

재활초음파에 대한 임상연구동향: 국내연구를 중심으로 한 Scoping Review

Clinical Research trends of Rehabilitative Ultrasound Imaging(RUSI): Scoping Review Focusing on Korean Studies

Received: 25 May, 2025. Revised: 10 June, 2025. Accepted: 10 June, 2025

박정식¹, 최성열², 권나연³, 송윤경^{1*}

¹가천대학교 한의과대학 한방재활의학과학교실

²가천대학교 한의과대학 한방신경정신과학교실

³가천대학교 한의과대학 부인과 교실

Jung-Sik Park, K.M.D., Ph.D.¹,

Sung-Youl Choi, K.M.D., Ph.D.²,

Na-Yoen Kwon, K.M.D., Ph.D.³,

Yun-Kyung Song, K.M.D., Ph.D.^{1*}

¹Department of Korean Neuropsychiatry, College of Korean Medicine, Gachon University

²Department of Korean Obstetrics and Gynecology, College of Korean Medicine, Gachon University

³Department of Korean Rehabilitation Medicine, College of Korean Medicine, Gachon University

Objectives This study reviewed clinical research trends on Rehabilitative Ultrasound Imaging (RUSI) in South Korea and explored its potential use in Korean medicine.

Methods A scoping review was conducted using the Arksey and O'Malley framework. Five Korean databases were searched for studies published up to April 30, 2025. Eligible studies were selected through predefined criteria, and key data were extracted and analyzed.

Results Sixteen studies were included. Most were observational or single-group experimental studies involving healthy adults. Some included older adults or patients with musculoskeletal or neurological conditions. Major research topics included measuring muscle thickness during exercises, assessing the reliability of ultrasound measurements, and using RUSI as a biofeedback tool. A few studies combined RUSI with other treatments, such as electrical stimulation or spinal manipulation.

Conclusions RUSI is actively used in Korean rehabilitation research to assess muscle function and guide exercise. Although its clinical value is recognized, high-quality trials are limited, and its application in Korean medicine remains minimal. Further research is needed to standardize methods and expand its use in integrative clinical settings.

Key words Rehabilitative ultrasound imaging (RUSI), Korean medicine, scoping review

1. 서론

근골격계 재활을 돕기 위한 초음파를 재활초음파(RUSI: Rehabilitative Ultrasound Imaging)로 지칭하며, 치료사가 운동 및 신체 활동 중 근육 및 관련 연조직의 형태와 기능을 평가하고 운동 재교육 및 치료의 피드백을 위해 사용하는 기법으로 정의한다¹⁾. 근육, 인대, 힘줄, 관절 등을 실시간으로 영상화하여 진단하거나 치료에 활용하며 일반적인 초음파 검사와 비슷하지만, 근육을 시각화하여 재활의학적 목적에 특화되어 사용된다는 점이 특징이다¹⁾. 재활초음파(RUSI)는 근골격계 통증과 기능 장

애의 원인을 보다 정확하게 평가하는 데 사용할 수 있는 비침습적 도구로 실시간 초음파 영상(Realtime Ultrasound Imaging)을 관찰하여 근육 활성화, 두께 변화, 수축 패턴 등을 시각적으로 확인하고 이를 통해 치료적 중재 적용을 지원하고 환자와 치료자에게 피드백을 제공하는 데 사용할 수 있다²⁾.

재활초음파(RUSI)는 관절 주변의 구조나 인대, 건 등 연부 조직 등에 대한 관찰보다 근육 자체를 대상으로 평가하는데 중점을 두며 근육의 두께(Muscle Thickness:MT) 및 근육의 단면적(Cross Section Area:CSA) 같은 근육의 해부학적 특징을 스캔하여 평가하고 시각적 영상 피드백을 시행할 수 있는 특징이 있다³⁾. 근전도검사(electromyog-

*Corresponding to Yun-Kyung Song, Department of Korean Rehabilitation Medicine, College of Korean Medicine, Gachon University, 21 Keunumul-ro, Jung-gu, Incheon 22318, Korea

TEL. +82-32-770-1300, FAX. +82-32-468-4033, E-mail. rehasong@naver.com

Copyright © 2025. KSCMM All Rights Reserved.

raphy)는 천층의 근육을 측정하며 시각적 영상 피드백이 없는 것과 달리 주로 심부 근육의 수축 상태, 협응성, 활성화 등을 실시간으로 관찰할 수 있으며 치료자와 환자 모두에게 시각적 피드백을 제공하는 기능적 장점을 갖는다²⁾. 근육의 형태학적 모습을 이미지상에 그대로 담아내고 이를 화면에 나타내어 환자들은 이러한 화면상의 근육이 수축과 이완할 때의 모습을 실시간으로 확인할 수 있고 치료자도 이를 통해 효과적인 치료를 시행할 수 있다. 특히 복횡근, 다열근, 횡격막 등 심부 근육의 활성화 여부를 판단하고, 치료 중 근육 상태 변화를 추적하는데 효과적으로 사용할 수 있다³⁾. 이를 통해 근육 기능 향상을 목표로 하는 치료적 중재 적용을 지원하는 데 사용될 수 있으며 여기에는 환자와 치료자에게 피드백을 제공하여 좀 더 효과적인 치료가 가능하게 하는 것이 포함된다³⁾.

수기요법 분야에서 정밀한 진단과 기능적 평가를 가능하게 하는 비침습적 영상 기술의 활용이 중요하며 재활초음파(RUSI)는 해부학적 구조뿐만 아니라 기능적 움직임까지 동시에 평가할 수 있는 유용한 도구로 평가된다⁴⁾. 또한 근육의 실제 형태를 살펴볼 수 있는 다른 장비인 자기공명영상(magnetic resonance imaging)이나 컴퓨터단층촬영(computed tomography) 등에 비해 경제적이고 안전하고 측정시간이 적게 소요되며 특히 실시간 영상을 제공할 수 있으므로 다양한 조건에서 폭넓게 활용하기에 적합하다⁵⁾.

2022년 12월 대한민국 대법원을 통해 초음파 진단기기를 한의학적으로 활용할 수 있는 법적 근거가 마련되었으며⁶⁾ 근골격계 질환에 대해 한의계에서는 침 치료 및 약침 시술 시 초음파 유도 기술의 활용 등 관련 연구 등이 활발히 이루어지고 있으나⁷⁻⁹⁾ 아직 재활초음파(RUSI)에 대한 연구가 시행된 적이 없다. 이에 본 연구는 스코핑 리뷰 방법론을 기반으로 국내에서 수행된 재활초음파(RUSI) 관련 국내 임상 연구의 활동 수준 및 연구 범위를 검토하고 연구 성과를 정리하여 보고하고 향후 연구에 방향을 제시하고자 한다.

