

# 기사 무릎 골관절염 환자의 통증 완화 및 기능 회복에 대한 경피적 4.4MHz 고주파 투열요법과 치료용 초음파의 효능: 무작위 대조 연구

장유경<sup>1</sup>, 이경제<sup>1</sup>, 이천희<sup>1</sup>, 나동현<sup>1</sup>, 신혜경<sup>2</sup>, 최종범<sup>2,\*</sup>, † 그리고 고재철<sup>1,\*</sup>, †



- <sup>1</sup> 고려대학교 의과대학 마취통증의학교실, 서울 02841, 대한민국; gamtang@korea.ac.kr (YJ); 젤리 g0209@gmail.com (LGJ); sunfanooo@gmail.com (SL); bmssdh7942@gmail.com (DN)
- <sup>2</sup> 아주대학교 의과대학 마취통증의학교실, 수원시, 16499, 대한민국; tlgprdu1@naver.com
- \* 대응: romeojb@naver.com (JBC); jaykoh@korea.ac.kr (JCK); 전화: 031-219-5571(JBC); + 82-2-920-5632 (JCK)
- † 이 저자들은 이 작업에 동등하게 기여했습니다.

**추상적인:** 무릎 골관절염(KOA)은 성인들에게 널리 퍼져 있는 장애 및 통증의 원인입니다. 경피적 고주파(RF) 투열요법과 치료용 초음파(US)는 근골격 질환을 해결하기 위해 일반적으로 사용되는 치료법입니다. 이 연구의 목적은 KOA 진단을 받은 개인을 대상으로 경피적 4.4MHz RF 투열요법과 초음파 치료 요법의 임상적 효과를 평가하고 비교하는 것입니다. 총 108명의 KOA 환자가 RF 그룹과 US 그룹에 무작위로 배정되었습니다. 각 참가자는 4주에 걸쳐 일련의 10회 치료 세션을 거쳤으며 다양한 시점에 평가를 받았습니다. 평가에는 신체 평가, 활력징후 측정, 통증에 대한 NRS(Numeric Rating Scale), WOMAC(Western Ontario 및 McMaster Universities Osteoarthritis Index) 점수, Lequesne 지수, 보행 분석, 36개 항목 단축 건강 설문조사(SF-36) 및 부작용 분석. 두 그룹 모두 10차 치료 세션과 1개월 추적 평가 모두에서 기준치와 비교하여 NRS, WOMAC 점수 및 Lequesne 지수에서 유의미한 차이를 보였습니다. 그러나 각 평가 시점에서 두 그룹 간에는 유의미한 차이가 관찰되지 않았습니다. 보행분석에서는 10차 치료 후 RF군에서 기준선에 비해 보폭과 보속속도가 유의미한 변화를 보였다. 치료 완료 4주 후, 두 그룹 모두 기준 측정치와 비교했을 때 보폭과 보속 속도에 상당한 변화가 나타났습니다. 그러나 케이던스에서는 RF 그룹만이 기준선과 비교하여 유의미한 차이를 보였습니다. 연구 결과는 경피적 4.4MHz RF 투열요법이 KOA 환자의 통증을 줄이고 기능적 능력을 향상시키는 데 있어 미국 치료와 비슷한 효과를 나타냄을 시사합니다. KOA에 대한 비침습적 치료의 효능을 향상시키기 위한 추가 연구 노력이 필요합니다.



**소환:** 장영수; 제, LG; 이석수; 나, D.; 신현호; 최JB; Koh, JC 무릎 골관절염 환자의 통증 완화 및 기능 회복을 위한 경피적 4.4MHz 고주파 투열요법과 치료용 초음파의 효능: 무작위 대조 연구. *J. 클리. 메드.* 2023년, 12, 6040. <https://doi.org/10.3390/jcm12186040>

학술 편집자: Daniel Pecos-Mart나N

접수일: 2023년 8월 13일 수정일: 2023년 9월 12일 접수일: 2023년 9월 14일 게시일: 2023년 9월 18일

**키워드:** 무릎 골관절염; 심부 온열 요법; 경피적 고주파



**저작권:** © 2023 저자. 사용권자 MDPI(스위스 바젤). 이 기사는 Creative Commons Attribution(CC BY) 라이선스(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)의 이용 약관에 따라 배포되는 오픈 액세스 기사입니다.

## 1. 소개

무릎 골관절염(KOA)은 성인의 통증과 장애의 두드러진 원인입니다. 고령화와 비만으로 인해 이 질병의 유병률이 증가하고 있다.<sup>[1]</sup>. 전 세계적으로 약 2억 4천만 명이 KOA의 영향을 받고 있습니다. KOA 환자는 건강한 사람에 비해 삶의 질이 상당히 낮습니다.<sup>[1]</sup>. 신체 활동 감소는 연령 보정 사망률 증가와 관련이 있습니다.<sup>[2]</sup>. 수술 외에도 KOA 치료에는 교육, 운동, 체중 감량이 포함됩니다.

비스테로이드성 항염증제(NSAID), 코르티코스테로이드 주사 및 기타 보조 약물에 의해 [1]. 온열요법을 포함한 다양한 물리치료가 의학적 치료보다 부작용이 적고 KOA 치료에 도움이 되는 것으로 나타났습니다. [삼]. KOA 관리를 위한 특정 온열 요법의 효과는 여전히 논란의 여지가 있습니다.

치료용 초음파(US)는 근골격계 질환을 치료하는 데 종종 사용됩니다. 1~3MHz 범위의 주파수 스펙트럼 내에서 US를 적용하는 것은 심부 온열 요법을 제공하기 위한 일반적인 접근 방식입니다. [4,5]. 이는 표적 조직에 열적, 기계적 영향을 미치며 순환, 국소 대사 및 재생을 증가시킵니다. [4]. 초음파 에너지는 음파를 통해 분자 진동을 유도합니다. 이렇게 강화된 분자 운동으로 인해 마찰열이 발생하고 이로 인해 조직 온도가 상승합니다. 이 현상을 열 효과라고 합니다. 온열 효과는 국소 혈류, 효소 활동, 신경 전도 속도, 골격근의 수축 활동, 콜라겐 조직의 확장성, 통증 역치 및 근육 경련 감소를 향상시킵니다. 또한, 비열 효과인 미세한 기포나 공동이 형성됩니다. 비열 효과는 혈관벽 투과성을 향상시키고, 세포막 활동을 향상시키며, 연조직의 치유를 촉진하는 능력으로 인정됩니다. [6]. 따라서 치료적 초음파는 KOA 환자의 증상을 완화시키는 물리 치료 요법에 추가적인 이점을 제공할 수 있으므로 일반적으로 사용되는 접근 방식이 됩니다. [7].

비침습적 경피적 고주파(RF) 투열요법은 치료 기술로서 고주파 전자기파를 방출하는 것을 수반합니다. RF 투열요법은 열 효과로 인해 치료에 일반적으로 활용되며, 주로 통증과 염증 완화를 목표로 하는 동시에 조직 확장성을 향상시킵니다. [8]. 그러나 근골격계 통증 관리를 위한 특정 파동 주파수의 효과는 여전히 불분명합니다. 4.4MHz RF 투열요법은 용량성 및 저항성 전기 전달 메커니즘을 결합하여 근육 손상을 일으키지 않고 효과적인 심부 조직 침투를 가능하게 합니다. 4.4MHz RF를 적용하면 세포에 해를 끼치지 않으면서 근육의 온도를 높이고, 근육의 붓기를 감소시키며, 조직 내에서 항염증 효과를 나타냅니다. [9]. 이전 연구에서는 요통, 어깨 통증 등의 통증 관리에 있어 4.4MHz RF 투열요법의 효능이 입증되었습니다. [9,10]. KOA에 대한 RF 투열요법에 대한 연구가 있었지만 각 연구에 적용되는 주파수는 다양했습니다. [11-14]. 그러나 KOA 치료에 있어서 4.4MHz RF 투열요법의 효과를 조사하기 위해 수행된 전향적 연구는 아직 충분하지 않습니다. 이 연구의 목적은 통증 감소, 기능적 능력 향상, 환자의 삶의 질 향상 측면에서 4.4MHz RF 투열요법의 임상적 효과를 조사하는 것입니다. 또한, 이 연구는 KOA 진단을 받은 개인을 대상으로 이 치료의 효능을 미국 치료 결과와 비교하는 것을 목표로 합니다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 연구 설계 및 참가자

이 전향적, 이중 맹검, 무작위 대조 시험은 저자 소속 기관(대한민국 서울 고려대학교 안암병원, IRB 프로토콜 번호 2021AN0154, 아주대학교병원, 수원시)의 임상시험심사위원회(IRB)로부터 승인을 받았습니다. 대한민국, IRB 프로토콜 번호 AJOU-IRB-DEV-2020-607). 본 연구는 임상연구정보서비스 프로토콜 등록시스템에도 등록되었습니다. <https://cris.nih.go.kr/>, KCT0006585, 2021년 8월 9일에 액세스함). 본 연구에 참여하기 전에 모든 개인은 서면 동의를 제공했습니다.

