

근육 유연성 및 손상에 대한 체외충격파 치료의 효과

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학연구소

이 상 철

Effects of Extracorporeal Shock Wave Therapy on Flexibility and Muscle Injury

Sang Chul Lee, M.D., Ph.D.

Department of Rehabilitation Medicine and Research Institute, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Extracorporeal shock wave therapy (ESWT) has shown promise in treating musculoskeletal conditions, but its application to muscle lesions remains relatively understudied compared to its use in tendon and joint pathologies. Given that ESWT aims to stimulate tissue regeneration, its potential benefit for muscle injuries is substantial, suggesting a likely expansion of its clinical use in this area. This review explores the existing literature on ESWT for muscle lesions, aiming to identify potential future applications. Specifically, we examine two key areas: the use of ESWT for improving muscle flexibility and its efficacy in promoting muscle damage recovery. (Clinical Pain 2025;24:33-38)

Key Words: Extracorporeal shock wave therapy, Muscle, Muscle regeneration, Muscle injuries, Stretching

서론

국내에서 근골격계 질환에 체외충격파 치료(extracorporeal shock wave therapy, ESWT)를 사용하기 시작한 것은 2000년대 초반으로 추정된다. 체외충격파 치료의 효과와 기전에 대한 논쟁은 여전히 존재하지만, 국내외를 막론하고 그 적용 범위는 꾸준히 확대되고 있다. 2000년부터 2021년까지 발표된 체외충격파 치료 관련 논문 1,774건을 키워드 클러스터링 분석한 연구에 따르면, 최근 연구가 활발히 진행되고 있는 분야는 근육 경직에 대한 체외충격파 치료 효과, 골관절염에 대한 치료 효과, 힘줄 질환에 대한 치료 효과, 요로결석증에서 체외충격파 치료의 조기 적용, 체외충격파의 혈관신생 효과 및 음경 질환 치료에서의 효율성, 그리고 방사형 충격파(radial ESWT, rESWT)의 특징과 임상적 가치로 분류된다.¹ 근골격계 관련 질환에 초점을 맞출 경우, 체외충격파 치료는 힘줄 질환 외에도 뼈 유합 지연, 말초신경 손상, 골관절염, 근육 경직, 근막통증증후군 등 다양한 질환에 사용되고 있다.

근골격계 질환 중 근육 병변에 대한 체외충격파 치료 연구는 힘줄 질환 등에 비해 상대적으로 부족한 실정이다. 그러나 체외충격파 치료의 주요 목표가 손상된 조직의 재생 촉진이라는 점을 고려할 때, 근육 자체에 대한 체외충격파 치료의 잠재력은 매우 크다고 할 수 있다. 향후 근육 병변에 대한 체외충격파 치료 적용이 확대될 가능성이 높게 전망된다.

본고에서는 지금까지 근육 병변에 대한 체외충격파 치료 관련 문헌을 고찰하고 향후 활용방안에 대해 함께 고민해 보고자 한다. 단, 근육 경직은 근골격계 질환이라 기보다는 중추신경계 질환의 문제로 보는 것이 타당하며, 이에 대한 체외충격파 치료 효과는 이미 상대적으로 많은 연구가 진행된 터라 본고에서는 다루지 않는다. 또한 근막통증증후군은 그 개념과 치료법에 대한 이견이 있어 본고에서는 논의를 생략한다. 따라서 근육에 대한 체외충격파 적용 가능성을 고찰함에 있어, 근육 유연성(flexibility) 증진과 손상된 근육의 회복 촉진이라는 두 가지 측면에 초점을 맞추어 논의를 진행하고자 한다.