2. 대상 및 방법

재활초음파(RUSI)에 대한 연구 동향을 Arksey와 O'Malley¹⁰⁾의 주제범위 문헌고찰 방법론에 따라 연구 질문을 도출하고, 관련 연구를 검색한 후 연구를 선정하고 자료를 분석하여 보고하는 순서로 작성하였다¹¹⁾.

1) 1단계: 연구질문

재활초음파(RUSI)에 대한 임상 연구 동향을 파악하고 발전 방향성을 제시하기 위한 연구 질문은 다음과 같다.

- 1) 재활초음파(RUSI)에 대한 연구 동향은 어떠한가?
- 2) 재활초음파(RUSI)에 대한 임상 연구의 특성은 어떠한가?(설계, 대상, 중재, 결과 등)
- 3) 향후 재활초음파(RUSI)를 한의계에서 활용할 수 있는 방향은 무엇인가?

2) 2단계: 관련연구 검색

재활초음파(RUSI)에 대한 국내 연구 자료를 검색하기 위하여 2025년 4월 30일까지 출판된 논문을 대상으로 검색하였다. 한국보건의료연구원에서 권장하는 국내 데이터베이스¹²⁾인 과학기술정보통합서비스(ScienceON), 한국학술정보(KISS), 한국의학논문데이터베이스(KMBASE)에서 검색하였으며 전통의학정보포털(OASIS), 학술연구정보서비스(RISS)도 추가 검색하였다. 검색 키워드는 (rehabilitative OR rehabilitation OR realtime) AND (ultrasound imaging OR ultrasonography OR ultrason imaging OR sonography OR ultrasonic testing) 및 (재활 OR 실시간) AND (초음파 OR 초음파 영상 OR 초음파 검사)의 방식으로 시행하였다.

3) 3단계: 대상연구 선정

(1) 선정 기준

- (1) 국내에서 진행된 연구 중 재활초음파(RUSI)에 대한 임상 연구

(2) 배제 기준

- (1) 재활초음파(RUSI)을 메인 주제로 다루지 않은 연구
- (2) 세포 및 동물실험 연구, 문헌 고찰 등 인간을 대상으로 하지 않은 연구
- (3) 교육자료, 합의문 및 포스터 논문, 프로토콜, 학위 논문, 회색 문헌을 포함한 연구
- (4) 원문이 확인되지 않거나 논문 정보가 불충분한 연구

이상 기준을 기반으로 2인의 연구자가 1차로 제목 및 초록을 확인하여 연관성이 없는 연구를 제거하였다. 2차로 원문을 확인하였으며 이후 전체 원문을 검토하는 과정을 통해 대상 연구를 선정하였다. 최종 결정에서는 선정 및 배제 기준을 근거로 대상 연구들에 대해 모든 연구자들의 의견을 취합하여 최종결정하였다.

4) 4단계: 기초자료 작성

각 문헌 데이터 및 연구 선택 기준에 따라 추출된 연구는 Microsoft Excel 2021(Microsoft, USA)을 사용하여 데이터를 기록하였다. 최종 정리된 16편의 논문들의 연구 형식, 대상 및 샘플, 중재 및 조작, 비교군을 분석하였다.

5) 5단계: 결과 분석 및 보고

각 연구별로 대상 및 평가 지표 분석하였으며 연구 디자인에 따라 결과를 분석하여 표로 정리하였다. 또한 재활초음파(RUSI)의 한의학적 활용 방안에 대한 모색을 위해 도움이 되는 연구들은 서술적 방법으로 관련 내용을 추가적으로 기술하였다.

3. 결과

1) 연구 선정

데이터베이스에서 684편의 문헌이 검색되었으며 ENDNOTE 21(Clarivate Analytics, PA, USA)을 사용하여 정리하였다. 272편의 중복된 논문이 배제하였고 연구자가 각 논문의 제목과 초록을 확인하여 주제와 무관하거나 학위 논문 및 보고서, 합의문 등을 제외하고 123편의 논문이 선택되었다. 선별된 논문은 전문 확인을 하였으며 전문이 확인되지 않는 5편을 제외한 118편을 대상으로 연구자들이 전문을 확인하고 선정, 배제 기준을 근거로 최종적으로 전체 합의하였다. 이상의 과정을 거쳐 총 16건¹³⁻²⁸⁾의 연구가 최종 선정되었다(Fig. 1, Table I).

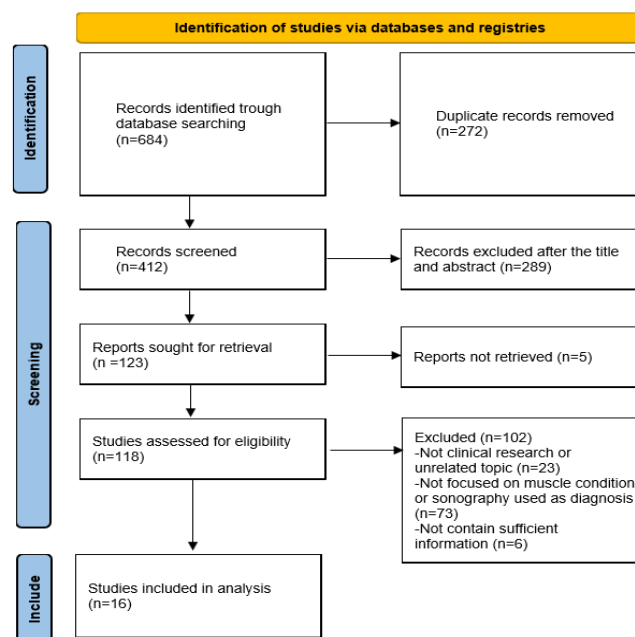


Fig. 1. Flow chart of trials selection process.

