



집속초음파 치료의 한의 임상 활용에 대한 고찰

최유민^{1*} · 이마음^{2*} · 허나연³ · 이은희⁴ · 최혁용⁵ · 서형식⁶ · 황의형⁷ · 장인수³

¹우석대학교 한의과대학 침구의학교실, ²한방레이저의학회, ³우석대학교 한의과대학 한방내과학교실, ⁴우석대학교 한의과대학 한방부인과학교실, ⁵법무법인 태평양, ⁶부산대학교한방병원 한방안이비인후피부과, ⁷부산대학교 한의학전문대학원 임상의학3교실

Clinical Application of Focused Ultrasound in Korean Medicine

Yoomin Choi^{1*}, Maeum Lee^{2*}, Nayeon Hur³, Eunhee Lee⁴, Hyugyong Choi⁵,
Hyung-Sik Seo⁶, Eui-Hyoung Hwang⁷, Insoo Jang³

¹Department of Acupuncture & Moxibustion Medicine, College of Korean Medicine, Woosuk University,
²Korean Medical Association for Laser Therapy,
³Department of Internal Medicine, College of Korean Medicine, Woosuk University,
⁴Department of Korean Obstetrics & Gynecology, College of Korean Medicine, Woosuk University,
⁵Bae, Kim & Lee LLC lawyer,
⁶Department of Ophthalmology, Otolaryngology and Dermatology, Pusan National University Hospital,
⁷Third Division of Clinical Medicine, School of Korean Medicine, Pusan National University

Objectives : The purpose of this study is to investigate various application methods of focused ultrasound and apply them to clinical use in Korean medicine. **Methods :** Search was performed using the search engines of electronic databases, including PubMed, ScienceDirect, Cumulative Index to Nursing and Allied Health Literature (CINAHL), ScienceON, Oriental Medicine Advanced Searching Integrated System (OASIS), China National Knowledge Infrastructure (CNKI), Wanfang Data, Japan Science Technology Information Aggregator, Electronic (J-STAGE) and Citation Information by NII (CiNii), from inception to July 2023 without language limitation. Inclusion criteria were clinical studies including randomized controlled trials (RCTs), and animal experimental studies related with focused ultrasound treatments for acupoints or meridian sinews. **Results :** Total 17 papers, 7 for RCT, 6 for in vivo animal studies, and other experimental studies, were finally selected. Indications used in studies were shoulder pain, back pain, chronic back pain, and degenerative knee arthritis. In experimental studies, studies on animal models of hypoxic ischemic brain damage and hyperlipidemia were also conducted. As for the acupoints, LR3, LI4, and ST36 were used in clinical studies and, in animal experimental studies, GV20, KI1, and ST36 were used. As for the dose, 4 studies below 3 W/cm² and 3 studies in the range of 0.625 to 5 W/cm² in clinical studies, and all studies did not exceed 5 W/cm². In animal experimental studies, 0.5 W/cm², 2 W/cm², 7.5 W/cm², 15 W/cm², 10~20 W/cm² were used. In all three studies describing the penetration depth during irradiation, it was less than 1 cm. **Conclusions :** We suggest that focused ultrasound is an appropriate treatment tool for stimulating the acupoints to transfer heat energy. Future studies with rigorous and well-designed RCTs for various diseases will be required to ascertain the focused ultrasound stimulate acupoints or meridian sinews.

Key words : focused ultrasound, acupuncture, acupoint, korean medicine

Received August 4, 2023, Revised September 11, 2023, Accepted September 11, 2023

Corresponding author: **Insoo Jang**

Department of Internal Medicine, College of Korean Medicine, Woosuk University, 46 Eoeun-ro, Wansan-gu, Jeonju 54987, Korea
Tel: +82-63-220-8608, Fax: +82-63-227-6234, E-mail: mackayj@naver.com

*These authors have contributed equally to this work.

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022R1C1C101109612). 연구비 지원기관은 연구의 설계, 자료 수집과 분석, 출판결정, 원고 작성에 어떠한 영향도 없었음을 밝힌다.

© This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

서론

초음파는 사람의 가청범위(16 Hz~20 kHz) 이상의 주파수를 가진 음향적 압력파(acoustic pressure wave)로 기술개발과 더불어 진단, 치료 및 수술 영역에서 다양하게 활용되고 있다¹⁾.

치료용 초음파는 1977년 『동의자연요법대전』에 한의 치료 요법으로 소개되어 있을 만큼 오랫동안 사용된 ‘한방물리요법’에 속한다^{2,3)}. 초음파 치료는 인체의 피하 조직과 근육층에 위치하는 경혈(經穴) 경근(經筋)에 열 자극을 전달하는 것을 목적으로 하며, ‘경근초음파’, ‘경혈초음파’, ‘혈위초음파’와 같은 명칭으로 활용되어 왔다⁴⁾.

집속초음파 치료는 집속형의 초음파 빔 조사를 통해 목표 지점 조직에 빠른 온도 상승을 유발할 수 있는 치료법이다. 집속 초음파의 치료 원리는 매질에 흡수된 초음파 에너지가 열에너지로 전환되어 조직의 온도가 증가되는 열 효과(thermal effect)와 초음파의 음압에 의해 형성된 공기 방울이 깨지며 캐비테이션(cavitation)이 발생하는 기계적 효과(mechanical effect)로 나눌 수 있다⁵⁾. 집속 초음파 치료는 강도(intensity)에 따라 치료 목적에 차이가 있어, 암 등의 종양 질환에 선택적 파괴를 위해 사용되는 1,000 W/cm² 이상의 high-intensity focused ultrasound (HIFU)와 열 효과를 이용한 저강도 범위(10 mW/cm²~50 W/cm²)의 low-intensity focused ultrasound (LIFU)로 분류하기도 한다⁶⁾. 국내에서는 기술 개발과 더불어 새로운 품목의 분류 필요성이 대두된 바, 2016년 식약처는 「의료기기 품목 및 품목별 등급에 관한 규정」의 개정을 통해 집속형초음파자극시스템(A35100.02, 3등급) 항목을 분리 신설 하였다⁶⁾. 따라서 현재 식약처의 기준에 따르면 집속 초음파 기기는 고강도집속형초음파수술기와 집속형초음파자극시스템으로 분류된다.

집속 초음파 치료는 한의학 임상에서도 활용 가치가 높은 치료 기술로, 현재 종양 치료, 피부 리프팅뿐 아니라 관절 강직과 근 경련 감소, 골절 치유 및 연골세포 재생 등 근골격계 분야에서도 다양하게 활용되고 있다¹⁾. 그러나 현재까지 활용 현황에 대한 고찰이 국내에 보고된 적은 없었다. 따라서, 본 연구자는 집속 초음파 치료의 국내외 한의학 임상 활용 및 연구 현황을 조사하고, 경혈(經穴) 및 경근(經筋)을 중심으로 고찰한 바를 보고하고자 한다.

연구대상 및 방법

한의 임상에서 집속초음파의 활용을 조사하기 위하여 다음과

같이 검색을 진행하였다.

1. 문헌 검색

검색엔진은 국내 논문 검색에서는 Science ON과 한의학연구원에서 제공하는 Oriental Medicine Advanced Searching Integrated System (OASIS)을 사용하였다. 중국에서는 China National Knowledge Infrastructure (CNKI), Wanfang (万方数据)을 이용하였고, 일본에서는 Japan Science Technology Information Aggregator, Electronic (J-STAGE)과 Citation Information by NII (CiNii)를 이용하였다. 영어권에서는 PubMed, Science Direct, 그리고 Cumulative Index to Nursing and Allied Health Literature (CINAHL)를 이용하였다.