본론

1. 체외충격파가 근육의 유연성에 미치는 영향

근육의 유연성(flexibility) 유지 방법 중 가장 많이 사용되는 것은 스트레칭 운동이다. 스트레칭 운동이 근육 유연성 향상에 미치는 기전에 대해서는 다양한 가설이 제시되었지만, 실제 스트레칭 운동이 근육 유연성에 어떠한 영향

<https://doi.org/10.35827/cp.2025.24.1.33>

접수일: 2025년 2월 21일, 수정일: 2025년 3월 11일,

게재승인일: 2025년 3월 18일

책임저자: 이상철, 서울시 서대문구 연세로 50-1

☎ 03722, 연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학연구소

Tel: 02-2228-3711, Fax: 02-2227-8341

E-mail: bettertomo@yuhs.ac

을 미치는지 명확한 결론은 아직 도출되지 않았다. 스트레칭 운동 시 근육의 내성이 증가하면 유연성과 관련된 운동 효과가 감소하는데, 이러한 근육 내성 증가와 관련된 두 가지 가설이 존재한다. 첫째, 골지긴 기관(golgi tendon organ)은 운동신경 방출 효과를 감소시켜 근육-건 단위의 이완을 유도한다. 둘째, 파치니안 소체(pacinian corpuscle)는 압력 감지 센서로서 통증 내성을 조절하는 역할을 한다.² 스트레칭 운동은 수동적 장력을 감소시키고, 근육-힘줄 단위의 점탄성 변화를 통해 더 큰 신장을 가능하게 한다. 하지만 근육과 힘줄 길이의 급격한 변화는 스트레칭 운동 후 짧은 시간 동안만 지속되므로, 이러한 기전은 스트레칭 운동 효과의 지속 시간이 짧다는 주장을 뒷받침한다. 일부 연구에서는 스트레칭 운동이 근육 유연성과 가동 범위를 증가시키고 근육 경직을 감소시킨다고 보고되었으나, 여전히 명확한 근거는 부족한 상황이다.^{2,3}

최적의 스트레칭 강도, 속도, 하중 및 빈도는 여전히 불분명하다. 근육의 유연성을 유도하기 위해서는 스트레칭 운동을 보조적인 방법으로 활용하면서 효과적인 다른 방법을 병행해야 하는 데 중추신경계 병변에서 발생하는 경직에 대한 체외충격과의 효과를 바탕으로 유연성 증진을 위해 체외충격과의 효과를 알아보는 것은 매우 흥미로운 일일 것이다. Kim 등⁴은 건강한 성인 29명을 대상으로 체외충격과 적용군, 스트레칭 운동군, 체외충격과 및 스트레칭 병용군, 대조군으로 나누어 햄스트링 근육에 대한 영향을 평가하였다. 체외충격과는 엎드린 자세에서 양쪽 햄스트링 근육에 대해 주 1회씩 총 3회 시행하였다. 전자기방식의 집중형 체외충격과 치료기기를 사용하였으며 1회에 양측 햄스트링 근육에 각각 총 2,000회를 시행하였다. 대퇴이두근 장두(n = 1,000), 반힘줄근(n = 500) 및 반막근(n = 500)의 근육의 중심부(muscle belly)에 적용되었다. 적용된 에너지 유속 밀도(energy flux density, EFD)는 0.074 mJ/mm²였고, 충격과의 반복 주파수는 5 Hz였다. 스트레칭 운동은 3주 동안 하루 5세트 총 12분, 주 5일 시행되었다. 체외충격과와 스트레칭 운동 시행이 끝난 직후인 3주차에 측정 시 체외충격과 적용군, 스트레칭 운동군 모두 대조군에 비해 유의하게 유연성이 증가하였지만 스트레칭 운동과 체외충격과를 병행한 경우에만 치료 4주(총 7주)후에 햄스트링 유연성이 증가된 상태로 유지되었다. 만성 족저근막염 환자에서 스트레칭 운동과 체외충격과 치료효과를 비교한 다른 연구가 있다.⁵ 만성 족저근막염 환자 152명을 대상으로 방사형 충격과 치료군, 스트레칭 운동군, 두 치료의 병용군으로 나누어 치료효과를 비교하였다. 체외충격과 치료는 주 1회, 총 3주간 시행하였다. 최대압통부위에 원주형 패턴(circumferential pattern)으로 적용하였으며 에너지 유속 밀도는 0.16 mJ/mm², 주파수는 8 Hz, 1회당 2,000회를 적용