Table 1. Baseline informations of included studies

First author_Year	Journal	Title	Design
Jang EM_2023 ¹³⁾	PNF and Movement	A Comparison of Gluteus Maximus Muscle and Biceps Femoris Muscle Thickness According to Weight Load during Prone Hip Extension with Knee Flexion Exercises	Cross sectional study
Lim JY_2021 ¹⁴⁾	Korean Soc Phys Med	Reliability study of the Pectoralis Minor Muscle Thickness Measurement using Rehabilitative Ultrasound Imaging	Interrater reliability study
Lim CG_2020 ¹⁵⁾	Korean Soc Integrative Med	Change of Muscle Thickness on Exercise Type of Core Stabilization in Aged Men	Cross sectional study
Shin JH_2020 ¹⁶⁾	Phys Ther Rehabil Sci	The effects of two different visual feedback exercise tools based on rehabilitative ultrasound imaging in the elderly	Cross sectional study
Choi MS_2019 ¹⁷⁾	Phys Ther Rehabil Sci	Reliability and validity of rehabilitative ultrasound images obtained using a hands-free fixed probe in measuring the muscle structures of the tibialis anterior and the gastrocnemius	Interrater reliability study
Song WB_2018 ¹⁸⁾	Korean Orthopedic Manual Phys Ther	Comparison of Multifidus Thickness Change During Contralateral Arm Lift(CAL) in Patients with Chronic Low Back Pain and Normal Adults	Case control study
Cho JE_2018 ¹⁹⁾	Phys Ther Rehabil Sci	Use of real-time ultrasound imaging for biofeedback of diaphragm motion during normal breathing in healthy subjects	Randomised controlled trial
Jeong JR_2017 ²⁰⁾	Phys Ther Rehabil Sci	Reliability of rehabilitative ultrasound imaging for measuring the gluteus maximus muscle at rest and during contraction	Cross sectional study
Nam SJ_2017 ²¹⁾	Phys Ther Korea	Effects of Diaphragmatic Breathing Training Using Real-time Ultrasonography on Chest Function in Young Females With Limited Chest Mobility	Randomised controlled trial
Hahn JH_2017 ²²⁾	Phys Ther Rehabil Sci	The reliability of dual rehabilitative ultrasound imaging measurements for muscle co-activation	Cross sectional study
Kim TH_2016 ²³⁾	Phys Ther Rehabil Sci	Changes of abdominal muscle thickness during stable and unstable surface bridging exercise in young people	Cross sectional study
Jeong JR_2015 ²⁴⁾	Korean Soc Phys Med	The Study of Asymmetrical of the Serratus Anterior and Lower Trapezius Muscles in Chronic Stroke Patients	Cross sectional study
Lee HJ_2014 ²⁵⁾	Korean Soc Phys Med	Comparison of Muscle Architecture of Lower Extremity using Rehabilitative Ultrasound Image in Young Adults: a Comparative Study of Muscle Cross-sectional area of Lower Extermity of Seoul and Hanoi in Vietnam	Cross sectional study
Baek SO_2014 ²⁶⁾	Annals of Rehabil Med	Activations of Deep Lumbar Stabilizing Muscles by Transcutaneous Neuromuscular Electrical Stimulation of Lumbar Paraspinal Regions	Cross sectional study
Kim JS_2014 ²⁷⁾	Korean Neural Rehabil	Effects of Diaphragmatic Breathine Exercise Using Real-time Ultrasound Imaeine on Diaphragm Thickness, Pulmonary Function and Functional Lower Extremity Ability in a Patient With Upper Cervical Spinal Cord Injury	Single subject design
Kwon NH_2011 ²⁸⁾	Korean Soc Phys Med	The Use of Real-Time Ultrasound Imaging for Feedback during Abdominal Hollowing	Randomised controlled trial

2) 연구 동향

(1) 출판연도

출판 연도를 보면 2011년에 1편 이후 2014년에 3편의 논문이 발표되었으며 2015년과 2016년에는 1편씩 발표되었다. 2017년에 다시 3편의 연구가 발표되었으며 2018년도는 2편, 2019년 1편, 2020년 2편, 2021년 1편 및 2023년도에 1편이 출판되었다.

(2) 연구설계

16편의 연구 중 관찰연구(observational research)는 10편이었으며 실험연구(experimental research)는 4편, 방

법론적 연구(methodological research)가 2편이었다. 10편의 관찰연구 중 1편의 환자대조군연구(Case Control Study)를 제외한 9편은 단면조사연구(Cross Sectional Study)이었으며 4편의 실험연구 중 무작위 대조군 설계가 된 연구(Randomized Controlled Trial)는 3편이었고 1편은 단일피험자설계 연구(Single Subject Design)이었다. 나머지 2편은 방법론적 연구(methodological research)로 평가자 간 신뢰도 연구(Interrater Reliability Study)이었다(Fig. 2).

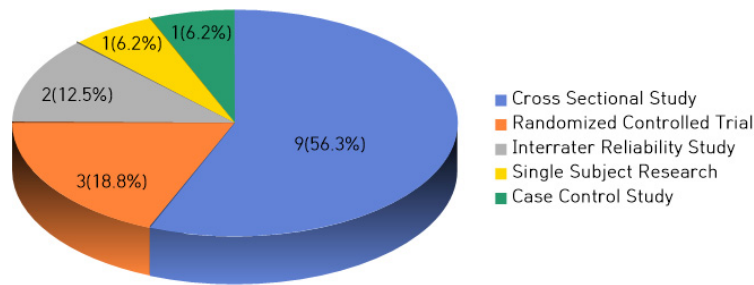


Fig. 2. Study design of selected studies.

3) 연구 분석

(1) 연구 대상

선정된 총 16편의 논문은 재활초음파(RUSI)를 이용하여 다양한 신체 부위의 근육 두께를 측정하거나 운동 중재를 통해 기능적 변화를 분석한 연구들로 구성되어 있다. 연구 대상은 건강한 성인을 비롯하여 노인, 만성 질환자, 뇌졸중 환자 등으로 다양하였다.

16편 중 10편의 연구는 건강한 성인 또는 노인을 대상으로 하여 특정 운동 수행이나 외부 자극 적용에 따른 근육 두께의 변화 또는 측정 신뢰성을 평가하였다. 장 등¹³⁾은 건강한 성인 남성 23명의 대둔근과 대퇴이두근의 근육 두께 변화를 살폈고 최 등¹⁷⁾은 건강한 성인 남녀 총 33명을 대상으로 전경골근과 비복근의 근육 구조를 측정하였으며 권 등²⁸⁾은 건강한 성인 남성 30명을 대상으로 복횡근과 근활성도를 확인하였다. 한 등²²⁾은 건강한 성인 36명을 대상으로 상완이두근과 상완삼두근의 두께를 측정하였으며 임 등¹⁴⁾은 건강한 성인 15명을 대상으로 소흉근 두께를 측정하였다. 정 등²⁰⁾은 건강한 성인의 대둔근, 백 등²⁶⁾은 성인 남성 다열근 및 복횡근, 내복사근을 관찰하였으며 조 등¹⁹⁾은 건강한 성인 30명을 대상으로 횡격막에 대해 관찰하였다. 고령자에 대한 연구도 2편이 있었으며 임¹⁵⁾은 고령 남성 29명을 대상으로 외복사근, 내복사근, 복횡근의 근육 두께 변화를 측정하였고 신 등¹⁶⁾은 고령자 24명을 대상으로 대퇴사두근의 근육 두께, 근활성, 경직도 등을 측정하였다(Table II).