국내 검색엔진 키워드는 ‘집속초음파’, ‘피부’, ‘침’, ‘경혈’, ‘한의학’ 이었고, 중국어 검색엔진 키워드는 ‘聚焦超聲’, ‘鍼’, ‘灸’, ‘經穴’ 이었으며, 일본어 검색 엔진 키워드는 ‘集束超音波’, ‘針’, ‘灸’, ‘經穴’ 이었다. 영어권 검색 엔진 키워드는 ‘focused ultrasound’, ‘acupuncture’, ‘acupoint’, ‘medicine, Chinese traditional’, ‘Korean medicine’, ‘traditional medicine’ 이었다.

각 국가별 검색엔진의 특성에 따라 검색을 진행하였다. 검색은 2023년 7월 1일부터 시행하였으며, 검색 기간은 검색 엔진이 지원하는 개시 시점부터를 범위로 하였다. 언어는 제한을 두지 않았다.

2. 선정 및 배제 기준

선정 기준은 집속초음파를 이용하여 경혈 또는 경근에 자극을 주는 임상 또는 실험 연구의 원저 논문(original article)을 대상으로 하였다. 집속초음파를 사용하였다 하더라도 기존 중재의 대조군으로만 사용되었거나, 경혈 및 경근을 목표 대상으로 하지 않은 연구는 제외하였다. 각 검색엔진에서 검색된 문헌들을 취합하여 중복되는 문헌들은 제외한 후, 제목과 초록을 검토하여 본 연구 주제에 부합되는 문헌을 일차적으로 선별하였다. 이후 논문의 원본을 확보하여, 본문 검토를 통해 배제 기준에 해당하는 문헌을 이차적으로 제외하였다. 선별 과정에서 두 명의 저자(NH, JJ)가 참여하여 각자 결과를 비교한 후 합의하였으며, 합의가 이루어지지 않는 경우에는 제3의 연구자(YC)와 함께 토의하여 결정하는 방식으로 진행하였다.

3. 자료 추출 및 분석 방법

최종 선정된 17편의 논문의 내용을 정리하였다. 각 연구의 대상자 또는 동물의 수, 대상 질환, 치료를 적용한 경혈 혹은 위치, 출력 시간, 출력량, 이상 반응 등 자료를 추출하고, 각 문헌별 평가변수

들과 결과 값을 정리하여 비교하였으며 통계분석은 시행하지 않았다.

결 과

1. 연구 대상 문헌 선정 결과

최초 검색 결과 654편의 문헌이 검색되었으며, 중복 검색된 문헌 1편을 제외하였다. 653편 중 제목과 초록을 검토하여 주제와 무관한 625편을 제외하였다. 총 28편의 문헌을 대상으로 2차 조사를 진행하였다. 동일한 연구 결과를 학회지에 게재한 학위논문 7편을 제외하고 21편의 문헌 전문을 검토하였다. 이 중 review 논문 1편과 집속초음파를 사용하지 않은 것으로 확인된 최종 논문 3편

을 제외하였으며, 총 17편을 최종적으로 선별하였다(Fig. 1).

2. 문헌별 연구 대상과 연구 디자인

최종 선택된 17건 문헌 중 인간 대상 연구는 7건, in vivo 동물실험 6건, 기기 개발을 위한 실험 4건이었다. 인간 대상연구 중 4건은 건강인 대상자를 대상으로 집속초음파 경혈 조사의 효과성 및 안전성에 대한 RCT 연구였다. 특히 Tsuruoka⁷⁾, Wei⁸⁾ 등은 건강인을 대상으로 수기 침 치료와 집속초음파 경혈 조사 간의 자극 동등성에 대하여 연구하였고, Yoo⁹⁾는 10명의 건강인을 대상으로 시험 및 대조군을 설정하여 득기감을 비교 분석하였다. Liu¹⁰⁾는 집속초음파와 거짓 집속초음파 조사군의 통각 역치를 비교하였다. 2개의 연구(Jing¹¹⁾, Liu¹²⁾에서 각각 어깨통증 및 요통 환자와 만성 요통 환자군을 대상으로 집속초음파 조사의 효과 및 안전성에 대하여

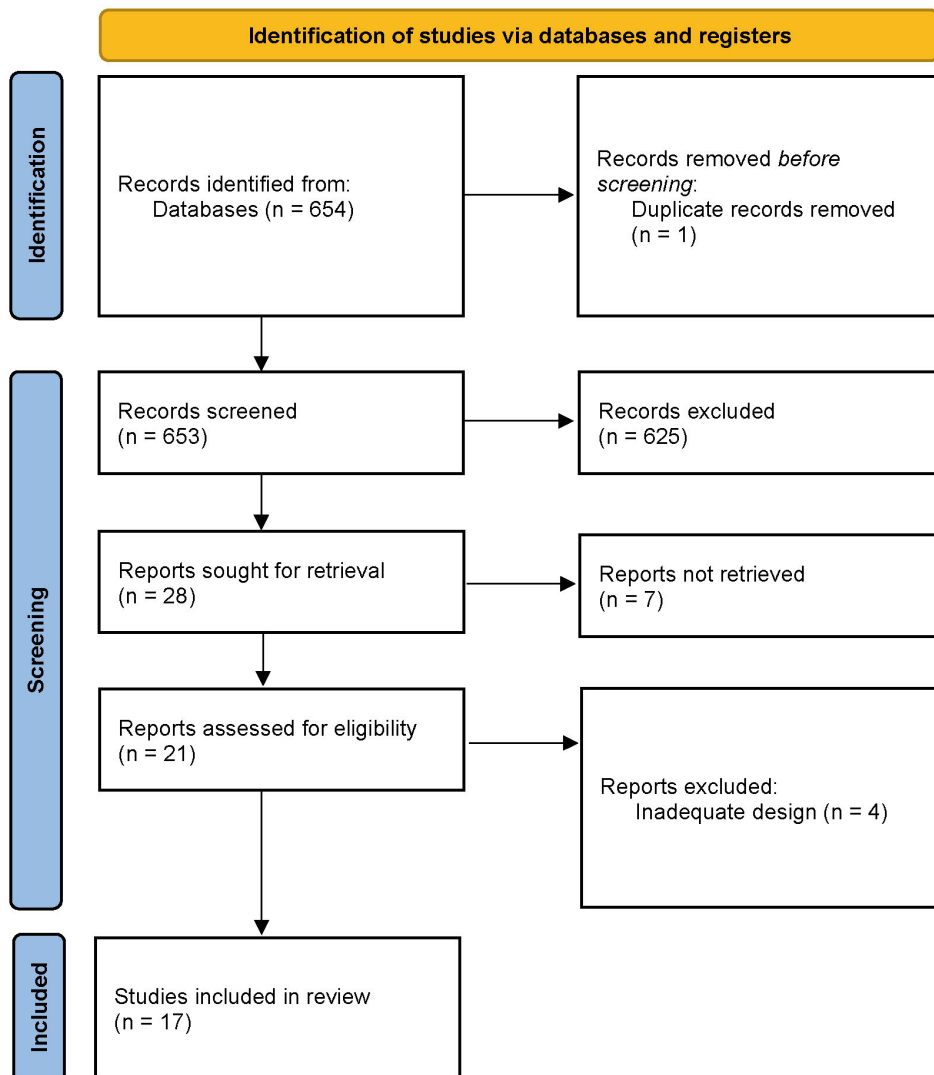


Fig. 1. PRISMA flow diagram for process of literature.