하였다. 스트레칭은 족저근막에 특화되고 검증된 방법을 사용하여 8주간 시행하였다.^{6,7} 치료 개시 2개월 후, 체외충격과 치료와 스트레칭 운동을 병행한 군에서 체외충격과 치료만 받은 군보다 유의하게 더 큰 기능 변화를 보였다. 이 차이는 치료 개시 4개월까지 지속되었지만 24개월후에는 보이지 않았다. 즉 체외충격과 치료와 스트레칭 운동을 병용하는 것이 더 빠른 효과를 보였으나 체외충격과만 적용한 군도 24개월 후에는 동등한 효과를 보였다.

근육 조직에 대한 체외충격과 치료의 기전은 아직 밝혀지지 않았다. 최적의 체외충격과 치료는 세포 증식에 대한 촉진 효과뿐만 아니라 치유 과정의 활성화 및 향상을 결정한다는 증거가 있다.⁵ 체외충격과 치료가 힘줄 손상 시 근육 조직에 미치는 영향을 증명한 연구에서 세포의 형태 변화, 증식 및 운동성 향상을 유도하고, 혈관 신생 및 콜라겐 합성, 분화에 중요한 유전자를 발현시킨다고 하였다.⁵ 물리적 자극이 성장인자의 발현, 산화질소 합성, 혈관 신생을 포함한 생물학적 반응을 유도하는 것을 mechanotransduction이라 하며 이는 체외충격과 치료 기전의 핵심으로 여겨진다.⁸⁻¹¹ 그런데 체외충격과 치료가 근육의 유연성에 미치는 영향은 mechanotransduction 외에도 다른 기전이 함께 작용하는 것으로 보인다. Mechanotransduction을 주 메커니즘으로 가정하는 근골격계 조직 손상의 재생 효과는 인체의 경우 3~4주가 소요된다. 따라서 체외충격과 치료의 효과는 일정 기간의 조직 재생 기간이 필요하며, 치료 직후 나타나는 유연성 증가는 다른 기전으로 설명해야 할 수 있다.⁴

2. 체외충격파가 근육 손상에 미치는 영향

골격근 손상은 운동선수에게 가장 흔한 부상 중 하나이기 때문에 골격근 조직의 재생 능력은 엘리트 스포츠 선수에게 매우 중요하다.¹² 스포츠 관련 골격근 손상은 종종 재발되며 만성 통증, 기능 장애를 일으키고 개인의 훈련이나 경기 참여를 몇 주 동안 지연시키거나 방해할 수 있다.¹³ 이로 인해 골격근 부상 치료에 대한 수요는 매우 높지만 골격근 부상은 손상된 근육이 천천히 그리고 종종 불완전하게 치유되고 현재 임상에서 이용 가능한 치료법은 만족스러운 결과를 나타내지 못하고 있다.^{12,14,15} 비스테로이드성 소염진통제(non-steroidal anti-inflammatory drugs, NSAIDs)와 같은 초기 개입은 염증 반응 조절에 일부 도움을 줄 수 있지만 그 효과가 모호한 경우가 많고, 스테로이드 사용은 오히려 치유를 지연시키거나 비가역적으로 방해하는 것으로 나타났다.^{16,17} 따라서 골격근 손상 치료에 대한 새로운 접근법이 필요한 상황이다.

