluating acute changes in joint range-of-motion using self-myofascial release, postural alignment exercises, and static stretches. *Int J Exerc Sci.* 2013;6(4):6.
49. Škarabot J, Beardsley C, Štirn I. Comparing the effects of self-myofascial release with static stretching on ankle range-of-motion in adolescent athletes. *Int J Sports Phys Ther.* 2015;10(2):203.
50. Laffaye G, Torrinha Da Silva D, Delafontaine A. Self-myofascial release effect with foam rolling on recovery after high-intensity interval training. *Front Physiol.* 2019;10:1287.
51. Bushell JE, Dawson SM, Webster MM. Clinical relevance of foam rolling on hip extension angle in a functional lunge position. *J Strength Cond Res.* 2015;29(9):2397-403.
52. Miller JK, Rockey AM. Foam rollers show no increase in the flexibility of the hamstring muscle group. *UW-L J Undergrad Res.* 2006;9:1-4.
53. Curran PF, Fiore RD, Crisco JJ. A comparison of the pressure exerted on soft tissue by 2 myofascial rollers. *J Sport Rehabil.* 2008;17(4):432-42.
54. Simons DG, Travell J, Simons LS. Myofascial pain and dysfunction: the trigger point manual: volume 1. 1999.
55. MacDonald GZ. Foam rolling as a recovery tool following an intense bout of physical activity. 2013, Memorial University of Newfoundland.
56. Cheung K, Hume PA, Maxwell L. Delayed onset muscle soreness. *Sports Med.* 2003;33(2):145-64.
57. Aminian-Far A, Hadian M-R, Olyaei G, Talebian S, Bakhtiary AH. Whole-body vibration and the prevention and treatment of delayed-onset muscle soreness. *J Athl Train.* 2011;46(1):43-9.
58. Hotfiel T, Freiwald J, Hoppe MW, Lutter C, Forst R, et al. Advances in delayed-onset muscle soreness (DOMS): Part I: pathogenesis and diagnostics. *Sportverletzung: Sportschaden* 2018;32(04):243-50.
59. Jay K, Sundstrup E, Søndergaard SD, Behm D, Brandt M, et al. Specific and cross over effects of massage for muscle soreness: randomized controlled trial. *Int J Sports phys Ther.* 2014;9(1):82.
60. Zainuddin Z, Newton M, Sacco P, Nosaka K. Effects of massage on delayed-onset muscle soreness, swelling, and recovery of muscle function. *J Athl Train.* 2005;40(3):174.
61. Bialosky JE, Bishop MD, Price DD, Robinson ME, George SZ. The mechanisms of manual therapy in the treatment of musculoskeletal pain: a comprehensive model. *Man Ther.* 2009;14(5):531-8.
62. Gladwell V, Brown D, Barton JL, Tarvainen M, Kuoppa P, et al. The ef-

- fects of views of nature on autonomic control. *Eur J App Physiol.* 2012;112(9):3379-86.
63. Arroyo-Morales M, Olea N, Martinez M, Moreno-Lorenzo C, Daz-Rodriguez L, et al. Effects of myofascial release after high-intensity exercise: a randomized clinical trial. *J Manipulative Physiol Ther.* 2008;31(3):217-23.
64. Ketelhut S, Möhle M, Hottenrott K. Acute effects of self-myofascial release using a foam roller on arterial stiffness in healthy young adults. *Artery Res.* 2020.
65. Lee JH, Kim JS, Oh YS. Effect of self-myofascial release on body composition, vascular and metabolic functions in obese female college students. *J Kor App Sci Tech.* 2020;37(4):769-77.
66. Lastova K, Nordvall M, Walters-Edwards M, Allnutt A, Wong A. Cardiac autonomic and blood pressure responses to an acute foam rolling session. *J Strength Cond Res.* 2018;32(10):2825-30.
67. Kim K, Park S, Goo B-O, Choi S-C. Effect of self-myofascial release on reduction of physical stress: a pilot study. *J Phys Ther Sci.* 2014;26(11):1779-81.
68. Wong A, Figueroa A. Eight weeks of stretching training reduces aortic wave reflection magnitude and blood pressure in obese postmenopausal women. *J Hum Hypertens.* 2014;28(4):246-50.
69. Yamamoto K, Kawada T, Kamiya A, Takaki H, Sugimachi M, et al. Static interaction between muscle mechanoreflex and arterial baroreflex in determining efferent sympathetic nerve activity. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2005;289(4):H1604-9.
70. Takamoto K, Sakai S, Hori E, Urakawa S, Umeno K, et al. Compression on trigger points in the leg muscle increases parasympathetic nervous activity based on heart rate variability. *J Physiol Sci.* 2009;59(3):191-7.
71. Weerapong P, Hume PA, Kolt GS. The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports Med.* 2005;35(3):235-56.
72. Schleip R, Jäger H, Klingler W. What is 'fascia'? A review of different nomenclatures. *J Bodywork Mov Ther.* 2012;16(4):496-502.
73. Beardsley C, Škarabot J. Effects of self-myofascial release: a systematic review. *J Bodywork Mov Ther.* 2015;19(4):747-58.
74. Yamamoto K, Kawano H, Gando Y, Iemitsu M, Murakami H, et al. Poor trunk flexibility is associated with arterial stiffening. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2009;297(4):H1314-8.