연구하였다. 이에 비해 Li 등¹³⁾은 퇴행성 슬관절염 환자를 대상으로 고정 혈위와 변증별 배합 혈위의 효과성에 대해 비교 분석하였다.

동물실험연구 중 2건(Liao¹⁴⁾, Hu¹⁵⁾은 저산소 허혈성 뇌손상 신생아 쥐 모델에게 백회혈에 집속초음파를 조사하여 효과 및 안전성을 확인한 문헌이었다. 이외에도 고지혈증 쥐 모델(Chen¹⁶⁾연구가 1건이었으며, 이외에는 모두 건강한 토끼를 대상으로(Zhao¹⁷⁾, Shao¹⁸⁾, Lin¹⁹⁾ 실험한 연구였다.

기기 개발 실험 연구 중 1건(Kim²⁰⁾은 돼지 피부와 쥐에게 조사하여 효과 및 안전성을 확인한 문헌이었으며, 1건(Tsuruoka²¹⁾은 자체 개발한 기기를 건강한 대상자를 대상으로 randomized controlled trial (RCT) 연구를 진행하였다. 다른 2건(Chen²²⁾, Liu²³⁾의 논문은 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 자체 개발 초음파 기기의 안전성과 유효성을 확인하였다.

3. 집속초음파 기기의 시술 방법

최종 선택된 7건의 RCT와 6건의 동물실험연구는 모두 경혈 부위에 집속초음파를 조사하는 방법을 택하였다. 건강한 대상 연구에서는 태충(LR3)⁷⁾, 합곡(LI4)⁹⁾, 족삼리(ST36)^{8,10)} 등 단일 혈위를 선택하였으며 질환 대상의 3건의 RCT는 각각 질병에 다빈도로 활용되는 경혈들을 다양하게 활용하되 통증 부위의 근위 경혈이 최소 한 개 이상 활용되었다. 동물실험의 경우도 유사하여, 건강한 저산소 허혈성 뇌 손상 동물 모델 연구(Liao¹⁴⁾, Hu¹⁵⁾의 경우 백회(GV20)혈을 사용하였고, 고지혈증 쥐 실험 연구(Chen¹⁶⁾에는 용천(KI1)혈이 사용되었다. 이에 비해 건강한 모델의 동물실험연구(Zhao¹⁷⁾, Shao¹⁸⁾, Lin¹⁹⁾에는 모두 족삼리(ST36)혈이 활용되었다.

조사에 활용된 집속초음파의 용량은 다양하였으나 인간대상연구에서 3 W/cm² 이하 4건(Tsuruoka⁷⁾, Yoo⁹⁾, Wei⁸⁾, Jing¹¹⁾, 0.625~5 W/cm² 출력의 기계를 활용한 연구 3건(Li¹³⁾, Liu¹⁰⁾, Liu¹²⁾으로 모든 연구에서 5 W/cm²를 초과하지 않았다. 다만, 동물실험 연구에서는 용량이 보다 다양하여, 0.5 W/cm² (Hu¹⁵⁾, 2 W/cm² (Zhao¹⁷⁾, Lin¹⁹⁾, 7.5 W/cm² 및 15 W/cm² (Chen¹⁶⁾, 10~20 W/cm² (Shao¹⁸⁾)로 확인되었다.

조사 시 깊이에 대한 정보는 Tsuruoka⁷⁾, Yoo⁹⁾, Liu¹⁰⁾의 세 연구에서 기술하였는데 모두 1 cm 이하였다.

4. 문헌별 평가변수

경혈 집속초음파 조사와 수기 침 치료를 대상으로 한 RCT 연구들(Yoo⁹⁾, Wei⁸⁾의 경우 주로 득기감 설문을 중심으로 침 치료와 집속초음파 조사 시 대상자가 주관적으로 느끼는 감각의 유사성에

대해 평가하였다. 다만, Tsuruoka⁷⁾는 정량화된 평가도구로써 태충(LR3)혈 자극 시 상완동맥(brachial artery)의 Blood flow volume의 변화양상을 평가하여 유의한 결과를 얻었다. Wei⁸⁾의 경우 functional MRI (magnetic resonance image)를 기반으로 침 치료와 경혈 집속초음파 조사의 뇌 활성화 유사도에 대해 정량적으로 검증하였고, Liu¹⁰⁾는 Electronic Von Frey를 활용하여 통각 역치를 정량화하였다. 각 질환별 적용 연구에서는 퇴행성슬관절염 대상 연구(Li¹³⁾)에서 Lequesne index 및 Serum SOD (Superoxide dismutase), 관절액검사 상 MMP (Matrix metalloproteinase)-13을, 견통 및 요통(Jing¹¹⁾)과 만성요통(Liu¹²⁾)연구에서 VAS (visual analogue scale) 각각 활용하였다.

동물실험 연구 또한 유사하여, 저산소 허혈성 뇌손상 동물실험 연구에서는 Forelimb의 근육강도, GAP-43 (Liao¹⁴⁾), 해마의 Synaptophysin (Hu¹⁵⁾)을 평가하였고 고지혈증 동물모델에서는 Lipid profile을 평가하였다. 건강한 동물모델을 중심으로 한 유효성 및 안전성 연구에서는 Electronic Von Frey를 이용한 통각 역치 측정이 두 연구(Zhao¹⁷⁾, Lin¹⁹⁾)에서 활용되었으며, Shao 등¹⁸⁾은 족삼리(ST36)혈에 집속초음파 조사 후 위전도 검사를 시행해 위장 활성도를 확인하였다.

5. 대상 문헌의 연구 결과: 인간 대상연구

인간 대상 연구 중 4건의 연구는 건강한 대상으로 시행되었다 (Table 1).

Yoo 등⁹⁾은 합곡(LI4)혈에 다양한 강도의 집속초음파(거짓 초음파, 1 또는 3 W/cm²)와 침 치료(거짓 침, 접촉 자극, 침)를 시행하고, 침 치료의 주요한 기준점인 득기(得氣) 자극의 강도와 방향성에 대하여 분석하였다. 침 치료와 가장 유사한 패턴을 보인 것은 3 W/cm²의 집속초음파였으며, 침 치료 시 득기와 연관된 감각인 '압력감(pressure)', '무거움(heaviness)', '따뜻함(warmth)' 등의 감각은 두 군간 유의한 차이가 없었다. 그러나, 침 치료에서 발생하는 득기와 관련 없는 자극, 즉 '예리한 통증(sharp pain)', '불쾌감(unpleasantness)', '불안(anxiety)' 점수는 침 시술군에 비해 3 W/cm²군이 더 낮아, 결론적으로 합곡혈의 집속초음파 조사가 침 치료와 유사한 자극이 될 수 있을 것이라고 제시하였다.