근육 손상 중 햄스트링 근육의 급성 손상은 엘리트 스포츠와 레크리에이션 스포츠 모두를 포함하여 다양한 스포츠

분야에서 자주 관찰되며, 축구에서 가장 흔한 부상이다.¹⁸⁻²¹ 지난 10년 동안 햄스트링 근육의 급성 손상의 예방 및 관리에 대한 집중적인 연구와 노력에도 불구하고 부상 및 재부상률이 감소하지 않은 것으로 나타났다.²² 엘리트 축구 선수의 햄스트링 근육의 급성 손상의 발생률은 12.3%, 재발율은 2~25%, 부상의 약 2/3는 중등도로 분류된다.²³ 햄스트링 근육 중 대퇴이두근 장두(the long head of the bicep femoris)가 가장 많이 영향을 받는다.²⁴ 급성 햄스트링 근육 손상 유형 4 (근육 부분 파열 또는 완전 파열 또는 건탈출)는 조기 외과적 치료가 필요하지만 드물다.²⁵ 급성 햄스트링 근육 손상 유형 3a 및 3b의 선택 치료는 점진적인 물리치료 및 운동 프로그램이다.²⁶ 2014년도 The New England Journal of Medicine에 발표된 연구에서는 급성 햄스트링 근육 손상 환자에서 위약 주사와 비교하여 근육 내 혈소판 풍부혈장(platelet-rich plasma, PRP) 주사가 아무런 이점이 없음을 보여주었다.²⁷ 햄스트링 손상의 최적 치료 기간은 유형 3a의 경우 10~14일, 유형 3b의 경우 평균 약 6주이다. 그러나 급성 햄스트링 손상 유형 3b의 경우 경기 복귀 기간에 상당한 개인간 편차가 있으며 4~233일 사이로 매우 큰 폭의 편차가 조사되었다.^{27,28} 무엇보다도 급성 햄스트링 손상의 높은 재부상율은 일반적으로 활용되는 재활 프로그램이 부상과 관련된 근력 약화, 조직 확장성 감소 및 변화된 운동 패턴을 해결하는 데 부적절할 수 있음을 시사한다.²⁹ 따라서 특히 급성 햄스트링 손상 유형 3b에 대한 혁신적인 치료 옵션을 개발할 필요가 있다.

체외충격파 치료는 이러한 맥락에서 골격근 손상에서도 잠재적 치료법이 될 수 있다. 쥐와 인간세포 배양 연구 결과에 따르면 체외충격파 치료는 중간엽 줄기세포, 평활근 및 심장근육 세포, 내피 전구 세포(endothelial precursor cell)의 증식 속도를 향상 조절한다.³⁰⁻³² 연구 결과, 체외충격파 치료는 위성세포(satellite cell)의 활성을 조절하여 근육 재생에 기여하는 것으로 나타났다. 골격근 손상 복구는 염증 단계와 수반되는 분해 과정으로 시작되고 광범위한 복구 단계, 최종적으로 성숙 및 재형성 단계가 뒤따른다. 골격근의 재생 능력은 주로 위성세포에 달려 있다.³³ 골격근이 손상되면 이러한 위성세포가 활성화되고 증식하며 분화되어 새로운 골격근 섬유가 생성된다. 체외충격파 치료 후에 상향 조절된 신호 인자는 근육 손상 후 세포 활성화를 촉진하는 것으로 알려져 있다.³⁴⁻³⁶

여기 골격근 손상에 대한 체외충격파 치료의 가능성을 보여주는 동물 실험이 있어 소개하고자 한다.³⁷ 근골격계 손상에 대한 이 동물 연구는 쥐(Sprague-Dawley rat)를 대상으로 하였으며 4개의 실험군과 1개의 대조군으로 나누고 각 군은 6마리 이상으로 구성하였다. 쥐의 한쪽 뒷다리에 화학적 급성 근육 손상을 주고, 2개의 실험군에 대해 손상