본 연구에는 두 병원의 통증 클리닉에서 모집된 무릎 통증을 겪고 있는 총 108명의 환자가 포함되었습니다. 대상 환자는 2021년 10월부터 2022년 10월 사이에 통증클리닉을 방문하고 KOA 진단을 받은 50~79세 환자였다.

우리는 서면 동의를 제공하고 다음 포함 기준을 충족하는 환자를 등록했습니다: (1) 무릎 골관절염에 대한 미국 류마티스 학회 분류 기준 준수 및 (2) Kellgren and Lawrence(KL) 2등급 달성

또는 3. 참가자 선택을 위해 다음 제외 기준이 사용되었습니다: (1) 골관절염의 기타 원인(예: 류마티스, 통풍, 감염성); (2) 영향을 받은 무릎의 무릎 관절 교체 이력; (3) 이전 6개월 이내의 이전 치료(초음파 치료, 체외 충격파 치료 또는 관절내 주사); (4) 영향을 받은 무릎의 수술, 외상 또는 암 병력; (5) 설문지에 대한 적절한 응답을 방해할 수 있는 심각한 인지 또는 의사소통 장애; (6) 치료 방식이나 젤 사용에 어려움을 초래하는 접촉성 피부염; (7) 말초 신경병증; (8) 여성의 임신; (9) 임상 평가를 통해 결정된 부적격을 보장할 수 있는 추가 조건. 본 연구 기간 동안 기존 질환(고혈압, 고지혈증 등)에 대한 다른 모든 치료는 본 연구 결과에 영향을 미칠 수 있는 치료(진통제 용량 변경, 물리치료 등)를 제외하고는 모두 허용되었습니다.

## 2.2. 무작위 할당 및 눈가림 방법

환자가 모든 적격 기준을 충족하면 블록 무작위화 기술을 사용하여 RF 그룹 또는 US 그룹에 무작위로 배정되었습니다. 입대 환자에게는 SAS 버전 9.4(SAS Institute, Cary, NC, USA)에서 'Proc Plan' 명령을 사용하여 생성된 무작위 할당 코드가 각각 부여되었습니다. 생성된 무작위 테이블을 이용하여 참가자 등록 순서에 따라 무작위 할당 코드를 지정하였다.

환자 배정 내역은 평가자나 환자에게 알리지 않고 이중맹검 방식으로 각 병원의 물리치료사에게 제공됐다. 무작위 배정을 담당한 연구원은 본 연구가 끝날 때까지 배정 정보를 알지 못했습니다. 환자가 치료를 중단한 경우 해당 번호는 다시 사용되지 않으며, 해당 환자는 재신청할 수 없습니다. 눈가림 기술의 경우 모든 시술은 환자의 시야를 완전히 차단하는 장벽이 설치된 침대에서 수행되었습니다. 환자가 장벽에 들어갈 때까지 장비는 노출되지 않았습니다.

## 2.3. 간섭

두 그룹 모두 일주일에 3번, 4주에 걸쳐 총 10번의 치료를 받았습니다. 각 치료 세션 과정에서 치료는 15분 동안 시행되었습니다. RF 그룹은 HIPER-500 투열요법 장치를 활용하여 치료를 받았습니다.\* (JS-ON Corporation, 대한민국 서울), 45W/cm<sup>2</sup>라는 높은 수준을 적용( $\pm 20\%$ ) 출력 에너지(500에 서)Ω)4.4 MHz의 주파수에서 폴리amide 코팅 절연 전극을 사용하여 피험자의 치료 부위에 (그림 1a). 전극은 185mm 핸드피스에 결합된 70mm 직경의 양극이 있는 프로브와 150mm 크기의 음극으로 구성되었습니다. ×200mm. 두 전극 모두 알루미늄으로 제작되었으며 폴리amide 절연체로 코팅되어 CET 및 RET 방법의 조합을 통해 내부 저항으로 인해 변위 전류가 전극 표면에 고르게 분포되도록 했습니다. 전도성을 향상시키기 위해 양극과 환자의 피부 사이에 전도성 젤을 적용했습니다. 미국군은 초음파 장비인 Ultrasonic SUS-2N을 활용하여 치료를 받았습니다.\*(신진, 대한민국 서울), 3MHz의 주파수를 적용(그림 1b). 최대 전력 출력은 1.5W/m<sup>2</sup>, 강도는 백분율로 표시되었습니다. 두 그룹 모두 시술 중 과도한 온도 상승이나 환자의 불편함을 방지하기 위해 양극 프로브를 지속적으로 움직여 무릎 주변 부위에 적용했습니다. RF 또는 US 장치에 연결된 전극과 RF 및 US 장치의 외부 구성 요소는 참가자가 식별할 수 없도록 검정색 불투명 종이로 숨겨졌습니다. 치료 적용 기간은 두 그룹 모두에서 일관되었습니다. 본 연구에서는 RF 또는 US 치료를 각 군별로 개별적으로 시행하였으며, KOA에 대한 물리치료 등 동시 치료는 병행하지 않았다. KOA에 대해 유일하게 허용된 동시 치료는 NSAID의 사용이었습니다.



그림 1. 이 연구에 개입하기 위해 사용된 장치입니다. (A) 경피적 고주파 투열요법 장치, HIPER-500. (B) 초음파치료기 SUS-2N입니다.

2.4. 결과 측정

환자들은 기준선 평가, 5차 치료 후, 10차 치료 후, 모든 치료 세션 종료 후 4주 등 총 4회의 측정 세션 동안 평가를 받았습니다. 결과를 평가하기 위한 주요 척도는 통증 강도였습니다. 통증 강도는 0(통증 없음)부터 10(상상할 수 있는 가장 심한 통증)까지의 숫자 등급 척도(NRS)를 사용하여 측정되었습니다. 이차 결과는 WOMAC(Western Ontario 및 McMaster Universities Osteoarthritis Index) 점수, 보행 분석, Lequesne 지수 및 36개 항목 단축 건강 설문조사(SF-36)였습니다. WOMAC 점수와 SF-36에 대해서는 널리 사용되는 한국어 번역본을 찾을 수 있었습니다.<sup>15,16</sup>, 그러나 한국어판 Lequesne 지수는 찾을 수 없습니다. 그래서 우리는 Lequesne 지수의 영문판을 한국어로 번역했습니다.<sup>17</sup>. WOMAC 점수는 통증과 관련된 5가지 요인(0~20점), 강직과 관련된 2가지 요인(0~8점), 기능 제한과 관련된 17가지 요인(0~20점)을 평가합니다. 68). 점수가 높을수록 통증, 경직 및 기능적 제한이 증가함을 나타냅니다. 신체 기능과 관련된 질문에는 계단 이용, 앉거나 누운 자세에서 일어나기, 서기, 구부리기, 걷기, 차승하차, 쇼핑, 양말 신고 벗기, 눕기 등 다양한 일상 활동이 포함되었습니다. 침대에서, 욕조에 들어가거나 나가고, 앉고, 무겁고 가벼운 집안일을 수행합니다. 보행 분석을 위해 환자의 양쪽 종아리 중간 높이에 센서(Legsys, BioSensics, Newton, MA, USA)를 적용하고 30m 거리를 2회 걸었습니다. 보폭(m), 높이 백분율(%높이), 시간(초), 속도 1(m/s), 속도 2(%높이/s) 및 리듬(보폭/분)에 대한 정보를 제공했습니다. Lequesne index(LI)는 (1) 통증이나 불편함, (2) 최대 보행 거리, (3) 일상 생활 활동을 평가하는 11개의 질문으로 구성됩니다. SF-36은 일반적이고 일관되며 쉽게 관리할 수 있는 삶의 질 측정 세트를 포함합니다. SF-36은 활력, 신체 기능, 신체 통증, 일반적인 건강 인식, 신체 역할 기능, 정서적 역할 기능, 사회적 역할 기능, 정신 건강 및 정서적 웰빙의 8가지 척도 점수로 구성됩니다. 점수가 감소하면 장애 수준이 더 높다는 의미입니다. 점수가 높을수록 장애 수준이 낮음을 의미합니다. 구체적으로 0점은 최대 장애를 나타내고 100점은 장애가 없음을 나타냅니다. WOMAC 점수, Lequesne 지수, 보행 분석은 베이스라인에서 평가한 반면, 5차 및 10차 치료 후와 모든 치료 세션 종료 후 4주 후에 SF-36은 베이스라인과 모든 치료 세션 완료 후 4주 후에만 평가되었습니다. 치료, 체중, 활력 징후, 부작용 및 약물 섭취량(첫 번째 방문 후 1개월 이내)을 매 방문마다 기록했습니다. 초기 평가에서는 성별, 나이, 1년 이내의 복약 이력, 엑스레이 결과 등을 기록했다.