또한, Wei 등⁸⁾은 건강한 16명을 대상으로 좌측 족삼리(ST36)에 집속초음파(n=8)와 수기 침 치료(n=8)를 시행한 후 functional MRI로 두 군간 뇌 활성도를 비교 확인하였다. 초음파 치료 후 뇌 활성화 영역은 수기 침 치료군과 유사하여 초음파 경혈 조사 시 수기 침 치료로 연계 되는 자극과 유사한 자극을 얻을 수 있음을 확인하였다. 연구진은 또한, 득기감과 관련된 다양한 감각과 통증정도에

Table 1. Summary of RCTs using focused ultrasound for acupoints

First author (year)	Study design/sample size (analysis)	Target disease	Experimental group (medium; acupoint or location; irradiation time; power density or total power)	Control group (medium; acupoint or location; irradiation time; power density or total power)	Main outcomes	Results	Adverse events
Tsuruoka (2013) ⁷⁾	RCT/50 (50)	Healthy	FUS; LR3; 36 sec; 2.38 W/cm ²	Manual acupuncture; LR3; 36 sec; -	BFV	1) BFV decreased in Con group ($p < 0.05$) 2) After 180s, BFV increased significantly ($p < 0.05$) in both group and significantly difference between Exp & Con ($p = 0.012$)	No AE
Wei (2020) ⁸⁾	RCT/16 (16)	Healthy	FUS; ST36; 9.5 min; 1.75 W	Manual Acupuncture; ST36; 9.5 min; -	1) Psychophysical responses 2) fMRI	1) No significantly difference "soreness, numbness, or dull pain" ($p > 0.05$). But "fullness" significant stronger MA > US ($p < 0.05$). "warmness" significant stronger US > MA ($p < 0.05$). 2) Both US and MA at ST36 assent to similar activated regions with substantial signal intensity.	No AE
Yoo (2014) ⁹⁾	RCT/10 (10)	Healthy	FUS; LI4; 1 min; 1 or 3 W/cm ²	(A) Needle acupuncture (B) Sham acupuncture (C) Tactile stimulation (D) FUS; 1 min; 1 W/cm ² (E) FUS; 1 min; 3 W/cm ² (F) Sham FUS; LI4; 1 min; -	10 Deqi-related and non-related sensation score	1) Deqi-related sensation score: no difference between (A) and (E) ($p > 0.05$) except 'aching' and 'soreness' 2) Non-deqi related sensation score: (A) > (E) (all $p < 0.05$)	No AE
Liu (2011) ^a (40)	RCT/40 (40)	Healthy	FUS; ST36; 30 min; 0.625 ~ 5 W	Placebo (no dosage)	Electronic Von Frey	1) Significantly difference between two groups ($p < 0.01$)	NM
Jing (2014) ¹¹⁾ (74)	RCT/89 (74)	Shoulder pain, low back pain Patients	Low back pain: FUS; EX-B2, ST36, BI40; each 10 min, total 30 min; 0.5 W/cm ² Shoulder pain: FUS; LI15, GB21, LI4; each 10 min, total 30 min; 0.5 W/cm ²	Nothing	VAS	1) Exp: 5.08 ± 1.20 → 1.58 ± 1.03 2) Con: 5.30 ± 1.82 → 4.10 ± 1.51 ($p = 0.000$)	NM
Liu (2011) ^b (37)	RCT/40 (37)	Low back pain patients	FUS; ST36, BL40, EX-B2; each 10 min, total 30 min; 0.625 ~ 5 W	Placebo (no dosage)	1) Effective rate 2) VAS	1) Immediately after treatment : Exp 100% : Con 27.8% 2) Consistently significant higher in the Exp group after treatment 1,7,14,21,28 days.	1 case: mild pain
Li (2019) ¹³⁾ (120)	RCT/120 (120)	Osteoarthritis patients	FUS; ST35, EX-LE4, ST34, GB34, BL17, SP10, BL23, SP9, ST36; 5 min; 0.625 ~ 5 W	FUS; EX-LE4; 5 min; 0.625 ~ 5 W	1) Lequesne score 2) Serum SOD 3) MMP-13	1) Lequesne score: Exp < Con ($p < 0.05$) 2) Serum SOD: Exp > Con ($p < 0.05$) 3) MMP-13: Exp < Con ($p < 0.05$)	NM

sec : second, min : minute, FUS : focused ultrasound, BFV : blood flow volume, Con : control group, Exp : experimental group, AE : adverse event, NM : not mentioned, MA : manual acupuncture, US : ultrasound, VAS : visual analog scale.

대하여 비교 분석 하였는데, 초음파 경혈 조사군이 수기 침 치료군에 비해 Non-de qi-related sensation인 '예리한 통증(sharp pain)' 또는 '불안(anxiety)'의 수준을 낮추는 것으로 확인되었다.

Tsuruoka 등⁷⁾은 태충(LR3)혈에 집속초음파(n=25)와 수기 침 치료(n=25)를 시행 후 양 군 간 상완동맥의 혈류량을 비교하였다. 36초 간 시술 후 상완동맥 혈류량을 측정하였을 때, 침 단독 시술군은 침 시술 중 혈류량이 유의하게 감소하였으나($p < 0.05$), 집속초음파 자극군은 감소하지 않았고, 자극 후 180초 후에 두 군 모두 혈류량이 유의하게 증가하였다. 저자는 침 치료가 피부의 nociceptive stimulation을 통해 교감신경을 일시적으로 자극하여 혈류량이 줄어들었다가 최종적으로는 혈류량을 늘리게 된다는 점을 언급하며 집속초음파의 경우 피부의 직접 손상이 발생하지 않으므로 이러한 교감신경 자극이 침 치료에 비해 적다는 점을 강조하였다. 결과적으로 집속형 침 치료는 수기 침 치료에 유사한 효과가 있을 것이라고 보고하였다.

Liu 등¹⁰⁾은 건강한 인의 우측 족삼리에 집속초음파를 조사한 군과 조사를 하지 않은 군 간의 통각 역치 변화를 확인하는 무작위 대조 임상 연구(각 군 n=20)를 진행하였다. 우측 족삼리혈에 집속초음파를 시술한 시험군은 조사 전과 직후의 통증 역치가 상당히 크게 차이가 있었는데, 특히 조사한 우측 족삼리 뿐 아니라 좌측 족삼리의 역치가 증가해, 전신적인 진통 효과가 있음을 확인하였다. 반면, 무조사 대조그룹에서는 유의한 차이가 없었다.

인간 대상 연구 중 3건은 각각 퇴행성 슬관절염, 견통 및 요통, 만성 요통 환자를 대상으로 수행되었다.

Jing 등¹¹⁾은 집속초음파 침자 치료 기기를 개발하여 요통 및 견통 환자를 대상으로 통증 조절 효과를 확인하였다. 89례의 요통 및 견통 환자를 무작위 배정하여 요통 환자는 협척(EX-B2)혈, 족삼리(ST36), 위중(BL40)에 각 10분씩 집속초음파 조사하여 총 30분, 견통환자는 견우(LI15), 합곡(LI4) 및 견료(TE14), 견정(GB21), 아시혈 중 1 부위를 택하여 총 3 혈에 동일한 형태로 시술하였다. 해당 치료는 5차례 진행되었고, 각 7일과 21일 후 추적관찰을 시행하였다. 중도 탈락 및 이상 반응 탈락을 제외하고 최종 74례를 분석한 결과 시험군(n=43)이 음성대조군(n=31)에 비해 유의한 VAS 감소 효과가 있었으며 치료 후 21일까지도 효과가 유의하게 지속됨을 보고하였다.

Liu 등¹²⁾은 만성 요통환자 각 20례를 대상으로 3개의 경혈에 집속초음파 조사군과 거짓 초음파 조사군 간의 통증 변화 차이를 분석하였다. VAS의 감소량은 시험군에서 지속적으로 유의하게 높았으며 5일간의 치료 종료 후 VAS 감소량을 비율로 한 총유효율에서 시험군은 100%, 대조군은 27.8%였다.