4편의 연구는 통증이나 기능저하 등을 동반한 특정 환자들을 대상으로 수행되었다. 해당 연구들은 만성 요통, 호흡 기능 저하, 경추 손상, 흉곽 가동성 제한, 신체

불균형 또는 비대칭성과 같은 상태에서 호흡근 또는 척추 안정화 관련 근육 및 자세 유지근의 두께 변화를 측정하거나 운동 중재가 기능에 미치는 영향을 분석하는데 목적을 두었다. 송 등¹⁸⁾은 만성 요통 환자 16명과 건강한 성인 16명을 비교하여 다열근의 두께 변화를 분석하였고 김²⁷⁾은 상부 경추 손상 환자를 대상으로 횡격막 두께를 측정하였다. 남 등¹⁵⁾은 흉곽 가동성 제한이 있는 젊은 여성 26명을 대상으로 하여 흉곽 움직임과 폐기능에 미치는 영향을 분석하였다. 정 등²⁴⁾은 뇌졸중 환자 35명을 대상으로 전거근과 하부승모근의 건축 및 환측 근육 두께를 측정하여 비교하였다(Table II).

그 외 환경적 조건이나 인종적 차이에 따라 근육 구조의 차이를 정량적으로 측정하고자 하는 목적을 가지고 서울과 하노이에 거주하는 건강한 젊은 성인 남녀 각 30명씩(총 60명)을 대상으로 대퇴직근, 전경골근, 비복근 횡단면적, 근육 두께 등을 비교한 연구²⁵⁾도 있었으며 청소년 40명을 대상으로 하여 복횡근, 외복사근, 내복사근 두께 변화를 측정한 연구²⁷⁾ 또한 보고되었다(Table II).

(2) 중재 및 변수

연구들은 주로 근육 두께를 중심으로 한 정량적 변수 측정과 다양한 중재 방법을 통해 운동 효과, 피드백 활용, 측정 신뢰성 등을 평가하였다. 변수는 RUSI를 이용하여 측정된 근육 두께 변화, 수축 전후 차이 또는 근육 활성도 등이 중심이었으며 중재는 특정 자세, 외부 부하, 시각 피드백, 전기 자극 등의 방법으로 구성되었다.

운동 형태나 외부 부하 조건에 따라 근육 두께의 변화를 분석한 연구는 총 3편이 있었다. 장 등¹³⁾은 엎드려 무릎 굴곡-고관절 신전 자세에서 0kg, 1kg, 2kg의 모래

Table II. Summary of Sample and Intervention

First author_Year	Sample Size	Sample Characteristic	Intervention	Methods
Jang EM_2023 ¹³⁾	23 healthy male	Age in 20s–30s, no musculoskeletal issues	PHEKF with 0kg, 1kg, 2kg load	Prone hip extension with knee flexion under 0kg, 1kg, 2kg sandbag loads
Lim JY_2021 ¹⁴⁾	15 healthy adults (male8/female7)	Age in 21–28, no upper body pathologies	RUSI for PM muscle thickness	Ultrasound imaging measurement at two anatomical points for PMm thickness, repeated by two raters
Lim CG_2020 ¹⁵⁾	29 elderly male	Age in 65–80, outpatient population from rehabilitation center	5 core stabilization exercises	Five core stabilization exercise types performed once per subject
Shin JH_2020 ¹⁶⁾	24 elderly persons (male5/female19)	75.00±5.03 years, community-dwelling, randomly assigned to 3 intervention groups	MVIC training with 3 visual feedback types	Maximal voluntary isometric contraction of quadriceps under 3 feedback conditions (oral, US image, bar graph)
Choi MS_2019 ¹⁷⁾	33 healthy adults (male20/female13)	22.00±2.75 years, no lower limbs pathologies	Hands-free vs conventional probe	Muscle thickness and pennation angle measured using both fixed and conventional ultrasound probes
Song WB_2018 ¹⁸⁾	16 CLBP patients (male8/female8), 16 healthy adults (male8/female8)	16 CLBP patients(30.38±5.20 years) and 16 healthy adults(28.31±5.16 years), matched demographics	CAL test with RUSI	Contralateral arm lift test in prone position to measure multifidus activity in CLBP vs control
Cho JE_2018 ¹⁹⁾	30 healthy adults (13 male, 17 female)	Age in 24–33, no history of respiratory issues, randomized into experimental and control groups	Breathing with verbal vs visual+verbal feedback	Diaphragmatic breathing exercises with or without real-time US visual feedback (10 reps)
Jeong JR_2017 ²⁰⁾	22 healthy males	No musculoskeletal issues, university students	Measure Gmax at rest and contraction	Gluteus maximus thickness measured during rest and contraction for reliability analysis
Nam SJ_2017 ²¹⁾	26 young females	21.7±0.5 years, limited chest wall mobility, no pulmonary disease, randomized into experimental and control groups	RUSI-assisted vs normal diaphragm training	30-minute diaphragmatic breathing training using US feedback vs non-feedback, pre-post chest mobility assessed
Hahn JH_2017 ²²⁾	36 healthy adults (male23/female13)	Age in 20s–30s, comfortable seated posture, no upper extremity conditions	D-RUSI for BB & TB muscles	Simultaneous BB and TB thickness measured at rest and during co-contraction using Dual RUSI
Kim TH_2016 ²³⁾	40 healthy youths (male19/female21)	Age in 18–28, 40 healthy youths no history of back pain, randomly assigned to 2 intervention groups	Bridge on stable vs unstable surface	Bridge exercises on stable vs unstable surfaces with knee flexion at 60° and 90°, 10s hold
Jeong JR_2015 ²⁴⁾	35 stroke patients (male20/female15)	52.45±11.64 years, chronic stroke patients with hemiplegia	Compare affected vs unaffected side	Ultrasound measurements of SA and LT muscle thickness on affected/unaffected sides in stroke patients
Lee HJ_2014 ²⁵⁾	60 healthy adults (Seoul 30/Hanoi 30)	Seoul(male18/female12, 22.3±1.53 years), Hanoi(male11/female19, 22.7±2.2 years), no musculoskeletal issues	Compare muscle architecture	Cross-sectional muscle architecture measured in lower extremities of Korean and Vietnamese subjects
Back SO_2014 ²⁶⁾	20 healthy males	Age in 24–32, physically active young adult males, no history of trunk injury	NMES of lumbar paraspinal	Transcutaneous NMES applied to L4–L5 region at 20/50/80 Hz; LM and abdominal muscles measured via RUSI
Kim JS_2014 ²⁷⁾	1 cervical SCI patient	16.5 year, male patient with upper cervical spinal cord injury, single-subject design	RUSI-assisted diaphragm training	Diaphragmatic breathing exercises in single-subject A-B-A' design with US feedback
Kwon NH_2011 ²⁸⁾	30 healthy males	No abdominal pathology, randomized into experimental (22.47±1.85 years) and control (21.87±4.03 years)	AHE with vs without RUSI feedback	Abdominal hollowing exercise with vs without real-time US feedback; TrA, IO, EO measured