### 2.5. 통계 분석

표본 크기를 계산할 때 KOA 환자의 통증 감소를 위한 초점 저강도 펄스 초음파 치료와 관련된 참고 연구를 참고했습니다. 그룹 간 통증 점수의 평균 변화 차이(1.14)는 전후 NRS(Numeric Rating Scale) 변화의 차이를 가정하고 표준 편차는 1.878로 설정했습니다. 양측 유의수준 5%, 검정력 80%에서 계산된 피험자 수는 그룹당 43명이며, 탈락률 20%를 고려하여 총 108명(그룹당 54명)을 계산하였다.

통계 분석에는 학생의 활용이 포함되었습니다. E/-연령, 키, 체중, 맥박수, 혈압, NRS(Numeric Rating Scale), Lequesne 지수, WOMAC 점수, SF-36, 보폭, 보폭, 보폭 시간 및 케이던스를 포함하는 연속 변수에 대한 테스트입니다. 성별을 포함한 범주형 변수는 카이제곱 검정이나 피셔의 정확 검정을 사용하여 분석되었습니다. 데이터는 평균으로 표시됩니다. ±연속형 변수의 경우 표준 편차, 범주형 변수의 경우 숫자(%)로 표시됩니다. 통계적 유의성은  $p < 0.05$  미만의 값. 모든 통계 분석은 SAS(버전 9.4, 미국 노스캐롤라이나주 캐리) 및 R 소프트웨어(버전 4.04, R Foundation for Statistical Computing, 비엔나, 오스트리아)를 사용하여 수행되었습니다.

### 3. 결과

총 108명의 환자가 RF 그룹과 US 그룹에 무작위로 할당되었습니다. RF군에는 등록 후 치료 시작 전 마음을 바꿔 동의를 철회한 환자가 있었고, 감염병(COVID-19)으로 인해 치료 중 격리된 환자도 2명 있었다. 다른 모든 환자들은 4주간의 치료를 마쳤습니다(그림 2).

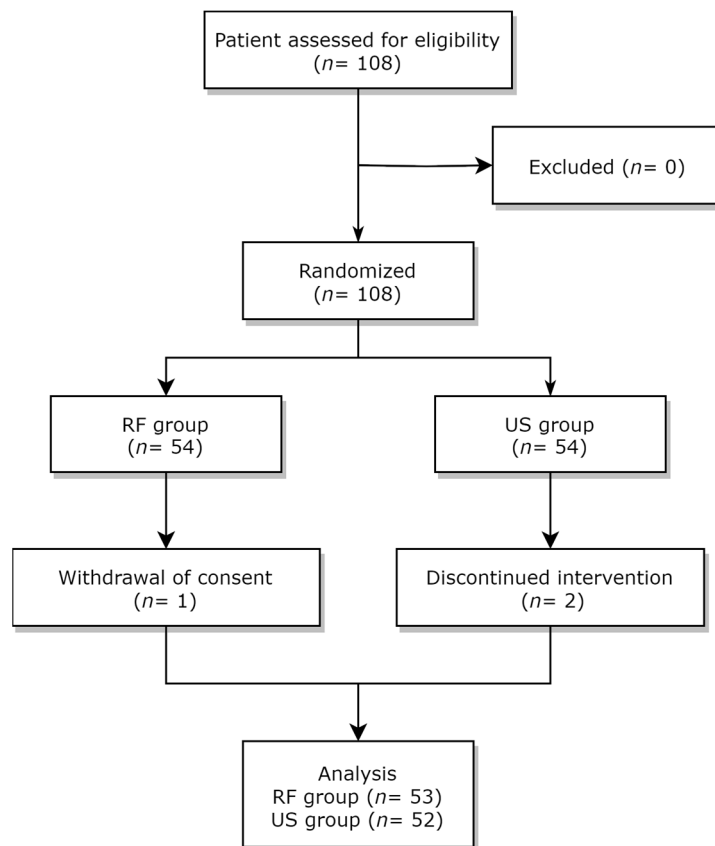


그림 2. 연구 설계를 보여주는 흐름도. 총 108명의 환자가 경피적 고주파(RF) 투여요법 그룹 또는 초음파 치료(US) 그룹에 무작위로 배정되었습니다.

테이블 1 연구에 등록된 참가자의 인구통계학적 특성을 표시합니다. 두 그룹 사이의 인구통계학적 데이터나 기본 신체 조건에서는 유의미한 차이가 발견되지 않았습니다.

1 번 테이블. 환자의 인구통계학적 특성.

	RF 그룹 (N=53)	미국 그룹 (N=52)	<i>p</i> -값
나이, 년	61.45 ± 5.05	60.85 ± 5.11	0.5420(1)
섹스			0.1625(2)
남성	1 (1.89%)	4 (7.69%)	
여성	52 (98.11%)	48 (92.31%)	
높이, cm	154.17 ± 5.42	154.96 ± 4.82	0.4324(1)
무게, kg	56.82 ± 6.70	58.27 ± 7.06	0.2847(1)
맥박수, bpm	75.57 ± 7.61	77.50 ± 7.48	0.1921(1)
수축기 혈압, mmHg	127.51 ± 11.51	130.56 ± 11.85	0.1842(1)
DBP, mmHg	78.06 ± 8.59	78.56 ± 8.45	0.7638(1)

데이터는 평균으로 표시됩니다. ±표준편차 또는 숫자(%); *p*-학생의 평가를 통해 평가된 가치 *F*-시험(1) 그리고 카이제곱 검정(2). RF: 무선 주파수. 미국: 초음파. bpm: 분당 비트수. SBP: 수축기 혈압. DBP: 확장기 혈압.

두 그룹의 NRS 점수 변화는 표에 나와 있습니다. 2. 초기 NRS는 4.42 ± 1.18 및 4.56 ± RF 및 US 그룹에서는 각각 1.06입니다. 5차 치료 이후 RF군의 NRS는 2.91로 감소했다. ±1.39, 그리고 2.23까지 ±10회 치료 후 1.12, 1.98 도달 ±치료 후 4주째에 1.25. 반면 미국 그룹의 NRS는 3.08로 하락했다. ±5차 치료 이후에는 1.12, 추가로 2.41 ±10회 치료 후 1.31, 2.25 도달 ±치료 4주 후 1.48. RF 및 US 그룹 모두 NRS 점수가 크게 감소한 것으로 나타났습니다. 그러나 두 그룹 간의 NRS 점수에는 큰 차이가 없었습니다.

표 2. NRS(Numeric Rating Scale)의 후속 조치 및 변경.