이에 비해 Li 등¹³⁾은 퇴행성 골관절염 환자에게 집속초음파 경혈 조사를 시행하며 '슬안혈' 단독 시행대조군(n=60)과 슬안혈 포함 변증별 취혈을 시행한 시험군(n=60)간의 치료 결과를 비교하였다. Lequesne 지수의 경우 대조군은 치료 8주까지 통증의 개선이 있었으나 치료 종결 후 4주 차 추적관찰에서 약간의 지수 상승을 보였던 것에 비해, 시험군은 치료 기간인 8주 포함 치료 종결 후 4주 추적관찰에서도 통계적으로 유의하게 증상이 개선되었다($p < 0.05$). 이 외에도 혈청 SOD (superoxide dismutase), 관절액검사상 MMP-13 함량 또한 변증치료군에서 유의하게 개선되었다고 보고하였다. 집속초음파와 혈자리를 이용한 치료는 골관절염환자의 치료에 효과적이며, 집속초음파의 임상 적용에 긍정적인 의의가 있다.

6. 대상 문헌의 연구 결과: 동물실험연구

Zhao 등¹⁷⁾은 건강한 토끼의 좌측 족삼리에 집속초음파 조사 후 통증 역치를 측정하고, 피부와 근육 조직을 채취하여 생검하였다 (Table 2). 그 결과 집속초음파 조사 후 통증 역치가 향상되어 진통 효과를 보였으며 피부와 근육 조직은 모두 안전하였다. Liao 등¹⁴⁾은 저산소 허혈성 뇌 손상 신생아 쥐의 신경 재활에서 백회혈에 대한 집속초음파 조사의 효과를 밝히기 위해 연구를 진행하였으며, 그 결과 GAP-43의 발현을 상향 조정하고 앞다리 근력을 향상시킬 수 있었음을 보고하였다. Chen 등¹⁰⁾은 고지혈증 쥐의 용천(KI1)혈에 초음파를 집중적으로 조사한 후 혈청 TC (total cholesterol), TG (Triglyceride), HDL-C 및 LDL-C 수치를 측정한 결과, TC, TG가 감소 되었고 혈중 지질이 효과적으로 개선된 것을 확인하였다. Shao 등¹⁸⁾은 건강한 토끼의 족삼리(ST36)혈에 침 치료를 시행한 군과 집속초음파를 시행한 군 간의 위전도 Frequency와 Amplitude를 비교 분석하였다. 결과적으로 양 군간 유의한 차이가 없어 집속초음파의 족삼리(ST36)혈 조사 시 침 치료와 유사한 결과를 기대할 수 있음을 보고하였다. Lin 등¹⁹⁾은 각 15마리의 토끼를 족삼리(ST36)혈 집속초음파 시험군 및 무처치 대조군으로 나누어 통각 역치를 평가한 결과, 시험군에서 유의한 역치 상승 효과를 보였다고 보고하였다. Hu 등¹⁵⁾은 저산소 허혈성 뇌손상 신생아 쥐 192례를 대상으로 백회혈에 집속초음파를 조사한 시험군(n=48)의 치료 효과를 거짓 수술군, 무처치군, 전침 치료 대조군과 비교 분석하였다. 시험군의 치료 결과는 전침 치료군과 유사하였으나 거짓 수술군 또는 무처치군에 비해 현저한 효과를 보였다고 보고하였다.

Table 2. Summary of animal experiments for acupoint treatment of focused ultrasound

First author (year)	Study design/sample size (analysis)	Target disease	Experimental group (medium; acupoint or location; irradiation time; power density or total power)	Control group (medium; acupoint or location; irradiation time; power density or total power)	Main outcomes	Results	Adverse events
Liao (2011) ⁽¹⁴⁾	RCT/96 (96)	Hypoxic ischemic brain damaged rats	(A) FUS; GV20; once a day for 1 min until put to death; 10.20 MHz, 1,000 Hz (B) Sham operation (nothing) (C) Model (nothing) (D) Acupuncture; GV20; 10 min; -	(B) Sham operation (nothing) (C) Model (nothing) (D) Acupuncture; GV20; 10 min; -	1) Forelimb muscle strength 2) GAP-43	1) Suspension (7, 14, 21 d) (A) 13.7±3.1/36.7±7.4/52.0±9.0 (B) 18.0±2.7/79.0±14.0/101.3±20.0 (C) 7.6±1.8/18.9±2.2/35.5±11.0 (D) 12.9±2.8/42.7±11.1/58.3±19.4 · Significant improvement in (A), (D) 2-1) GAP-43 mRNA (7, 14, 21 d) (A) 1.295±0.20/1.042±0.20/0.730±0.11 (B) 0.374±0.09/0.358±0.08/0.34±0.06 (C) 1.087±0.1/0.775±0.14/0.543±0.09 (D) 1.364±0.27/1.021±0.18/0.728±0.08 · Significant upregulated the expression in (A), (D) 2-2) GAP-43 protein (7, 14, 21 d) (A) 0.330±0.04/0.292±0.03/0.255±0.03 (B) 0.205±0.03/0.207±0.03/0.199±0.02 (C) 0.287±0.04/0.251±0.02/0.226±0.02 (D) 0.342±0.05/0.310±0.05/0.260±0.03 · Significant upregulated the expression in (A), (D)	NM
Hu (2011) ⁽¹⁵⁾	RCT/196 (196)	Hypoxic ischemic brain damaged rats	(A) HIFU; GV20; 1 min; 10.20 MHz, 1,000 Hz, 0.5 W (B) Sham (C) HIBD model (D) Acupuncture; GV20; 10 min; -	(B) Sham (C) HIBD model (D) Acupuncture; GV20; 10 min; -	Synaptophysin in hippocampus	1) After 7/14/21d (A) 0.904±0.134/0.998±0.252/1.60±0.096 (B) 0.578±0.088/0.621±0.064/0.651±0.094 (C) 0.706±0.138/0.739±0.078/0.782±0.066 (D) 0.901±0.107/0.999±0.155/1.543±0.081 · Significant upregulated the expression in (A), (D) TC/TG/HDL-C/LDL-C (A) 3.48±0.81/3.11±0.18/0.93±0.12/1.12±0.16 (B) 2.55±0.55/1.31±0.23/1.91±0.87/0.54±0.17 (C) 2.32±0.62/1.25±0.12/1.01±0.17/0.75±0.17 (D) 2.78±0.42/1.24±0.21/0.88±0.15/1.33±0.14 (E) 1.71±0.12/1.67±0.31/1.25±0.31/0.14±0.10 · TC and TG showed significant decrease in (B), (C) · HDL-C showed significant increase in (B)	NM
Chen (2009) ⁽¹⁶⁾	RCT/40 (40)	Hyperlipemia rats	(A) Nothing (B) FUS; KI1; 10 sec for 2 weeks; 15 W/cm ² (C) FUS; KI1; 10 s for 2 weeks; 7.5 W/cm ² (D) Acupuncture; KI1; 10 sec for 2 weeks	(E) Nothing (no hyperlipemia rats)	1) TC 2) TG 3) HDL-C 4) LDL-C	· Significant upregulated the expression in (A), (D) TC/TG/HDL-C/LDL-C (A) 3.48±0.81/3.11±0.18/0.93±0.12/1.12±0.16 (B) 2.55±0.55/1.31±0.23/1.91±0.87/0.54±0.17 (C) 2.32±0.62/1.25±0.12/1.01±0.17/0.75±0.17 (D) 2.78±0.42/1.24±0.21/0.88±0.15/1.33±0.14 (E) 1.71±0.12/1.67±0.31/1.25±0.31/0.14±0.10 · TC and TG showed significant decrease in (B), (C) · HDL-C showed significant increase in (B)	NM
Zhao (2011) ⁽¹⁷⁾	RCT/30 (30)	Healthy rabbit	FUS; ST36; 5 min; 2 W	Placebo group (no dosage)	1) Electronic Von Frey 2) Biopsy	Exp (right): 45.28±6.19→83.75±33.43 (p<0.01) Exp (left): 44.65±5.78→80.9±28.98 (p<0.01) Con (right): 44.60±5.6→46.26±6.71 (p=0.274) Con (left): 144.57±5.01→46.49±6.52 (p=0.904)	No AE
Shao (2001) ⁽¹⁸⁾	RCT/16 (16)	Male rabbits	FUS; ST36; 5 min; 10~20 W/cm ²	Acupuncture; ST 36; 5 min; -	1) Gastroscopy 2) Gastric electrometry	Frequency/Amplitude Exp: 3.47±0.54→3.09±0.69 (p>0.05)/ 182.83±75.08→220.92±111.29 (p>0.05) Con: 3.63±0.50→3.60±0.53 (p>0.05)/ 209.46±109.86→263.17±134.02 (p>0.05) · No significant difference	NM
Lin (2011) ⁽¹⁹⁾	RCT/30 (30)	Healthy rabbit	FUS; ST36; 5 min; 0.5 MHz, 2 W	Nothing	Electronic Von Frey	Only FUS group statistically different from baseline pain threshold. The pain threshold reached a maximum at 6 min, and then decreased slowly until 16 min it returned to the normal level.	NM