후 1일째 손상된 뒷다리에 1회 체외충격파를 시행하였다. 각 쥐는 근육의 세로 축을 따라 5개 지점에 총 500개의 자극을 받았다(100개 자극/지점; 에너지 밀도 0.12 mJ/mm², 4 Hz). 이 용량은 인체 손상 치료에 사용되는 용량 범위 에 속한다.³⁸ 나머지 2개의 실험군은 치료를 받지 않았다. 1개의 체외충격파 치료군과 1개의 대조군을 매칭하여 각각 손상 후 4일, 7일에 희생하여 조직학적 분석을 시행하였다. 대조군의 쥐도 동일한 방법으로 샘플링하여 손상되지 않은 근육과 치료되지 않은 근육에 대한 참조값으로 분석에 사용하였다. 이 연구의 결과는 체외충격파 치료가 급성 근육 손상 후 쥐 골격근의 재생 과정을 가속화할 수 있다는 증거를 제공한다. 이 연구의 결과는 근육 손상 직후에 적용된 체외충격파 치료가 재생 과정의 시작 및 성숙 단계에서 세포 복구 메커니즘을 유도한다는 것을 시사하였다. 이러한 효과에는 병변 부위에 모집된 위성세포 수 증가, 세포의 증식 및 분화 속도 향상, 새로 형성된 근육 섬유의 빠른 성장이 포함된다. 대조군이 체외충격파 적용군에 해당하는 재생 수준을 보이는 데는 총 3일이 더 필요하였다. 이 동물 실험이 근육 손상 회복에 체외충격파 치료가 긍정적인 효과를 보인다는 증거를 제공하였지만 체외충격파와 근육 조직 사이의 상호작용의 기전을 명확히 밝히지는 못했다. 근육 재생의 성숙 단계에서 체외충격파 치료군은 재생된 근육 섬유의 더 크고 근핵 함량도 유의하게 더 많았다. 더 빠른 회복속도는 근모세포 융합 속도가 더 빠르기 때문에 발생한 것으로 보인다. 따라서 재생의 마지막 단계에서 체외충격파는 복구 중에 형성된 새로운 섬유가 더 빠르게 성숙한 크기로 성장하여 완전한 기능 회복을 유도할 가능성이 높다. 실제로 골격근은 기계적 자극에 매우 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있으며, 단백질 합성 및 위성세포 동원 증가로 인해 근섬유 성장이 매개된 것으로 보인다.³⁹ 체외충격파는 다양한 신호 인자를 상향 조절하여 다양한 조직에서 산화질소, 인슐린 유사 성장 인자, 섬유아세포 성장 인자가 증가하여 조직 재생을 유도한다.^{34,40} 따라서 체외충격파 치료의 근육 손상에 대한 효과는 여러 요인의 복잡한 조합이라고 가정할 수 있다.

마지막으로, 근육 손상에 대한 체외충격파 치료 효과에 대한 체계적 고찰 연구를 소개하고자 한다.⁴¹ 본 연구는 23년 6월까지 출판된 무작위 대조 시험, 관찰 연구, 사례-대조 연구를 대상으로 작성되었다. 대상 연구는 18세 이상 개인의 간접 및 직접 근육 손상에 대한 체외충격파 치료의 효과를 연구했으며 시각적 유사 척도(visual analogue scale, VAS)에 따른 통증 평가, 기능 평가, 운동으로의 복귀 시간(time for return to play, RTP), 재발률 및 조음과 평가를 포함하였다. 체계적 고찰에는 8개의 연구(무작위 대조 시험 2개, 전향적 관찰 연구 1개, 후향적 관찰 연구 2개, 사례-대

조 연구 3개)가 포함되었으며 성인 참가자 수는 총 143명이 이었다. 분석결과, 체외충격과 치료는 시각적 상사 척도에 서 통증 감소, 기능 호전, 초음파 평가에서 병변 크기 감소, 더 빠른 운동 복귀, 근육 손상의 빈번한 이차 합병증인 근육 혈종의 재발률 감소와 관련이 있었다. 이 연구의 결과에 따라 저자는 근육 부상에 체외충격과 치료를 사용하는 것에 대한 증거는 유망하나 치료 프로토콜(체외충격과 치료의 적정 적용 시점, 유형 및 매개변수)을 정의하기 위해 앞으로 더 높은 품질의 연구가 필요하다 하였다.