	RF 그룹 (N=53)	미국 그룹 (N=52)	그룹 내 평균 차이		그룹 간 평균 차이	<i>p</i> -값(1)
			RF 그룹	미국 그룹		
방문 1	4.42 ± 1.18	4.56 ± 1.06			- 0.16 [-0.60/0.27]	0.5165
방문 2	2.91 ± 1.39	3.08 ± 1.12	- 1.51 [-1.79/-1.23] **	- 1.51 [-1.78/-1.24] **	- 0.19 [-0.68/0.30]	0.4887
방문 3	2.23 ± 1.12	2.41 ± 1.31	- 2.19 [-2.48/-1.90] **	- 2.12 [-2.47/-1.76] **	- 0.24 [-0.72/0.25]	0.4401
방문 4	1.98 ± 1.25	2.25 ± 1.48	- 2.43 [-2.80/-2.07] **	- 2.31 [-2.73/-1.90] **	- 0.27 [-0.81/0.26]	0.3097

데이터는 평균으로 표시됩니다. ±표준편차, 평균차 [95% 신뢰구간];(1) *p*-학생을 사용하여 평가된 가치 *F*-그룹 간 테스트. 방문 1: 치료 시작 전(기준 평가); 방문 2: 5차 치료 후; 방문 3: 10번째 치료 후; 4차 방문: 치료 후 4주. RF: 무선 주파수. 미국: 초음파. \*\* 1차 방문과 비교하여 통계적으로 유의미한 그룹 내 차이를 나타냅니다(*p*<0.001).

WOMAC 점수와 LI의 변화가 표에 나와 있습니다. 3. 그리고 4, 각각. 치료가 시작됨에 따라 RF 그룹과 US 그룹 모두 WOMAC 점수의 각 구성 요소(통증, 경직, 활동성)는 물론 총 점수도 감소한 것으로 나타났습니다. 치료 후 4주차 방문까지 두 그룹 모두 기준선과 비교하여 모든 매개변수에 걸쳐 WOMAC 점수가 크게 감소한 것으로 나타났습니다. 그러나 통증 및 강직의 WOMAC 구성 요소와 전체 WOMAC 점수의 경우 치료 종료점에 비해 치료 후 4주 방문에서 더 높은 점수가 있었지만 이러한 차이는 두 그룹 모두 통계적으로 유의하지 않았습니다.

표 3. WOMAC 점수의 후속 조치 및 변경.

		RF그룹 (N=53)	미국 그룹 (N=52)	그룹 내 평균 차이		그룹 간 평균 차이	P-값(1)
				RF그룹	미국 그룹		
통증	방문 1	5.53 ±2.97	4.87 ±3.41			0.59 [-0.66/1.83]	0.2902
	방문 2	4.34 ±3.06	3.50 ±2.80	- 1.19 [-2.11/-0.26] *	- 1.37 [-2.4/-0.35] *	0.76 [-0.38/1.91]	0.1462
	방문 3	3.26 ±2.70	2.73 ±2.75	- 2.26 [-3.08/-1.45] **	- 2.13 [-2.97/-1.30] **	0.46 [-0.61/1.52]	0.3157
	방문 4	3.87 ±3.15	3.29 ±3.12	- 1.66 [-2.76/-0.56] *	- 1.59 [-2.56/-0.62] *	0.57 [-0.65/1.79]	0.3530
단단함	방문 1	2.09 ±1.60	1.54 ±1.51			0.56 [-0.05/1.16]	0.0701
	방문 2	1.60 ±1.45	1.10 ±1.45	- 0.49 [-0.99/0.01]	- 0.47 [-1.02/0.08]	0.55 [-0.01/1.11]	0.0749
	방문 3	1.23 ±1.32	0.88 ±1.13	- 0.87 [-1.35/-0.38] **	- 0.60 [-1.09/-0.10] *	0.28 [-0.21/0.77]	0.1573
	방문 4	1.30 ±1.55	1.06 ±1.41	- 0.79 [-1.26/-0.32] **	- 0.49 [-0.94/-0.04] *	0.24 [-0.33/0.82]	0.4050
활동	방문 1	17.47 ±11.51	15.69 ±11.82			1.38 [-3.17/5.92]	0.4362
	방문 2	13.06 ±9.85	10.13 ±8.16	- 4.42 [-7.91/-0.92] *	- 6.02 [-8.82/-3.22] **	2.79 [-0.78/6.35]	0.1012
	방문 3	10.53 ±9.49	9.67 ±9.01	- 6.94 [-10.10/-3.79] **	- 5.90 [-8.82/-2.99] **	0.34 [-3.38/4.05]	0.6362
	방문 4	10.11 ±10.08	9.61 ±9.67	- 7.36 [-10.70/-4.01] **	- 6.20 [-9.36/-3.03] **	0.51 [-3.34/4.35]	0.7949
총	방문 1	25.09 ±14.66	22.10 ±15.22			2.52 [-3.3/8.33]	0.3062
	방문 2	19.00 ±13.53	14.73 ±10.94	- 6.09 [-10.45/-1.74] *	- 7.86 [-11.67/-4.06] **	4.10 [-0.73/8.93]	0.0787
	방문 3	15.02 ±12.54	13.27 ±12.23	- 10.08 [-14.03/-6.12] **	- 8.63 [-12.33/-4.94] **	1.08 [-3.87/6.03]	0.4746
	방문 4	15.28 ±13.64	13.96 ±13.31	- 9.81 [-14.23/-5.39] **	- 8.27 [-12.36/-4.18] **	1.32 [-3.92/6.57]	0.6182

데이터는 평균으로 표시됩니다. ±표준편차, 평균차 [95% 신뢰구간]; P-평가된 가치  
 사용하여(1)재학생 E-그룹 간 테스트. 방문 1: 치료 시작 전(기준 평가); 방문 2: 5차 치료 후; 방문 3: 10번째 치료 후; 4차 방문: 치료  
 후 4주. \* 1차 방문과 비교하여 통계적으로 유의미한 그룹 내 차이를 나타냅니다(P<0.05); \*\* 1차 방문과 비교하여 통계적으로 유  
 의미한 그룹 내 차이를 나타냅니다(P<0.001).

표 4. Lequesne 지수의 후속 조치 및 변경.

	RF그룹 (N=53)	미국 그룹 (N=52)	그룹 내 평균 차이		그룹 간 평균 차이	P-값(1)
			RF그룹	미국 그룹		
방문 1	7.25 (3.20)	6.38 (3.41)			0.87 [-0.41/2.15]	0.1847
방문 2	6.16 (3.55)	5.43 (3.10)	- 1.08 [-2.01/-0.16] *	- 0.95 [-1.75/-0.16] *	0.66 [-0.64/1.96]	0.2661
방문 3	4.98 (3.38)	4.56 (3.21)	- 2.26 [-3.21/-1.32] **	- 1.75 [-2.43/-1.07] **	0.36 [-0.92/1.63]	0.5152
방문 4	5.06 (3.31)	4.75 (3.77)	- 2.19 [-3.2/-1.17] **	- 1.64 [-2.48/-0.8] **	0.30 [-1.08/1.68]	0.6652

데이터는 평균으로 표시됩니다. ±표준편차, 평균차 [95% 신뢰구간]; P-평가된 가치  
 사용하여(1)재학생 E-그룹 간 테스트. 방문 1: 치료 시작 전(기준 평가); 방문 2: 5차 치료 후; 방문 3: 10번째 치료 후; 4차 방문: 치료  
 후 4주. \* 1차 방문과 비교하여 통계적으로 유의미한 그룹 내 차이를 나타냅니다(P<0.05); \*\* 1차 방문과 비교하여 통계적으로 유  
 의미한 그룹 내 차이를 나타냅니다(P<0.001).