sec : second, min : minute, FUS : focused ultrasound, Con : control group, Exp : experimental group, AE : adverse event, NM : not mentioned, TC : total cholesterol, TG : triglyceride, HDL-C : high density lipoprotein cholesterol, LDL-C : low density lipoprotein cholesterol.

Table 3. Summary of device development experiments for acupoint treatment of focused ultrasound

First author (year)	Development device	Main components	Experiment subject; intensity; irradiation time	Results	Safety, adverse events
Kim (2021) ¹⁸⁾	Ultrasonic moxibustion device	1-MHz ultrasonic transducer with concave lens	Skin of pork, mouse; 1 MHz, PRF at 10 Hz, pulse duration from 10% to 100%; 120 min	1) FEM simulation of temperature distribution and acoustic pressure agreed with the experimental outcome. 2) No skin-tissue damage to the mouse abdomens after therapy.	Demonstrated safe and durable performance
Tsuruoka (2010) ¹⁹⁾	Focused ultrasound acupoint stimulation device	Concave PZT transducer, polymer base	Healthy volunteers; 1.8 MHz, 1.24 W/cm ² ; 36 sec	1) During stimulation BFV decreased in Con group ($p < 0.05$) 2) After 180 sec, BFV increased significantly ($p < 0.05$) in both group and no significant difference between Exp & Con ($p = 0.012$)	No AE
Chen (2011) ²⁰⁾	Ultrasonic transducer for ultrasonic acupuncture	Combination of a self-focusing concave spherical shell transducer and a focusing annular transducer	Computer simulation;	The combination when inner radius is 14 mm and outer width is 10.5 mm, the inner focus radius is 38 mm, the outer focus radius is 65mm can avoid skin damage and achieve effective stimulation of acupuncture points. Through control of distance, can satisfy the energy distribution mode required by ultrasonic acupuncture to the greatest extent.	NM
Liu (2020) ²¹⁾	Ultrasound acupuncture	Verifying focusing depths, phased array of ultrasound acupuncture	Computer simulation;	Can provide traditional acupuncture technique like lifting&inserting, vertical&tilt stimulation and can meet the requirement of needle shape for ultrasonic acupuncture.	NM

sec : second, min : minute, PRF : pulse repetition frequency, FEM : finite element method, PZT : piezo-electric element, BFV : blood flow volume, AE : adverse event, NM : not mentioned, Con : control group, Exp : experimental group.

7. 대상 문헌의 연구 결과: 기기 개발 연구

기기 개발을 위한 실험연구를 진행한 4건의 논문 중 in vivo 동물실험 1건(Kim²⁰⁾, 건강인 대상 RCT 1건(Tsuruoka²¹⁾), 그리고 컴퓨터 시뮬레이션 2건(Chen²²⁾, Liu²³⁾) 모두 Concave lens를 사용하여 집속초음파 기기를 만들었고, 만든 초음파를 혈위에 자극하여 침 자극과 집속초음파 간의 유사한 결과를 얻고, 피부 손상, 혈류량, 안전성, 피부 자극 후 미용 효과 등에서 유의한 효과를 발견하였다고 보고하였다(Table 3).

8. 안전성

선택된 인간 대상 연구 중 이상반응 발생에 대해 보고한 문헌은 총 4건(Tsuruoka⁷⁾, Wei⁸⁾, Yoo⁹⁾, Liu¹²⁾)이었다. 이 중 3건(Tsuruoka⁷⁾, Wei⁸⁾, Yoo⁹⁾)의 경우 이상 반응이 발생하지 않았고 1건(Liu¹²⁾)에서는 경혈 집속초음파조사 시험군 1례에서 국소 동통감이 발생하였으나 24시간 안에 소실되어 mild adverse event로 보고하였다. 동물실험연구에서는 총 1건(Zhao¹⁷⁾)에서 집속초음파 시술 부위의 생검을 통해 안전성을 확인하였고 이상 반응이 없었다고 보고하였다. 기기 개발 실험연구에서 총 2건(Kim²⁰⁾, Tsuruoka²¹⁾)의

연구에서 집속초음파 시술 부위의 피부 이상 반응이 없다고 보고하였다.

고찰 및 결론

집속초음파 치료는 피부의 절개 없이 내부 국소 지점의 온도를 빠른 시간에(1~20초) 60~80°C까지 올릴 수 있다. 복강 내 종양 또는 경두개(transcranial) 자극에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 정확한 타겟팅(targeting)을 위해 MRI 또는 ultrasonography (US)를 이용한 정밀 가이드에 대한 연구가 진행 중이다^{5,24)}.

HIFU의 통증 질환 적용 원리에 대해서는 다양한 가설이 제시되고 있는데, 열 효과를 통해 타겟 조직의 국소적인 탈신경(denervation)을 유발하여 침해수용 섬유(nociceptive fiber)의 밀도를 줄여주며, 기계적 효과를 통해 이온채널의 변화를 유발하거나 신경 섬유의 흥분도를 변화시켜 최종적으로 신경의 기능을 변화시킬 수 있다⁹⁾.