결 론

본 연구는 유연성 및 근육 손상에 대한 체외충격과 치료의 효과를 종합적으로 고찰하였다. 체외충격과 치료는 근골격계 질환 분야에서 꾸준히 활용되고 있지만, 특히 근육 병변에 대한 적용은 아직 연구가 부족한 실정이다. 본론에서는 근육 유연성에 대한 체외충격과의 영향과 근육 손상에 대한 체외충격과의 영향을 나누어 분석하였다.

근육 유연성 측면에서, 스트레칭 운동은 오랫동안 근육 유연성 향상에 사용되어 왔지만, 그 기전에 대한 명확한 설명은 아직 부족하다. 체외충격과 치료가 근육 유연성에 미치는 영향을 알아보기 위한 연구들은 긍정적인 결과를 제시하고 있지만, 추가적인 연구가 필요하다. 특히, 체외충격과 치료와 스트레칭 운동을 병행한 경우 더욱 효과적인 유연성 증진 효과가 나타났다는 연구 결과는 주목할 만하다.

근육 손상 측면에서, 체외충격과 치료는 손상된 근육의 재생 과정을 촉진하고 회복 속도를 향상시키는 가능성을 보여주었다. 동물 실험 결과는 체외충격과 치료가 위성세포의 활성화, 증식 및 분화를 촉진하여 새로운 근육 섬유 생성을 유도함을 시사한다. 임상 연구 결과 역시 체외충격과 치료가 근육 손상으로 인한 통증 감소, 기능 개선, 운동 복귀 시간 단축 등에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 보여준다. 그러나 아직까지 체외충격과 치료의 최적 적용 시점, 유형 및 매개 변수 등에 대한 명확한 프로토콜이 확립되지 않았으며, 더 높은 품질의 연구가 필요하다.

체외충격과 치료는 안전하고 도핑 문제로부터도 자유롭기 때문에 일반인뿐 아니라 엘리트 선수에게도 적용 가치가 높을 것으로 기대된다. 결론적으로, 체외충격과 치료는 근육 손상 및 유연성 개선에 있어 잠재적인 치료법이 될 수 있다. 하지만 아직까지 연구 결과가 제한적이며, 최적의 치료 프로토콜을 확립하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

REFERENCES

1. Zhang X, Ma Y. Global trends in research on extracorporeal shock wave therapy (ESWT) from 2000 to 2021. *BMC Musculoskelet Disord* 2023;24:312.
2. Thompson NS, Baker RJ, Cosgrove AP, Saunders JL, Taylor TC. Relevance of the popliteal angle to hamstring length in cerebral palsy crouch gait. *J Pediatr Orthop* 2001; 21:383-7.
3. Witvrouw E, Bellemans J, Lysens R, Danneels L, Cambier D. Intrinsic risk factors for the development of patellar tendinitis in an athletic population. A two-year prospective study. *Am J Sports Med* 2001;29:190-5.
4. Kim YW, Chang WH, Kim NY, Kwon JB, Lee SC. Effect of extracorporeal shock wave therapy on hamstring tightness in healthy subjects: a pilot study. *Yonsei Med J* 2017; 58:644-9.
5. Rompe JD, Furia J, Cacchio A, Schmitz C, Maffulli N. Radial shock wave treatment alone is less efficient than radial shock wave treatment combined with tissue-specific plantar fascia-stretching in patients with chronic plantar heel pain. *Int J Surg* 2015;24:135-42.
6. DiGiovanni BF, Nawoczenski DA, Lintal ME, Moore EA, Murray JC, Wilding GE, et al. Tissue-specific plantar fascia-stretching exercise enhances outcomes in patients with chronic heel pain: a prospective, randomized study. *J Bone Joint Surg Am* 2003;85:1270-7.
7. Digiovanni BF, Nawoczenski DA, Malay DP, Graci PA, Williams TT, Wilding GE, et al. Plantar fascia-specific stretching exercise improves outcomes in patients with chronic plantar fasciitis: a prospective clinical trial with two-year follow-up. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88:1775-81.
8. Berger W, Horstmann G, Dietz V. Tension development and muscle activation in the leg during gait in spastic hemiparesis: independence of muscle hypertonia and exaggerated stretch reflexes. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1984;47:1029-33.
9. Ciampa AR, de Prati AC, Amelio E, Cavalieri E, Persichini T, Colasanti M, et al. Nitric oxide mediates anti-inflammatory action of extracorporeal shock waves. *FEBS Lett* 2005;579:6839-45.
10. Czaprowski D, Leszczewska J, Kolwicz A, Pawłowska P, Kędra A, Janusz P, et al. The comparison of the effects of three physiotherapy techniques on hamstring flexibility in children: a prospective, randomized, single-blind study. *PLoS One* 2013;8:e72026.
11. Dietz V, Sinkjaer T. Spastic movement disorder: impaired reflex function and altered muscle mechanics. *Lancet*