초기 니는 7.25였습니다. ±RF 그룹에서는 3.20, 6.38 ±미국 그룹에서는 3.41입니다. 5차 치료  
 후 RF군의 니는 6.16으로 감소했다. ±3.55에서 4.98로 더욱 감소했습니다. ±10번째 처리 후 3.38. 미  
 국 그룹에서는 니가 5.43으로 감소했습니다. ±5회 치료 후 3.10, 4.56으로 더욱 감소 ±3.21 10회 처리  
 후. 그러나 치료 후 4주째 추적관찰에서는 니가 5.06으로 소폭 증가하였다. ±RF 그룹에서는 3.31, 4.75  
 ±미국 그룹은 3.77입니다. 그럼에도 불구하고, 두 그룹 모두 치료 종료 시점과 치료 후 4주차 추적 조사  
 에서 기준치에 비해 니가 유의하게 감소한 것으로 나타났습니다. 치료 4주 후 니 값의 증가는 10차 치료  
 종료점과 비교할 때 통계적으로 유의하지 않았습니(P/RF 그룹과 US 그룹의 값은 각각 0.845와  
 0.533이었습니다. 또한, 각 시점에서 두 그룹 간에는 유의미한 차이가 관찰되지 않았습니.

SF-36에 대한 결과는 표에 요약되어 있습니다. 5. 각 평가 간격에서 SF-36 매개변수와 관련하여 두  
 그룹 간에 주목할만한 차이는 나타나지 않았습니. 그러나 기준선에 대한 그룹 내 비교의 맥락에서 신  
 체 통증 매개변수의 주목할 만한 개선은 RF 그룹 내에서만 관찰되었습니다. 반면, 기준선에 비해 일반적  
 인 건강 및 사회적 기능 측면에서 상당한 개선은 미국 그룹에서만 나타났습니. 두 그룹 모두 각자의 기  
 준 수준과 비교했을 때 신체 통증과 정신 건강이 개선된 것으로 나타났습니. 그럼에도 불구하고, 두 그  
 룬 모두 초기 기준선과 비교했을 때 총점에서 상당한 개선을 보였습니.

표 5. SF-36 점수의 후속 조치 및 변경.

		RF그룹 (N=53)	미국 그룹 (N=52)	그룹 내 평균 차이		그룹 간 평균 차이	P-값(1)
				RF그룹	미국 그룹		
물리적 작동	방문 1	62.08 ±21.27	66.15 (21.39)	7.45 [0.51/14.39] *	5.69 [-0.23/11.6]	- 4.18 [-12.42/4.07] - 2.63 [-10.37/5.12]	0.3295 0.5024
	방문 4	69.53 ±21.29	72.16 (18.36)				
역할 제한 - 물리적	방문 1	61.79 ±29.66	64.42 ±31시 45분	5.66 [-3.57/14.89]	6.37 [-1.31/14.05]	- 2.15 [-13.99/9.69] - 3.14 [-15.86/9.59]	0.6601 0.6261
	방문 4	67.45 ±32.74	70.59 ±32.67				
육체적 고통	방문 1	64.43 ±17.35	69.76 ±13.69	10.52 [4.49/16.54] *	6.72 [1.77/11.66] *	- 5.52 [-11.58/0.54] - 1.57 [-8.23/5.1]	0.0841 0.6419
	방문 4	74.95 ±16.67	76.52 ±17.59				
일반 건강	방문 1	53.87 ±15.37	53.46 ±16.79	2.83 [-1.18/6.84]	4.02 [0.72/7.32] *	0.5 [-5.74/6.74] - 0.95 [-7.67/5.77]	0.8973 0.7799
	방문 4	56.70 ±15.87	57.65 ±18.61				
활력	방문 1	54.91 ±17.31	57.50 ±14.87	2.45 [-1.98/6.88]	2.75 [-1.78/7.27]	- 2.4 [-8.66/3.85] - 2.84 [-9.29/3.62]	0.4123 0.3853
	방문 4	57.36 ±14.86	60.20 ±18.22				
사회의 작동	방문 1	67.45 ±18.24	68.51 ±17.06	1.42 [-3.98/6.81]	3.68 [-1.78/9.14] *	- 0.82 [-7.65/6.02] - 3.19 [-10.53/4.15]	0.7598 0.3906
	방문 4	68.87 ±19.71	72.06 ±17.96				
역할 제한 - 감정	방문 1	69.18 ±38.59	78.22 ±32.93	10.06 [-0.98/21.11]	8.49 [-2.89/19.87]	- 9.03 [-22.93/4.87] - 7.03 [-19.4/5.34]	2004년 0.04 0.2623
	방문 4	79.25 ±35.34	86.28 ±27.63				
정신 건강	방문 1	63.47 ±16.19	66.92 ±14.33	5.13 [1.16/9.1] *	4.24 [0.88/7.59] *	- 3.53 [-9.45/2.4] - 2.53 [-8.59/3.52]	0.2504 0.4087
	방문 4	68.60 ±15.20	71.14 ±15.95				
총	방문 1	497.18 ±125.01	524.95 ±106.71	45.53 [13.89/77.16]	41.94 [14.04/69.84] *	- 27.12 [-72.14/17.91] - 23.87 [-68.47/20.73]	0.2242 0.2909
	방문 4	542.71 ±114.34	566.58 ±114.93				

데이터는 평균으로 표시됩니다. ±표준편차, 평균차 [95% 신뢰구간]; P-평가된 가치 사용하여(1)재학생 E-그룹 간 테스트. 방문 1: 치료 시작 전(기준 평가); 방문 2: 5차 치료 후; 방문 3: 10번째 치료 후; 4차 방문: 치료 후 4주. \* 1차 방문과 비교하여 통계적으로 유의미한 그룹 내 차이를 나타냅니다(P<0.05).

보행 분석 결과는 표에 자세히 나와 있습니다. 6. 보행 분석 동안 두 그룹 모두 기준선에 비해 치료 횟수가 증가함에 따라 보폭이 증가하는 경향을 보였습니다. RF 그룹은 치료가 끝날 때 보폭이 눈에 띄게 증가한 것으로 나타났습니다. 두 그룹 모두 치료 후 4주간의 추적 조사에서 기본 측정치와 비교했을 때 상당한 보폭 증가를 보였습니다. 보폭 시간은 두 그룹 모두 기준선과 비교하여 유의미한 차이를 보이지 않았습니다. 두 그룹 모두 기준선에 비해 보폭이 증가하는 경향을 보였으며, RF 그룹은 치료 종료점과 4주 치료 후 추적 관찰에서 상당한 증가를 보였습니다. 미국 그룹은 치료 후 4주간의 추적 조사에서 보폭이 크게 증가한 것으로 나타났습니다. RF 그룹에서만 4주간의 치료 후 평가에서 케이던스가 크게 증가한 것으로 나타났습니다. 그럼에도 불구하고 각 평가 지점의 보행 분석 매개변수에 대해 두 그룹 간에는 뚜렷한 차이가 없었습니다.

표 6. 보행 분석의 후속 조치 및 변경.

		RF그룹 (N=53)	미국 그룹 (N=52)	그룹 내 평균 차이		그룹 간 평균 차이	P-값(1)
				RF그룹	미국 그룹		
보폭 (센티미터)	방문 1	1.16 ±0.19	1.18 ±0.16	0.02 [-0.02/0.07] 0.06 [0.01/0.11] * 0.06 [0.02/0.11] * 0.06 [0.02/0.11] *	0.02 [-0.01/0.05] 0.03 [-0.01/0.07] 0.06 [0.02/0.1] *	- 0.02 [-0.08/0.05] - 0.02 [-0.08/0.04] 0.02 [-0.03/0.06] - 0.02 [-0.06/0.03]	0.7047 0.9740 0.4361 0.4321
	방문 2	1.19 ±0.17	1.18 ±0.17				
	방문 3	1.22 ±0.11	1.21 ±0.12				
	방문 4	1.23 ±0.10	1.24 ±0.13				
%보폭 (%키)	방문 1	75.45 ±11.96	76.19 ±9.80	1.33 [-1.56/4.21] 3.99 [0.84/7.14] * 4.04 [1.05/7.03] *	1.23 [-0.92/3.38] 1.88 [-0.56/4.32] 3.29 [0.76/5.82] *	- 0.73 [-4.97/3.5] - 1.03 [-4.79/2.73] 1.34 [-1.67/4.35] - 0.10 [-2.92/2.72]	0.8014 0.9057 0.3901 0.9442
	방문 2	76.78 ±10.49	77.81 ±8.84				
	방문 3	79.41 ±7.63	78.07 ±7.85				
	방문 4	79.49 ±6.67	79.59 ±7.81				
보폭 시간 (비서)	방문 1	1.03 ±0.07	1.03 ±0.08	- 0.01 [-0.02/0.01] 0.00 [-0.02/0.02] - 0.02 [-0.03/0]	0.01 [-0.01/0.03] 0.00 [-0.02/0.02] 0.00 [-0.02/0.02]	0.01 [-0.02/0.04] - 0.01 [-0.04/0.02] 0.01 [-0.02/0.03] 0.00 [-0.03/0.02]	0.5335 0.4924 0.6223 0.7332
	방문 2	1.03 ±0.07	1.04 ±0.08				
	방문 3	1.03 ±0.06	1.03 ±0.07				
	방문 4	1.02 ±0.07	1.02 ±0.07				