집속초음파는 열 자극을 위주로 하고 있지만 피부 표면에 온도

를 높이지 않고 심부 경혈에 열 자극을 일으킬 수 있는 것이 특징이다. 한의 임상에서도 격강구(隔薑灸), 격염구(隔鹽灸) 등의 구법(灸法)이 많이 사용되고 있는데, 피부 표면에 구흔(灸痕)을 남기지 않고 열 자극을 깊이 전달하려는 목적이 있었다. 또한 『黃帝內經靈樞·官鍼』에 십이자법(十二刺法)을 소개하며 “五曰揚刺, 揚刺者, 正內一, 傍內四而浮之, 以治寒氣之博大者也”라 하여 양자(揚刺)를 언급하였는데, 양자법 및 이와 유사한 제자(齊刺), 방침자(傍鍼刺) 등은 피부 아래에 존재하는 하나의 목표 지점에 자침의 자극량을 강화하고자 하는 특수한 형태의 침자법이었다(Fig. 2)²⁵⁾. 이들은 모두 피부 아래 깊은 부위에 존재하는 경혈이나 경근 한 곳에 에너지를 집중하면서도 피부 표면에는 손상을 최소화하려는 목적을 지니고 있는 것으로서 집속초음파가 구현하고자 하는 목적과 부합된다고 할 수 있다.

또한 초음파를 이용한 경혈, 경근의 자극을 위하여 초음파침구(鍼灸) 또는 초음파침, 초음파구법이라는 치료법이 존재하고 있는데, 최근에는 집속초음파를 이용한 침구치료가 개발·활용되고 있다.^{11,20,23,26-28)}

열에너지를 이용한 침 치료 중 대표적인 것은 화침으로, 1596년 이시진은 『본초강목(本草綱目)』에서 ‘《素問》云: 病在筋, 調之筋, 燔鍼劫刺其下, 及筋急者’라 하여 근(筋)을 당겨 병을 치료하는 도구로 화침을 제시하였다²⁹⁾. 한의학 용어 근(筋)은 힘줄과 인대, 근막(fascia) 등의 결합조직을 포함하는 개념으로, 현대에 화침은 근골격계질환 및 피부 미용 등 다양한 분야에 활용되고 있다³⁰⁾. 이시진은 또한, ‘凡用火鍼, 太深則傷經絡, 太淺則不能去病, 要在消息得中’라 하여 화침의 활용에 정확성과 안전성에 대한 고려가 있어야 함

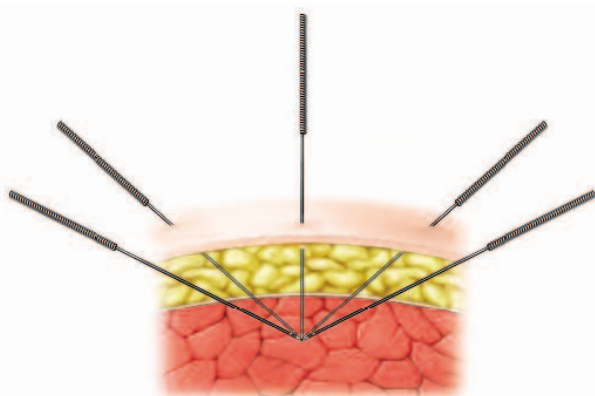


Fig. 2. Yang-ja acupuncture method²⁵⁾.
Reproduced from Korean Acupuncture & Moxibustion Medicine Society Textbook Compilation Committee. Acupuncture medicine 2020:33-9, with permission of Korean Acupuncture & Moxibustion Medicine Society.

을 강조하였다²⁹⁾. 이러한 논의는 현대에 와서도 유의미하여, 침구 치료의 정확성과 안전성을 제고하기 위해 과학기술을 적극적으로 활용하여 새로운 치료기기 및 기술을 개발해야 함은 자명하다.

이러한 배경으로 연구자는 집속 초음파가 국내의 전통의학 관점에서 어떻게 적용되고 있는지에 대한 현황을 고찰하였다. 연구 결과, 집속초음파를 이용한 인간 대상 연구 총 7건 중 경혈 조사를 통해 침 치료 대비 집속초음파 경혈 조사 치료의 대비효과를 연구한 문헌이 4건이었으며, 해당 연구들은 집속초음파 치료가 침 치료에 비해 침습적 자극이 덜하나 득기 자극은 동일하게 유발할 수 있어 침 치료와 유사한 치료 효과를 유도할 수 있을 것으로 예측하였다. 또한, 3건은 허리통증과 어깨통증, 만성요통, 퇴행성 슬관절염을 적응증으로 효과를 확인하는 연구가 진행되어 향후 질환군 대상의 임상 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 집속초음파의 기술개발이 현재 활발히 진행 중이라는 점을 고려하여 경혈과 경근을 이용한 동물실험 및 기술개발 연구 또한 분석하였는데, 저산소 허혈성 뇌 손상 동물모델과 고지혈증 동물모델 등을 대상으로 유효성과 안전성에 대한 연구와 침 치료 대비 효과에 대한 연구가 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다.

연구에서 사용된 집속초음파에서 사용된 경혈은 임상 연구에서 태충(LR3), 합곡(LI4), 족삼리(ST36) 등이 사용되었으며, 동물실험 연구에서는 백회(GV20), 용천(KI1), 족삼리(ST36) 등이 사용된 것으로 확인되었다.

조사 강도는 임상연구에서 3 W/cm² 이하가 4건, 0.625~5 W/cm² 범위의 연구가 3건으로 모든 연구가 5 W/cm²을 초과하지 않았다. 동물실험연구에서는 0.5 W/cm², 2 W/cm², 7.5 W/cm² 및 15 W/cm², 10~20 W/cm² 등으로 다양하게 사용되었다. 조사 시 투과 깊이에 대해서는 기술된 3편의 연구에서 모두 1 cm 이하였다. 현재 식약처 기준에 따르면 10 mW/cm²~50 W/cm² 강도의 기기는 ‘집속형초음파자극시스템’으로 분류되어 본 연구에 포함된 연구가 해당 기기군과 연관성이 높았다. 이는 현재 한국의 임상에서 해당 품목으로 활용되는 의료기기 사용에 대한 근거자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

이상과 같이 집속초음파는 전통적인 치료법에서 사용해왔던 치료법을 현대적인 치료 기술을 이용해서 발전시켜나가는 형태로 의료 기술이 발전하고 있는 것이라고 할 수 있다. 특히 집속초음파는 기술개발과 더불어 한의 치료와 융합될 수 있는 치료법으로, 피부의 손상을 최소화하고 정확한 목표 부위에 다양한 치료적 자극을 도모할 수 있다는 점에서 향후 침구 치료의 유효성과 안전성을 높이는 데에 적용가능한 기술이 될 것으로 예상된다.

최근 집속초음파를 이용한 한의 치료 기술은 계속 발전되어 가고 있으며, 집속초음파를 이용한 새로운 침구 치료기가 특허를 출원하는 등 진화하고 있다. 따라서 한의 임상에서 집속초음파에 대해 보다 적극적인 활용과 다양한 연구가 이루어지길 기대한다.

Acknowledgement

None.

Funding

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022R1C1C1011096). 연구비 지원기관은 연구의 설계, 자료 수집과 분석, 출판결정, 원고 작성에 어떠한 영향도 없었음을 밝힌다.

Data availability

The authors can provide upon reasonable request.

Conflicts of interest

저자들은 아무런 이해 상충이 없음을 밝힌다.