RUSI: Rehabilitative Ultrasound Imaging, CLBP: Chronic Low Back Pain, PHEKF: Prone Hip Extension with Knee Flexion, Gmax: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris, PMm: Pectoralis Minor Muscle, TrA: Transversus Abdominis, IO: Internal Oblique, EO: External Oblique, BB: Biceps Brachii, TB: Triceps Brachii, SA: Serratus Anterior, LT: Lower Trapezius, NMES: Neuromuscular Electrical Stimulation, LM: Lumbar Multifidus, MVIC: Maximal Voluntary Isometric Contraction, US: Ultrasound, SCI: Spinal Cord Injury, CAL: Contralateral Arm Lift

주머니를 부착하여 대둔근과 대퇴이두근의 두께를 비교하였으며 임¹⁵⁾은 브리지, 복부 드로잉, 크런치 등 5가지 코어 운동 형태별 복부 근육 두께의 차이를 측정하였다.

김 등²³⁾은 안정된 표면과 불안정한 표면의 에어쿠션 위에서 브리지 운동을 실시하고 무릎 60, 90° 굴곡 자세별 복부 근육 두께 차이를 분석하였다. 시각 피드백의 유무

가 근육 두께 및 근활성도에 미치는 효과를 비교한 연구는 4편이었으며 그 중 2편의 연구^{19,21)}는 횡격막 호흡 운동 중 실시간 초음파 시각 피드백 유무에 따른 호흡근 훈련 효과를 분석하였다. 신 등¹⁶⁾은 막대그래프 피드백, 실시간 초음파 피드백, 구두지시 등 세 그룹으로 나누어 대퇴사두근 등척성 수축 시 근육 두께 및 근활성도를 분석하였으며 권 등²⁸⁾은 초음파 피드백이 복횡근 활성화에 미치는 영향을 확인하기 위해 피드백 여부에 따라 복부 할로잉 운동 시 근육 두께 변화를 비교하였다(Table II).

질화근 또는 기능 저하군을 대상으로 한 연구에서는 수동 동작 또는 전기 자극 중재를 통해 근육의 수축 반응을 비교하였다. 송 등¹⁸⁾은 만성 요통 환자그룹과 건강한 성인 그룹에게 반대팔 들기 자세에서 다열근의 수축 전후 두께를 측정하였고 김²³⁾은 상부 경추 손상 환자에게 RUSI를 병용한 횡격막 호흡 훈련을 적용하여 횡격막 두께를 측정하였다. 백 등²⁶⁾은 신경근 전기 자극을 적용하여 다열근 및 복부 근육의 활성화 반응을 분석하였고 정 등²⁴⁾은 뇌졸중 환자의 전기근과 하부 승모근의 근육 두께를 편측 마비 측과 비 마비 측으로 나누어 비교 분석하였다. 중재 개입 없이 반복 측정에 의한 시술자 간 일치도를 주요 변수로 연구하여 RUSI의 신뢰성과 타당성을 확인한 연구도 시행되었다. 임 등¹⁴⁾은 소흉근 두께를 반복 측정하여 시술자 내 일치도를 산출하여 신뢰성을 확인하였으며 한 등²²⁾은 이두근과 삼두근 동시 측정을 통한 Dual-RUSI의 신뢰성을 분석하였다. 최 등¹⁷⁾은 고정형 핸드프리 프로브와 일반 프로브를 번갈아 사용하여 전경골근과 비복근 근육 두께 및 깃각의 측정값 비교를 통해 타당성을 확인하였다. 그 외 서울과 하노이 거주자의 하지 근육 구조를 비교한 연구²⁵⁾에서 근육 두께 외에도 횡단면적 및 깃각 등을 정량화하고 성별 간 차이도 분석하였다(Table II).

(3) 측정 방법

모든 연구에서 선형 탐촉자를 사용하였으며 일부 연구^{14,16,23,28)}에서는 탐촉자의 깊이 설정, 장비 모델명, 측정 방식까지 구체적으로 명시하고 있다. 임 등¹⁴⁾은 7.5 MHz 선형 탐촉자와 측정 깊이 40 mm를 사용하여 측정

하였으며 신 등¹⁶⁾은 측정 깊이 50 mm를 사용하여 측정하였다. 김 등²³⁾과 권 등²⁸⁾의 연구에서도 7.5 MHz 선형 탐촉자를 사용하여 복부 근육 두께를 측정하였다. 최 등¹⁷⁾은 기존의 일반 선형 프로브와 더불어 고정형 핸드프리 프로브를 사용하여 측정 도구 간의 신뢰도와 타당성을 비교하였고 한 등²²⁾은 Dual RUSI 시스템을 활용하여 이두근과 삼두근의 두께를 동시에 측정하였다. 이는 일반적인 RUSI 사용에서 확장된 형태로 근육 간 협응 또는 공동 활성을 동시에 분석하였다. 이 등²⁵⁾은 서울 하노이 간 비교연구에서 동일한 장비 및 측정 조건을 적용함으로써 국가 간 비교 연구의 일관성을 확보하였다. 호흡근 측정을 다룬 연구들^{19,21,27)}에서도 RUSI는 횡격막의 두께나 움직임 거리를 측정하는 도구로 사용되었으며 백 등²⁶⁾은 신경근 전기 자극을 L4-L5 부위에 적용한 후 해당 자극이 요추 다열근, 복횡근, 내복사근 근육 두께 변화에 미치는 영향을 RUSI로 측정하여 기기 자극 중 근육 반응의 즉각적인 변화를 수치화하였다(Table III).