- Neurol 2007;6:725-33.
12. Järvinen TA, Järvinen M, Kalimo H. Regeneration of injured skeletal muscle after the injury. *Muscles Ligaments Tendons J* 2014;3:337-45.
13. Wong S, Ning A, Lee C, Feeley BT. Return to sport after muscle injury. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2015;8:168-75.
14. Baker KG, Robertson VJ, Duck FA. A review of therapeutic ultrasound: biophysical effects. *Phys Ther* 2001;81:1351-8.
15. Delos D, Maak TG, Rodeo SA. Muscle injuries in athletes. *Sports Health* 2013;5:346-52.
16. Beiner JM, Jokl P, Cholewicki J, Panjabi MM. The effect of anabolic steroids and corticosteroids on healing of muscle contusion injury. *Am J Sports Med* 1999;27:2-9.
17. Ziltener JL, Leal S, Fournier PE. Non-steroidal anti-inflammatory drugs for athletes: an update. *Ann Phys Rehabil Med* 2010;53:278-88.
18. Fiorentino NM, Blemker SS. Musculotendon variability influences tissue strains experienced by the biceps femoris long head muscle during high-speed running. *J Biomech* 2014;47:3325-33.
19. Kellermann M, Lutter C, Hotfiel T. Healing response of a structural hamstring injury: perfusion imaging 8-weeks follow-up. *J Sport Rehabil* 2019;28:72-6.
20. Häggglund M, Waldén M, Ekstrand J. Injury incidence and distribution in elite football—a prospective study of the Danish and the Swedish top divisions. *Scand J Med Sci Sports* 2005;15:21-8.
21. Lohrer H, Nauck T, Korakakis V, Malliaropoulos N. Validation of the FASH (functional assessment scale for acute hamstring injuries) questionnaire for German-speaking football players. *J Orthop Surg Res* 2016;11:130.
22. Valle X, Tol JL, Hamilton B, Rodas G, Malliaras P, Malliaropoulos N, et al. Hamstring muscle injuries, a rehabilitation protocol purpose. *Asian J Sports Med* 2015;6:e25411.
23. Petersen J, Thorborg K, Nielsen MB, Hölmich P. Acute hamstring injuries in Danish elite football: a 12-month prospective registration study among 374 players. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20:588-92.
24. Crema MD, Guermazi A, Tol JL, Niu J, Hamilton B, Roemer FW. Acute hamstring injury in football players: association between anatomical location and extent of injury—a large single-center MRI report. *J Sci Med Sport* 2016;19:317-22.
25. Reurink G, Tol JL, de Vos RJ. Acute hamstring injuries in athletes. *Ned Tijdschr Geneesk* 2014;159:A8152.
26. Maffulli N, Oliva F, Frizziero A, Nanni G, Barazzuol M, Via AG, et al. ISMuLT guidelines for muscle injuries. *Muscles Ligaments Tendons J* 2014;3:241-9.
27. Reurink G, Goudswaard GJ, Moen MH, Weir A, Verhaar JAN, Bierma-Zeinstra SMA, et al. Platelet-rich plasma injections in acute muscle injury. *N Engl J Med* 2014;370:2546-7.