표 6. 계속

		RF그룹 (N=53)	미국 그룹 (N=52)	그룹 내 평균 차이		그룹 간 평균 차이	P-값(1)
				RF그룹	미국 그룹		
보속 (센티미터/초)	방문 1	1.14 ±0.20	1.16 ±0.18			- 0.03 [-0.1/0.05]	0.6472
	방문 2	1.18 ±0.19	1.17 ±0.21	0.03 [-0.01/0.08]	0.02 [-0.02/0.06]	- 0.01 [-0.08/0.06]	0.8277
	방문 3	1.21 ±0.14	1.21 ±0.14	0.07 [0.02/0.12] *	0.04 [-0.01/0.08]	0.01 [-0.05/0.06]	0.8687
	방문 4	1.23 ±0.13	1.23 ±0.15	0.08 [0.03/0.13] *	0.07 [0.02/0.11] *	- 0.01 [-0.06/0.05]	0.8151
%보폭 (%)	방문 1	74.19 ±13.38	75.79 ±11.73			- 1.60 [-6.47/3.28]	0.6774
	방문 2	76.27 ±12.16	76.88 ±11.38	2.08 [-0.95/5.11]	1.07 [-1.28/3.43]	- 0.61 [-5.17/3.95]	0.7810
	방문 3	78.66 ±9.56	77.89 ±9.32	4.47 [1.19/7.75] *	2.1 [-0.92/5.12]	0.77 [-2.89/4.42]	0.7430
	방문 4	79.55 ±8.86	79.6 ±9.45	5.36 [2.07/8.64] *	4.06 [1.15/6.96] *	- 0.05 [-3.61/3.51]	0.9783
운동 (걸음/분)	방문 1	115.98 ±7.11	115.99 ±7.52			- 0.12 [-2.93/2.7]	0.9991
	방문 2	116.94 ±7.65	115.90 ±7.78	0.95 [-0.39/2.29]	- 0.14 [-1.85/1.58]	0.95 [-2.03/3.93]	0.4913
	방문 3	116.69 ±7.20	117.63 ±7.42	0.7 [-0.74/2.14]	1.31 [-0.21/2.84]	- 0.73 [-3.57/2.12]	0.5141
	방문 4	118.34 ±7.80	117.67 ±7.37	2.35 [0.53/4.17] *	1.53 [-0.13/3.19]	0.67 [-2.29/3.62]	0.6553

데이터는 평균으로 표시됩니다. ±표준편차, 평균차 [95% 신뢰구간]; P-평가된 가치  
 사용하여(1)재학생 t-그룹 간 테스트. 방문 1: 치료 시작 전(기준 평가); 방문 2: 5차 치료 후; 방문 3: 10번째 치료 후; 4차 방문: 치료  
 후 4주. \* 1차 방문과 비교하여 통계적으로 유의미한 그룹 내 차이를 나타냅니다(P<0.05).

4. 토론

본 연구에서는 새로 개발된 심부 온열 요법 접근법인 4.4MHz RF 투열요법과 미국 치료 치료의 효과를 비교했습니다. 우리의 목표는 골관절염으로 인한 무릎 통증을 겪고 있는 환자의 통증을 완화하고 기능적 회복을 향상시키는 것이었습니다. 두 그룹 모두 10회 치료 세션 후 NRS, WOMAC, LI, SF-36 및 보행 분석 매개변수가 개선된 것으로 나타났습니다. 이러한 개선은 치료 종료 후 4주 동안 지속되었습니다. 대부분의 결과에서는 두 그룹 사이에 유의미한 통계적 차이가 관찰되지 않았습니다.

온열요법은 통각 활동을 감소시키고 혈류를 증가시키며 근육 이완을 촉진하고 염증성 사이토카인을 조절하여 통증을 조절합니다.<sup>18</sup>. 일반적으로 열은 세포와 조직의 화학적 활동과 대사율을 증가시켜 혈관 확장과 혈류 증가를 초래합니다. 혈류가 증가하면 영양분, 산소, 백혈구 및 항체를 전달하여 조직 회복이 촉진됩니다. 또한, 증가된 혈관 투과성은 식세포와 대식세포를 병변에 통합시켜 독소와 괴사 물질을 제거할 수 있게 해줍니다. 또한, 온도를 높이면 염증반응에 관여하는 다양한 효소의 활성이 억제되어 만성염증반응 억제, 통증완화, 기능개선을 촉진합니다. 또한, 온도가 상승하면 통증 신호를 전달하는 C-섬유의 감각 신경 전도 속도가 감소하고 통증 역치가 높아져 통증 입력의 전달이 감소하고 진통 효과가 강화됩니다.<sup>18,19</sup>.

이 연구에서 우리는 용량성 전기 전달(CET)과 저항성 전기 전달(RET)을 모두 통합한 4.4MHz RF 투열요법을 사용했습니다. CET는 주로 전극에 가까운 표면 온도 상승을 생성하며 열을 더 깊은 조직으로 효율적으로 전달하는 데 한계가 있습니다. 대조적으로, RET는 힘줄, 뼈, 인대를 포함한 관절 구조와 같이 더 높은 저항을 특징으로 하는 심부 조직 내의 통증을 완화하는 데 효과적입니다.<sup>20</sup>. KOA 치료에 이 두 가지 방식의 장점을 추구하려는 노력이 이루어져 왔습니다. 용량성 방식의 낮은 투자율 한계는 유전체 재료를 사용하여 에너지를 적용함으로써 절충될 수 있습니다. 이 방법은 고주파 전자기 신호를 사용하여 조직 투과성을 높일 수 있습니다. KOA 환자의 통증을 효과적으로 완화시키고, 운동범위를 향상시키며, 삶의 질을 향상시키는 것으로 보고되었습니다.<sup>11,21</sup>. 한편, 용량성 및 단극성 모드의 조합을 통해 448kHz 에너지 전달을 사용한 임상 연구에서는 수술 후 통증 감소, 보행 능력 및 운동 범위의 개선도 보고되었습니다.<sup>13</sup>.

이러한 치료 효과는 혈류 증가 및 세포 대사 활성뿐만 아니라 근긴장 감소 및 조직 증가와도 관련이 있는 것으로 생각됩니다.

확장성 [13]. 이러한 효과는 재생 반응을 촉진하고 물리 치료를 통해 장기적인 효과를 나타낼 수 있지만 일시적일 수 있습니다. 본 연구에서 통계적으로 유의미한 것은 아니지만, 치료 종료 1개월 후 치료 효과가 감소하는 경향을 보인 것은 아마도 이러한 이유와 관련이 있을 것으로 생각된다. 따라서 이러한 치료 효과의 장기적인 지속성에 대한 추가 연구가 권장됩니다.

투열요법 장비의 치료 효과는 다른 주파수를 사용할 때 달라질 수 있습니다. 활성 프로브와 불활성 세라믹 플레이트 사이에서 에너지를 생성하여 일관성을 보장하는 HIPER-500 장치는 KOA 환자의 심부 관절 부위에 깊고 균일한 에너지를 전달할 수 있는 잠재력을 가지고 있습니다. 이 장치는 쥐의 피부와 근육을 손상시키지 않으면서 근육 부종을 감소시키고 항염증 반응을 유도하는 치료 효과를 입증했습니다. [22]. 카데바 연구에서 무릎에 고주파 치료를 적용하면 출력 수준에 따라 관절낭과 관절 내부에 열 효과를 전달할 가능성이 있는 것으로 나타났습니다. [20]. 그러나 이 연구는 시체에 적용하는 것이 혈류의 존재 여부와 기타 체온 조절 메커니즘에 따라 인간에게 다른 영향을 미칠 수 있기 때문에 필요했습니다.