(4) 연구 결과

주요 결과는 중재 및 조건에 따른 근육 반응, 측정 신뢰도 수준, 시각 피드백 및 교육 도구의 효과성 등으로 구분할 수 있다. RUSI를 이용하여 운동 중재 및 자세 변화에 따른 근육의 반응을 관찰한 연구 중에서 장 등¹³⁾은 무게 부하의 변화에 따른 엎드린 자세에서 고관절 신전 및 무릎 굴곡 운동 중 대둔근과 대퇴이두근 두께 변화를 비교하였고 대둔근은 부하가 증가할수록 유의하게 두께가 증가하였음을 보고하였다. 복부 안정화 운동과 관련한 연구¹⁵⁾에서는 다섯 가지 자세에서 내복사근, 외복사근, 복횡근의 두께 변화를 비교하였으며 각 근육에 따라 최적의 활성화 자세가 상이함을 보고하였다. 김 등²³⁾은 브리지 운동 중 무릎 각도 및 지면의 안정성 변화에 따른 복부 근육의 두께 변화를 분석하였으며 불안정한 지면에서의 수축 증가가 관찰되었으나 통계적 유의성은 확보되지 않았음을 보고하였다. L4-L5 부위에 전기 자극을 하여 다열근과 내복사근, 외복사근, 복횡근의 두께가 모든 조건에서 유의하게 증가함을 관찰한 연구²⁶⁾도 있었으며 만성 요통 환자를 대상으로 자세 변화(팔 들

Table III Summary of Measurement and Statistics

First author_Year	Measurement	Subject of Measured	Purpose of Analysis
Jang EM_2023 ⁹⁾	B-mode, linear probe	Gmax, BF	Analyze Gmax and BF thickness changes under 0/1/2kg load
Lim JY_2021 ¹⁰⁾	7.5 MHz linear probe Depth: 40 mm	Pectoralis Minor	Reliability analysis of pectoralis minor measurement
Lim CG_2020 ¹¹⁾	B-mode, linear probe	EO, IO, TrA	Comparison of abdominal thickness by exercise type
Shin JH_2020 ¹²⁾	7.5 MHz linear probe Depth: 50 mm	Quadriceps	Comparison of muscle thickness and activation by feedback type
Choi MS_2019 ¹³⁾	7.5 MHz linear probe	TA, MGCM	Comparison between fixed and conventional probes
Song WB_2018 ¹⁴⁾	Linear probe	Multifidus	Comparison of multifidus differences between CLBP patients and healthy individuals
Cho JE_2018 ¹⁵⁾	Linear probe, Measured between ribs	Diaphragm	Evaluation of short-term and retention effects of visual feedback
Jeong JR_2017 ¹⁶⁾	B-mode	Gluteus Maximus	Comparison of gluteus maximus thickness during contraction and relaxation
Nam SJ_2017 ¹⁷⁾	Linear probe, Measured between ribs	Diaphragm, Chest circumference	Respiratory changes with vs without visual feedback
Hahn JH_2017 ¹⁸⁾	Dual linear probe, Simultaneous measurement	BB, TB	Reliability analysis of Dual-RUSI measurement
Kim TH_2016 ¹⁹⁾	7.5 MHz linear probe Abdominal measurement	EO, IO, TrA	Analysis of abdominal muscles by bridge posture/surface condition
Jeong JR_2015 ²⁰⁾	Linear probe, Standardized anatomical landmarks	SA, LT	Asymmetry and reliability analysis in stroke patients
Lee HJ_2014 ²¹⁾	7.5 MHz linear probe	RF, TA, MGCM	Comparison of lower extremity muscle structure: Seoul vs Hanoi
Back SO_2014 ²²⁾	Linear probe, Post-NMES thickness measurement	LM, TrA, OI, OE	Muscle thickness changes by NMES frequency
Kim JS_2014 ²³⁾	Linear probe	Diaphragm, FEV1, STS	Training effect changes in upper cervical SCI patient
Kwon NH_2011 ²⁴⁾	Linear probe, During AHE measurement	TrA, IO, EO	TrA, EO, IO changes with vs without feedback

RUSI: Rehabilitative Ultrasound Imaging, CLBP: Chronic Low Back Pain, PHEKF: Prone Hip Extension with Knee Flexion, Gmax: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris, NMES: Neuromuscular Electrical Stimulation, LM: Lumbar Multifidus, IO: Internal Oblique, EO: External Oblique, TrA: Transversus Abdominis, TA: Tibialis Anterior, MGCM: Medial Gastrocnemius Muscle, SA: Serratus Anterior, LT: Lower Trapezius, RF: Rectus Femoris, OI: Obliquus Internus, OE: Obliquus Externus, BB: Biceps Brachii, TB: Triceps Brachii

기)에 따른 다열근의 활성화 패턴을 분석한 연구¹⁸⁾에서는 비대칭성과 저활성화가 유의하게 나타나 근재교육의 필요성을 제시하였다(Table IV).

시각 피드백 및 교육 도구 효과에 대한 연구 중에서 신 등¹⁶⁾은 RUSI를 사용한 막대그래프 기반 시각 피드백 훈련은 구두지시나 일반 초음파 영상 피드백보다 대퇴사두근의 두께 및 근활성도 향상에 더 효과적임을 보고하였고 권 등²⁸⁾은 실시간 초음파 피드백을 통해 복횡근의 독립적인 활성화가 가능함을 밝혔다. 조 등¹⁹⁾은 시각 피드백을 통한 훈련 후 즉각적인 두께 증가를 확인하였

으나 유지 효과는 제한적임을 보고하였으며 남 등²¹⁾은 실시간 초음파 피드백을 병행한 호흡 훈련이 흉곽 둘레 및 폐활량 개선에 효과적임을 확인하였다.