28. Bayer ML, Magnusson SP, Kjaer M, Tendon Research Group Bispebjerg. Early versus delayed rehabilitation after acute muscle injury. *N Engl J Med* 2017;377:1300-1.
29. Heiderscheit BC, Sherry MA, Silder A, Chumanov ES, Thelen DG. Hamstring strain injuries: recommendations for diagnosis, rehabilitation, and injury prevention. *J Orthop Sports Phys Ther* 2010;40:67-81.
30. Chen YJ, Wurtz T, Wang CJ, Kuo YR, Yang KD, Huang HC, et al. Recruitment of mesenchymal stem cells and expression of TGF- β 1 and VEGF in the early stage of shock wave-promoted bone regeneration of segmental defect in rats. *J Orthop Res* 2004;22:526-34.
31. Nurzynska D, Di Meglio F, Castaldo C, Arcucci A, Marlinghaus E, Russo S, et al. Shock waves activate in vitro cultured progenitors and precursors of cardiac cell lineages from the human heart. *Ultrasound Med Biol* 2008;34:334-42.
32. Aicher A, Heeschen C, Sasaki K, Urbich C, Zeiher AM, Dimmeler S. Low-energy shock wave for enhancing recruitment of endothelial progenitor cells: a new modality to increase efficacy of cell therapy in chronic hind limb ischemia. *Circulation* 2006;114:2823-30.
33. Tedesco FS, Dellavalle A, Diaz-Manera J, Messina G, Cossu G. Repairing skeletal muscle: regenerative potential of skeletal muscle stem cells. *J Clin Invest* 2010; 120: 11-9.
34. Chen YJ, Wang CJ, Yang KD, Kuo YR, Huang HC, Huang YT, et al. Extracorporeal shock waves promote healing of collagenase-induced Achilles tendinitis and increase TGF- β 1 and IGF-I expression. *J Orthop Res* 2004;22:854-61.
35. Clarke MS, Feeback DL. Mechanical load induces sarco-plasmic wounding and FGF release in differentiated human skeletal muscle cultures. *FASEB J* 1996;10:502-9.
36. Philippou A, Maridaki M, Halapas A, Koutsilieris M. The role of the insulin-like growth factor 1 (IGF-1) in skeletal muscle physiology. *In Vivo* 2007;21:45-54.
37. Zissler A, Steinbacher P, Zimmermann R, Pittner S, Stoiber W, Bathke AC, et al. Extracorporeal Shock Wave Therapy Accelerates Regeneration After Acute Skeletal Muscle Injury. *Am J Sports Med* 2017;45:676-84.
38. Moretti B, Notarnicola A, Moretti L, Patella S, Tatò I, Patella V. Bone healing induced by ESWT. *Clin Cases Miner Bone Metab* 2009;6:155-8.
39. Tidball JG. Mechanical signal transduction in skeletal muscle growth and adaptation. *J Appl Physiol* 2005;98:1900-8.
40. Mariotto S, Cavalieri E, Amelio E, Ciampa AR, de Prati

AC, Marlinghaus E, et al. Extracorporeal shock waves: from lithotripsy to anti-inflammatory action by NO production. Nitric Oxide 2005;12:89-96.

41. Mazin Y, Lemos C, Paiva C, Oliveira LA, Borges A, Lopes

T. The Role of Extracorporeal Shock Wave Therapy in the Treatment of Muscle Injuries: A Systematic Review. Cureus 2023;15:e44196.