KOA 관련 통증은 여러 메커니즘에 의해 발생합니다. 뼈, 연골, 골수, 윤활막염 등 각 조직의 신경 구조가 무릎 통증과 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다. [23]. 이러한 신경의 위치를 찾아 주사나 절제를 통해 무릎 통증을 완화하려는 노력이 이루어져 왔습니다. 그럼에도 불구하고 무릎의 복잡한 신경 조절 구조를 고려할 때 이 작업은 매우 어려운 작업임이 입증되었습니다. [24]. 무릎을 지배하는 감각 신경은 주로 대퇴 신경과 좌골 신경에서 유래하는 것으로 생각됩니다. 그러나 무릎 높에서는 수많은 복잡한 가지로 나누어지고 넓은 범위에 걸쳐 퍼집니다. [25]. 따라서 더 넓은 부위에 퍼져 있는 다양한 무릎 조직을 대상으로 하는 것이 더 효과적일 수 있습니다. 본 연구에서는 치료 횟수에 따라 통증이 점진적으로 감소하는 것으로 나타났습니다. 반복투여에 따른 치료범위 확대도 한 요인으로 판단된다.

이번 연구에서 해당 치료법은 통증 감소뿐 아니라 기능 개선 효과도 입증됐다. KOA의 원인은 무릎 관절 내부의 문제뿐만 아니라 관절 외부에 위치한 조직에서도 발생할 수 있습니다. [26]. 기능적 능력의 이러한 제한은 특정 작업의 맥락을 넘어서 시간 및 환경 조건과 같은 변수를 포괄하는 요인의 영향을 받습니다. 따라서 이러한 기능을 평가하기 위해 WOMAC 및 NI와 같은 평가 도구가 사용되었습니다. 이 접근법은 주로 다양한 요인에 의해 좌우되는 염증 반응의 복잡한 조절에 뿌리를 두고 있습니다. 이 반응의 역할은 순환 패턴으로 상호 작용하여 궁극적으로 조직 복구에 기여하는 다양한 사이토카인, 효소, 호르몬 및 관련 요소를 포함합니다. 그러나 이러한 반응이 충분한 조직 복구로 이어지지 않고 반복적으로 발생하면 만성 통증이 발생한다 [27]. 온열 요법은 이러한 반응을 촉진하여 궁극적으로 염증을 줄이고 손상된 조직의 회복을 돕습니다. [18]. 따라서 본 연구에서 사용된 치료법은 적절하게 투여될 경우 기능 향상을 촉진할 가능성이 있다고 추론할 수 있습니다.

본 연구에서는 환자의 주관적 경험을 바탕으로 평가한 NRS 점수와 WOMAC 점수에 있어서 군간 유의미한 차이가 관찰되지 않았다. 반면에, 보행 분석은 이들 테스트에 비해 보다 객관적인 측정을 기반으로 수행되었습니다. 본 연구에서는 그 차이의 크기가 크지는 않았지만 RF 그룹 내에서는 보폭, 속도, 분당 걸음 수의 상당한 증가가 관찰되었습니다. 이러한 결과는 보행 시 사용되는 근육의 힘, 균형감각, 통증으로 인한 한계 등을 객관적으로 반영했다는 점에서 의미가 크다. 즉, 환자가 주관적으로 느낄 수 있는 차이는 없었지만 RF 그룹에서 보다 광범위하고 균일한 에너지 전달 효과로 인해 보행 기능이 향상되었을 수 있습니다. 추가적인, 보다 정확한 연구가 필요하지만, 이러한 발견은 후속 골관절염 치료 조사의 효능을 객관적으로 평가하기 위한 도구로서 중요한 의미를 가질 수 있습니다.

이 연구에는 몇 가지 한계가 있었습니다. 첫째, KL 등급 1, 2를 획득한 KOA 환자에게만 초점을 맞춰 연구 결과를 환자에게 일반화하는 데 한계가 있었습니다.

KOA가 더 심하거나 KL 등급이 더 높은 경우. 둘째, 다른 연구에서 입증된 것처럼 치료 결과를 평가하는 것이 중요함에도 불구하고 환자 만족도는 평가되지 않았습니다. 향후 연구에서는 보다 포괄적인 이해를 제공하기 위해 환자 만족도 평가를 통합해야 합니다. 또한, 이 연구에서는 RF 투열요법과 초음파 치료 모두에 일관된 강도가 사용되었는지 여부를 검증하지 못했습니다. 다양한 강도 수준에서 얻은 결과를 비교하는 것이 중요합니다. 또한, 본 연구에서는 장기 추적 데이터가 부족하여 치료의 지속적인 효과와 지속 가능성을 평가하는 데 어려움이 있었습니다. 장기간의 후속 연구를 수행하는 것은 치료 결과의 지속적인 효능을 평가하는 데 중요합니다.

이러한 한계를 해결하기 위해 향후 연구에서는 더 큰 표본 크기를 포함하고, 환자 만족도 평가를 통합하고, 다양한 강도 수준을 탐색하고, 치료 결과에 대한 이해를 높이기 위한 장기 추적 평가를 포함해야 합니다.

## 5. 결론

우리 연구 결과에 따르면 경피적 RF 투열요법은 KOA 환자의 통증 완화 및 기능적 능력 향상에 있어 미국 치료와 유사한 효능을 입증했습니다. 비침습적 KOA 치료의 효능을 향상시키기 위해서는 추가 연구가 필수적입니다.

**저자 기여:** 개념화, YJ, JBC 및 JCK; 데이터 큐레이션, YJ, LGJ, SL 및 HS; 공식 분석, LGJ, DN 및 SL; 조사, YJ, JBC 및 JCK; 방법론, YJ, JBC와 JCK; 검증, YJ, JBC 및 JCK; 집필—원고 준비, YJ, LGJ, JBC와 JCK; 집필—검토 및 편집, YJ, JBC 및 JCK; 시각화, DN, SL 및 HS 모든 저자는 출판된 원고 버전을 읽고 동의했습니다.

**자금:** 본 연구는 과학기술정보통신부, 산업통상자원부, 보건복지부, 식품의약품안전처 등 정부의 지원을 받는 한국 의료기기개발기금의 지원을 받았습니다. 의약품 안전 (프로젝트 번호: RS-2020-KD000224).

**기관 검토 위원회 성명서:** 본 연구는 헬싱키 선언의 원칙을 준수했으며, 무작위대조시험은 임상시험심사위원회(IRB) 및 병원 연구윤리위원회(대한민국 고려대학교 안암병원, IRB 프로토콜 번호 2021AN0154, 아주대학교)의 승인을 받았습니다. 대한민국 병원, IRB 프로토콜 번호 AJOUIRB-DEV-2020-607). 해당 임상시험은 임상연구정보서비스 프로토콜 등록 시스템에도 등록되었습니다(참조:<https://cris.nih.go.kr/>, KCT0006585, 2021년 8월 9일에 액세스함).