또한 신뢰도 및 타당도 분석 연구도 진행되었으며 임 등¹⁴⁾은 소흉근 측정에서 평가자 내 및 평가자 간 신뢰도에 대한 통계 분석 결과 모두 유의미하게 우수한 수준이며 측정오차도 낮게 유지되었음을 보고하였다. 대둔근 측정 시 수축 및 이완 상태 모두에서 반복 측정 신뢰도가 높았으며²⁰⁾ Dual RUSI를 활용하여 상완이두근과 삼두근을 동시에 측정한 결과²²⁾ 휴식 및 공동 수축 상태

Table IV. Summary of Outcome Measures and Results

First author_Year	Outcome Measures	Results
Jang EM_2023 ⁹⁾	Gmax, BF muscle thickness	Gmax thickness increased significantly with 1kg and 2kg loads; BF thickness decreased as load increased ($p<.05$)
Lim JY_2021 ¹⁰⁾	PMm thickness	Excellent intra- and inter-rater reliability for PMm thickness ($ICC > .93$, $SEM \leq .097$)
Lim CG_2020 ¹¹⁾	EO, IO, TrA thickness	Crunch showed highest EO thickness; Bridge showed highest IO; TrA highest in crunch ($p<.05$)
Shin JH_2020 ¹²⁾	Quadriceps thickness, activation	Graph feedback showed significantly higher muscle thickness and activity than other methods ($p<.05$)
Choi MS_2019 ¹³⁾	TA & MGCM MT/PA	Strong reliability and validity between fixed and conventional probes ($ICC > .93$, $r > .93$)
Song WB_2018 ¹⁴⁾	Multifidus thickness	CLBP group had reduced and asymmetric multifidus activation vs controls ($p<.05$)
Cho JE_2018 ¹⁵⁾	Diaphragm thickness	Visual feedback group showed improved diaphragm activation during training but limited retention effect
Jeong JR_2017 ¹⁶⁾	Gmax thickness	Gmax thickness increased significantly during contraction vs rest
Nam SJ_2017 ¹⁷⁾	Diaphragm excursion, FVC, chest expansion	US feedback group showed greater improvement in chest mobility and FVC ($p<.05$)
Hahn JH_2017 ¹⁸⁾	BB, TB thickness & ICC	High reliability for BB and TB thickness during co-contraction using Dual RUSI ($ICC \geq .76$)
Kim TH_2016 ¹⁹⁾	Abdominal muscle thickness	IO thickness significantly increased at 90° bridge; no significant difference by surface type
Jeong JR_2015 ²⁰⁾	SA, LT thickness	SA and LT thickness significantly thinner on affected side; high measurement reliability
Lee HJ_2014 ²¹⁾	CSA, thickness, angle of LE muscles	Korean group had significantly greater CSA, thickness, and PA than Hanoi group ($p<.01$)
Baek SO_2014 ²²⁾	LM, TrA, OI thickness	All frequencies of NMES increased LM and abdominal muscle thickness significantly ($p<.05$)
Kim JS_2014 ²³⁾	Diaphragm thickness, FEV1, STS	Diaphragm thickness, FEV1, and STS improved post-intervention and maintained after follow-up
Kwon NH_2011 ²⁴⁾	TrA, IO, EO thickness	Feedback group showed greater TrA activation and reduced EO activation ($p<.05$)

Gmax: Gluteus Maximus, BF: Biceps Femoris, PMm: Pectoralis Minor Muscle, EO: External Oblique, IO: Internal Oblique, TrA: Transversus Abdominis, Quadriceps: Quadriceps Femoris, TA: Tibialis Anterior, MGCM: Medial Gastrocnemius Muscle, Multifidus: Multifidus Muscle, Diaphragm: Diaphragm, FVC: Forced Vital Capacity, BB: Biceps Brachii, TB: Triceps Brachii, SA: Serratus Anterior, LT: Lower Trapezius, RF: Rectus Femoris, CSA: Cross-Sectional Area, PA: Pennation Angle, LE: Lower Extremity, LM: Lumbar Multifidus, OI: Obliquus Internus, FEV1: Forced Expiratory Volume in 1 Second, STS: Sit-to-Stand, NMES: Neuromuscular Electrical Stimulation, RUSI: Rehabilitative Ultrasound Imaging, US: Ultrasound, SEM: Standard Error of Measurement, CLBP: Chronic Low Back Pain

모두에서 높은 신뢰도를 확인하였고 고정형 프로브를 이용한 연구¹⁷⁾에서도 일반 프로브와 유의미하게 높은 상관도를 확인하여 유효성을 입증하였다(Table IV).

RUSI를 이용하여 관찰을 시행한 연구 중 이 등²⁵⁾은 서울과 하노이 청년 간 비교에서 서울 참가자의 하지 근육 두께와 각각이 유의미하게 더 컸으며 남성이 여성보다 전반적으로 근육 구조가 발달해 있었음을 확인하였고 정 등²⁰⁾은 뇌졸중 환자에서 전거근과 하부 승모근 모두 마비 측과 비 마비 측 사이에 유의한 두께 차이를 보였으며 성별에 따른 차이도 일부 관찰되었음을 기술하였다. 단일 사례연구²⁷⁾에서는 상부 경추 손상 환자에게 횡격막 호흡 훈련과 RUSI를 활용한 호흡 훈련의 효과를 비교한 결과 호기량, 횡격막 두께, 일어나 앉기 기능 등에서 모두 향상을 보였고 훈련 종료 이후에도 유지되었

음을 보고하였다(Table IV).

4. 고찰

재활초음파(RUSI)는 근육의 해부학적 형태와 기능적 변화를 실시간으로 평가할 수 있는 영상 도구로 근육 두께 변화, 수축 패턴 등을 시각적으로 확인하고 이를 통해 치료적 중재 적용을 지원하고 환자와 치료자에게 피드백을 제공할 수 있다²⁾. 본 연구는 국내에서 시행된 RUSI 관련 임상 연구의 동향을 분석하여 연구 설계, 대상, 중재 방식, 평가 지표, 연구 결과 등을 포괄적으로 고찰하고 향후 임상적 활용 가능성과 연구 방향을 제시하고자 하였다.

2011년부터 2023년까지 총 16편이 보고되었으며 연구 설계 측면에서 관찰연구가 10편으로 가장 많았고 무작위 대조군 설계는 3편이었다^{19,21,28}). 이는 아직까지 RUSI를 활용한 국내 임상연구가 제한된 질환군과 비교적 소규모 대상 중심으로 이루어졌음을 보여주며 향후 추나치료, 도인운동요법 등 한의학적 중재와 RUSI의 연계 활용 가능성을 고려할 때 해당 중재의 생리학적 기전을 객관적으로 확인할 수 있는 측정 지표로서 RUSI를 활용한 무작위대조군연구나 전향적 관찰연구가 효과적일 것으로 판단된다.

연구 대상은 건강한 성인 및 고령자뿐만 아니라 만성 요통, 흉곽 가동성 제한, 상부 경추 손상 등 다양한 근골격계 질환 환자군을 포함하고 있었다. 특히 심부 근육에 대한 평가가 주로 이루어졌으며 이는 RUSI의 핵심 활용 영역 중 하나로 볼 수 있다^{13,15-17,20,26,28}). 치료 중재 또한 다양한 운동 형태, 자세 변화, 외부 부하 조절, 시각적 피드백, 전기 자극 등으로 구성되어 근육 기능 변화 및 치료 효과를 정량적으로 분석하였다. 만성 요통 등 질환군을 대상으로 한 임상 연구들이 이루어졌으며 RUSI의 치료 보조 도구로서 활용 가능성을 확인할 수 있었다. 실시간으로 복횡근, 다열근, 횡격막 및 심부 근육의 구조 및 기능을 시각화할 수 있는 도구로서 관련된 근육들의 활성 여부를 관찰할 수 있다는 점에서 운동치료 및 수기치료와 병행한 평가 수단으로 활용됨을 확인할 수 있었다^{18,19,24,27}).