References

1. Ministry of Food and Drug Safety, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. Guideline on safety and performance evaluation of low-intensity focused ultrasound. Cheongju-si : National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. 2014 : 1-4.
2. Lim JK. Dongeuijayeonyobeopdaejeon. 1st edition. Korea : Gomoonsa. 1977 : 232.
3. Lee SY, Yoo JH, Kwak MS, Kwon HW, Song SJ, Hwang JS, et al. Medical law complaint response casebook. 1st ed. Korea : Health and Medical Policy Office, Ministry of Health, Welfare and Family Affairs. 2008 : 323-6.
4. Park YS. Controversy over the use of medical devices by Korean medical doctors : the past and the present. The Journal of Korean Medicine Policy. 2012 : 19-20.
5. Brown MRD, Farquhar-Smith P, Williams JE, ter Haar G, deSouza NM. The use of high-intensity focused ultrasound as a novel treatment for painful conditions—a description and narrative review of the literature. Br J Anaesth. 2015 ; 115(4) : 520-30. <https://doi.org/10.1093/bja/aev302>
6. Ministry of Food and Drug Safety, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. Guideline on safety and performance evaluation of focused ultrasound stimulator system. Cheongju-si : National Institute of Food and Drug Safety Evaluation. 2021 : 1-3.
7. Tsuruoka N, Watanabe M, Takayama S, Seki T, Matsunaga T, Haga Y. Brief effect of acupoint stimulation using focused ultrasound. J Altern Complement Med. 2013 ; 19(5) : 416-9. <https://doi.org/10.1089/acm.2012.0217>
8. Wei Y, Mei L, Long X, Wang X, Diao Y, Nguchu BA, et al. Functional MRI investigation of ultrasound stimulation at ST 36. Evid Based Complement Alternat Med. 2020 : 6794013. <https://doi.org/10.1155/2020/6794013>
9. Yoo SS, Lee W, Kim H. Pulsed application of focused ultrasound to the LI 4 elicits deqi sensations: pilot study. Complement Ther Med. 2014 ; 22(4) : 592-600. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2014.05.010>
10. Liu ZZ, Bai J, Diao QC, Zhao J, Lin Q, Wang ZB. Effects on the pain threshold after focused ultrasound irradiate the right Zu Sanli. World Sci-tech R&D. 2011 ; 33(3) : 487-8. <https://doi.org/10.16507/j.issn.1006-6055.2011.03.037>
11. Jing L. Development of a new focused ultrasonic acupuncture apparatus. Biotech World. 2014 : 134-5. <https://doi.org/CNKI:SUN:SWJJ.0.2014-09-114>
12. Liu ZZ, Bai J, Diao QC, Li D, Yu WH, Wang ZB. Focused ultrasound for treatment of patients with chronic low back pain. Chinese Journal of Ultrasound in Medicine. 2011 ; 27(1) : 76-8. <https://doi.org/CNKI:SUN:ZGCY.0.2011-01-039>
13. Li YJ, Lei M, Wang M. Study on the effect of acupuncture and moxibustion on the curative effect of focused ultrasound in the

- treatment of knee osteoarthritis. *Chinese Journal of Rehabilitation Medicine*. 2019 ; 34(5) : 590-2. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1242.2019.05.020>
14. Liao C, Zhou JB, Hu WJ, Li D, Si W, Wang ZB, et al. Effect on neurorehabilitation of HIBD rats after irradiation with focused ultrasound to the Bai Hui acupoint. *Chinese Journal of Ultrasound in Medicine*. 2011 ; 27(7) : 591-4. <https://doi.org/CNKI:SUN:ZGCY.0.2011-07-010>
 15. Hu WJ, Zhou JB, Liao C, Li D, Si W, Wang ZB. High intensity focused ultrasound in SYP of neonatal rat with hypoxic-ischemic brain damage. *Journal of Chongqing Medical University*. 2011 ; 36(4) : 408-11. <https://doi.org/10.13406/j.cnki.cyx.2011.04.030>
 16. Chen R, Wang ZB, Du YH. Effect on blood fat levels of hyperlipemia rats after irradiation with focused ultrasound to the Yong Quan acupoint. *Sichuan Journal of Zoology*. 2009 ; 28(6) : 867-9. <https://doi.org/CNKI:SUN:SCDW.0.2009-06-018>
 17. Zhao J, Lin Q, Liu L, Xiang LK, Zou JZ, Bai J. A study of change of pain tolerance thresholds of bilateral ears of rabbit after irradiation in left Zusanli by focused ultrasound. *Journal of China Medical University*. 2011 ; 40(5) : 390-3. <https://doi.org/CNKI:21-1227/R.20110523.1815.023>
 18. Shao SJ, Bao SS, Shan BZ, Zhang JH, Mao GJ. Effect of the focusing ultrasonic wave on the rabbit's gastric electricity. *Hunan Guiding Journal of TCM*. 2001 ; 7(5) : 251-2. <https://doi.org/10.13862/j.cnki.cn43-1446/r.2001.05.034>
 19. Lin Q, Zhao J, Bai J, Qiao H, Li D, Xiang LK, et al. The influence of normal rabbits pain threshold after acupuncture point radiated by focused ultrasound. *Chinese Journal of Ultrasound in Medicine*. 2011 ; 27(9) : 777-9. <https://doi.org/CNKI:SUN:ZGCY.0.2011-09-007>
 20. Kim G, Hwang YI, Ryu Y, Kim HJ, Bae YM, Kim KB. Ultrasonic device developed for non-invasive moxibustion therapy. *Integr Med Res*. 2021 ; 10(4) : 100729. <https://doi.org/10.1016/j.imr.2021.100729>
 21. Tsuruoka N, Watanabe M, Seki T, Matsunaga T, Hagg Y. Acupoint stimulation device using focused ultrasound. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2010 ; 2010 : 1258-61. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2010.5626422>
 22. Chen W, Wang H, Zeng DP, Liu D, Zhou HT, Liao CY. Design of ultrasound transducer for ultrasonic acupuncture. *World Sci-tech R&D*. 2011 ; 33(1) : 21-4. <https://doi.org/10.16507/j.issn.1006-6055.2011.01.005>
 23. Liu XX, Wang H, Liu CZ, Xu XF, Zhou HS. Study on sound field and control mode of ultrasound acupuncture phased array. *Technical Acoustics*. 2020 ; 39(2) : 184-9. <https://doi.org/10.16300/j.cnki.1000-3630.2020.02.010>
 24. Krishna V, Sammartino F, Reza A. A Review of the current therapies, challenges, and future directions of transcranial focused ultrasound technology: advances in diagnosis and treatment. *JAMA Neurol*. 2018 ; 75(2) : 246-54. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2017.3129>
 25. Korean Acupuncture & Moxibustion Medicine Society Textbook Compilation Committee. *Acupuncture medicine*. Seoul : Hanmi Medical Publishing. 2020 : 33-9.
 26. Kim JY, Kim SJ, Jeong SH. The effects of ultrasonic lipolysis treatment on obesity compared to electroacupuncture. *JKMR*. 2012 ; 22(3) : 141-9.
 27. Lim S, Son YS, Jin SH. Analgesic and anti-inflammatory effects of sono-acupoint therapy. *J Acupunct Res*. 2002 ; 19(5) : 176-88.
 28. Cho DI, Yoon JW, Park DS, Kim SJ. The effects of ultrasound and chuna in patients with lumbago by meridian muscle electrography. *JKMR*. 2015 ; 25(4) : 93-103. <http://dx.doi.org/10.18325/jkmr.2015.25.4.93>
 29. Lee SJ, Kim JH. *Sinjuhae Bonchogangmok*. Seoul : Yeoil. 2007 : 86.
 30. Yang YK, Jung HS, Baik YS. A study on the meaning of 'Yuk' and relevant terminologies in Huangdineijing. *JKMC*. 2015 ; 28(2) : 115-45. <http://dx.doi.org/10.14369/skmc.2015.28.2.115>