**사전 동의서:** 모든 연구 참가자는 참여하기 전에 사전 동의를 제공했습니다. 이 논문을 출판하기 위해 환자로부터 서면 동의를 얻었습니다.

**데이터 가용성 설명:** 본 연구에서 활용 및/또는 분석된 데이터 세트는 합당한 요청이 있을 경우 교신 작성이 액세스할 수 있습니다.

**이해 상충:** 저자는 이해 상충을 선언하지 않습니다.

## 참고자료

1. JN 카츠; 아란트, KR; Loeser, 고관절 및 무릎 골관절염의 RF 진단 및 치료: 검토. *자마* 2021, 325, 568-578. [CrossRef] [퍼브메드]
2. 목, A.; 카우, KT; 루벤, R.; 웨어햄, N.; Brage, S. 신체 활동 궤적 및 사망률: 인구 기반 코호트 연구. *BMJ* 2019, 365, l2323. [CrossRef] [퍼브메드]
3. 브로소, L.; KA 영; 로빈슨, V.; 마르상, S.; 저드, M.; 웰스, G.; Tugwell, P. 골관절염 치료를 위한 온열요법. *코크란 데이터베이스 시스템 리뷰* 2003년, 2003년, CD004522. [CrossRef] [퍼브메드]
4. ES, 파파도풀로스; Mani, R. 근골격 연조직 통증 관리에서 초음파 치료의 역할. *국제 J. 낮은 극단. 상처* 2020, 19, 350-358. [CrossRef]
5. 반 데르 빈트, D.; 반 데르 하이덴, G.; 반 덴 버그(SGM); Ter Riet, G.; 드 윈터, AF; Bouter, LM 근골격계 질환에 대한 초음파 치료: 체계적인 검토. *통증* 1999년, 81, 257-271. [CrossRef] [퍼브메드]
6. 밀러, DL; 스미스, NB; 미스터 베일리; 차르노타, GJ; 하이덴, K.; 마킨, IR; 미국 초음파 의학 연구소의 생체 효과 위원회. 치료용 초음파 적용 및 안전 고려사항 개요. *J. 초음파 의학* 2012년, 31, 623-634. [CrossRef]

7. LO 단타스; MC 오사니; Bannuru, RR 무릎 골관절염에 대한 초음파 치료: 등급 품질 평가를 통한 체계적인 검토 및 메타 분석. *브라즈. J. Phys. 거기.* **2021**,25, 688-697. [[CrossRef](#)]
8. 쿠마란, B.; Watson, T. 448kHz 용량성 저항성 단극 무선 주파수의 국소 치료 적용에 대한 열 축적, 부패 및 유지 반응: 건강한 성인을 대상으로 한 전향적 무작위 교차 연구. *국제 J. 하이퍼스.* **2015년**,31, 883-895. [[CrossRef](#)]
9. 이재호; 하세요, JG; 박현주; 이영태; 김수진 요통에 대한 4.4MHz 고주파 심부 온열 요법과 초음파의 효과 비교: 무작위, 이중 맹검, 다기관 시험. *J. 클린. 메드.* **2022년**,11, 5011. [[CrossRef](#)]
10. 김기광; 원영화; 박, SH; 서진호; 김동훈; 이현; 고MH, 어깨 통증 및 장애 환자를 대상으로 새로 개발된 고주파를 이용한 치료용 심부 온열 장치의 효과: 예비 연구. *통증 해결. 관리.* **2019**,2019, 8215371. [[CrossRef](#)] [[퍼브메드](#)]
11. 가르시아-마린, M.; 로드리게스-알마그로, D.; 카스텔로테-카바예로, Y.; 아찰란다바소-오초아, A.; 로마스-베가, R.; Ibanez-Vera, AJ 무릎 관절성형술의 수술 후 단계에서 비침습적 고주파 기반 투열요법의 효능: 이중 맹검 무작위 임상 시험. *J. 클린. 메드.* **2021**,10, 1611. [[CrossRef](#)] [[퍼브메드](#)]
12. 쿠마란, B.; Watson, T. 448kHz 용량성 저항성 단극 고주파를 사용한 치료는 무릎 관절 골관절염 환자의 통증과 기능을 개선합니다. 무작위 대조 시험. *물리치료* **2019**,105, 98-107. [[CrossRef](#)]
13. 쿠마란, B.; Watson, T. 무릎 관절 골관절염 환자의 용량성 저항성 단극 고주파 전자기 방사선에 대한 열생리학적 반응: 무작위 대조 실험 연구. *전자석. Biol. 메드.* **2021**,40, 210-221. [[CrossRef](#)]
14. 알보르노스-카벨로, M.; 아이바네즈-베라, AJ; 바리오스-퀸타, CJ; 라라팔로모, IC; MLA 카르데로-듀란; Espejo-Antunez, L. 슬개대퇴 통증 증후군 환자의 통증 및 기능에 대한 고주파 투열요법과 치료 운동의 효과: 무작위 대조 시험. *J. 클린. 메드.* **2023년**,12, 2348. [[CrossRef](#)]
15. 태성, K.; 성열, K.; 종수, L. 무릎 골관절염 환자에서 한국 서부 온타리오 대학교 맥마스터 대학(WOMAC) 골관절염 지수의 신뢰성과 타당도. *J. 오리엔트. 재할. 메드.* **2009년**,19, 251-260.
16. 권오. 신경근 장애의 건강 관련 삶의 질 도구. *J. Korean Neurol. 협회* **2021**,39, 93-109. [[CrossRef](#)]
17. Lequesne, M. 골관절염의 중증도 및 질병 활동 지수. *세민 관절염 류음.* **1991년**,20, 48-54. [[CrossRef](#)] [[퍼브메드](#)]
18. 조지아주 말랑가; 안, N.; Stark, J. 근골격 손상에 대한 열 및 냉 요법의 메커니즘 및 효능. *대학원. 메드.* **2015년**,127, 57-65. [[CrossRef](#)] [[퍼브메드](#)]
19. SF 내들러; 와인간드, K.; Kruse, RJ 통증 치료를 위한 냉동요법과 온열요법의 생리학적 기초와 임상적 적용. *통증의사* **2004년**,7, 395-399. [[CrossRef](#)] [[퍼브메드](#)]
20. 로드리게스-산츠, J.; 페레스-벨문트, A.; 로페즈-드-셀리스, C.; 루차-로페즈, OM; 곤잘레스-루에다, V.; 트리카스-모레노, JM; 사이먼, 중.; Hidalgo-Garcia, C. 다양한 무릎 구조에 대한 용량성 저항성 전기 전달 적용의 열 및 비열 효과: 사체 연구. *과학. 대표.* **2020**,10, 22290. [[CrossRef](#)] [[퍼브메드](#)]
21. 알보르노스-카벨로, M.; 아이바네즈-베라, AJ; 메인주 아길라르-페란디즈; Espejo-Antunez, L. 슬개대퇴 통증의 고주파 방출에 의한 단극 유전체 투열요법. 단일 맹검 무작위 임상 시험. *전자석. Biol. 메드.* **2020**,39, 282-289. [[CrossRef](#)] [[퍼브메드](#)]
22. 남서부 문; 박은호; 박재수; 이승훈; 서, HR; 박, SH; 윤시즈; 박권수; 한HC 통증 완화 효과  
위의 급성 무릎 관절염에 대한 4.4MHz 펄스 고주파. *통증의료* **2020**,21, 1572-1580. [[CrossRef](#)] [[퍼브메드](#)]
23. 오닐, TW; Felson, 골관절염(OA) 통증의 DT 메커니즘. *현재 골다공증. 대표.* **2018**,16, 611-616. [[CrossRef](#)]
24. 코세, SG; 코세, HC; 셀리켈, F.; Akkaya, OT 초음파 유도 무릎 무선주파수 절제에 대한 성공적인 반응과 관련된 예측 요인. *한국어 제이페인* **2022년**,35, 447-457. [[CrossRef](#)] [[퍼브메드](#)]
25. 폰코우에, L.; 베헤츠, C.; 쿠아시, JK; 코이에트, M.; Detrembleur, C.; 티엔폰트, E.; Cornu, O. 무릎 관절낭을 공급하는 감각 신경의 분포와 무릎 봉쇄 및 고주파 절제에 대한 영향: 해부학적 연구. *외과. 라디올. 아나트.* **2019**,41, 1461-1471. [[CrossRef](#)] [[퍼브메드](#)]
26. 톱타스, H.; 던다, U.; 아다르, S.; 솔락, O.; Ulasli, AM 무릎 골관절염 환자의 안세리누스 힘줄 및 안세리누스 건염 활액낭염 증후군에 대한 초음파 검사 평가. *모드 류마툼.* **2015년**,25, 128-133. [[CrossRef](#)] [[퍼브메드](#)]
27. Jiang, Y. 골관절염 2021년 검토: 생물학. *골관절염. 카르틸.* **2022년**,30, 207-215. [[CrossRef](#)]

**면책조항/게시자 메모:** 모든 출판물에 포함된 진술, 의견 및 데이터는 MDPI 및/또는 편집자의 것이 아닌 개별 저자 및 기여자의 것입니다. MDPI 및/또는 편집자는 콘텐츠에 언급된 아이디어, 방법, 지침 또는 제품으로 인해 발생하는 인명 또는 재산 피해에 대해 책임을 지지 않습니다.