모든 연구에서 선형 탐촉자를 사용하였으며 2편의 연구에서는 Dual-RUSI나 핸드프리 고정 프로브 등 확장된 기술을 활용하여 다양한 변수 측정 및 신뢰도 검증을 시도하였다^{17,22}). 이는 RUSI의 기술적 진보와 함께 실제 임상에서의 적용 범위가 넓어지고 있음을 보여준다. 더불어 반복 측정 신뢰도 및 타당도에 대한 통계적 분석이 이루어진 연구도 다수 포함되어 있어 RUSI의 측정 도구로서의 정량적 신뢰성을 뒷받침하고 있다^{14,17,20,22}). 시각 피드백 도구로 사용한 연구들에서는 운동 수행 중 근육 수축 및 근육의 상태 변화를 직관적으로 확인함으로써 치료자-환자 간의 상호작용 및 치료 집중도를 향상시키는 효과가 보고되었다^{16,19,21,28}). 이는 근전도와 같은 기존의 전기생리학적 검사와는 달리 실시간으로 영상을 확인할 수 있는 장점이 부각된 부분이며 치료의 정확성과

환자 이해도를 높이는 데 기여할 수 있다.

재활초음파(RUSI)는 수기요법 및 추나치료와 병행 시 근육에 대한 실시간 피드백을 제공하여 치료의 정밀도와 효과성을 높일 수 있으며^{2,4}) 중재와 결합하여 치료 전후 근육 반응을 정량적으로 평가하고 피드백을 제공함으로써 치료의 효과를 제고하는데 기여할 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구의 한계점으로는 국내 연구만을 대상으로 진행하였고 대부분이 단일 기관, 소규모 대상자 기반이라는 점, 중재 프로토콜의 표준화 부족, 다양한 질환군 적용의 제한성 등이 있다. 그럼에도 본 연구를 통해 RUSI가 주로 적용된 질환군, 평가 지표, 중재 유형 등의 경향을 파악함으로써 기존의 진행된 연구들의 특성을 확인할 수 있었으며 이후에는 관찰 연구 보다는 RUSI를 활용한 치료나 운동의 효과에 대한 무작위 대조군 실험 연구 등 고도화된 설계가 시행된 연구가 필요함을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 국내에서 수행된 재활초음파(RUSI) 관련 임상 연구들을 스코핑 리뷰 방법론에 따라 분석하여 RUSI의 임상 적용 현황과 연구 성과를 분석하여 보고하였다. 최종 선정된 16편의 연구 결과 재활초음파(RUSI)는 실시간 영상 제공이라는 특성을 통해 치료자와 환자 간 상호작용을 강화하고 심부근육의 활성화 여부를 직접 시각화할 수 있어 치료적 피드백 도구로서의 활용 가능성이 높음을 확인할 수 있었다. 이러한 특징을 활용하여 향후 근막추나기법이나 도인운동요법 등 한의학적 치료시 효과를 제고할 수 있는 연구가 시행되면 이를 바탕으로 임상 현장에서 더 많이 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

Acknowledgement

This research was supported by a grant of the Korea Health Technology R&D Project through the Korea

Health Industry Development Institute (KHIDI), funded by the Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea (grant number: RS-2023-KH139918(HF23C0166)).

References

1. Deydre T, Shane K. Rehabilitative ultrasound imaging. *J Physiother.* 2011;57(3):196.
[https://doi.org/10.1016/S1836-9553\(11\)70044-3](https://doi.org/10.1016/S1836-9553(11)70044-3)
2. Jackie W, Deydre T, James E, Katy C, Helene L, Haldis D, Maria S. Rehabilitative ultrasound imaging: understanding the technology and its applications. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2007;37(8):434-49.
<https://doi.org/10.2519/jospt.2007.2350>
3. Deydre T, John C, Timothy F. Rehabilitative Ultrasound Imaging: When is a Picture Necessary? *J Orth&Sports Phys Ther.* 2007;37(10):579-80.
<https://doi.org/10.2519/jospt.2007.0109>
4. Deydre T. Rehabilitative ultrasound imaging for assessment and treatment of musculoskeletal conditions. *Manual Ther.* 2011;16(1):44-5.
<https://doi.org/10.1016/j.math.2010.06.012>
5. Esformes JJ, Narici MV, Maganaris CN. Measurement of human muscle volume using ultrasonography. *Eur J Appl Physiol.* 2002;87(1):90-2.
6. Supreme Court of Korea. A case where a Korean medicine doctor was prosecuted for the unauthorized practice of medicine under medical law, using an ultrasound diagnostic device for a Korean medical diagnosis [Supreme Court Decision, December 22, 2022, unanimous decision by the full bench]. 2022[cited 2024 Jan 2]. Available from: URL:<https://www.scourt.go.kr/supreme/news/NewsViewAction2.work?pageIndex=1&searchWord=&searchOption=&seqnum=8967&gubun=4&type=5>
7. Chu SY, Lee JH, Kim HY, Park MJ. Ultrasound-guided acupuncture therapy: a comprehensive review and recent clinical insights. *J Acupotomy.* 2023;7(2):121-130.
<https://doi.org/10.54461/JAcupotomy.2023.7.2.121>
8. Jung NK, Kang KH. A case report on post-operative rehabilitation using ultrasound-guided acupotomy and pharmacopuncture after rotator cuff reconstruction. *J Acupotomy.* 2024;8(2):143-148.
<https://doi.org/10.54461/JAcupotomy.2024.8.2.143>
9. Lee NW, Lee J, Yun JM, Kim S, Chung WS. Integrative medicine focusing on ultrasound-guided high-dose Shinbaro 2 pharmacopuncture for acute herniated intervertebral discs: a case report. *Healthcare (Basel).* 2024;12(16):1620.
<https://doi.org/10.3390/healthcare12161620>
10. Arksey H, O'Malley L. Scoping studies: towards a methodological framework. *Int J Soc Res Meth.* 2005;8(1):19-32.
11. Sucharew H, Sucharew H. Methods for research evidence synthesis: the scoping review approach. *J Hosp Med.* 2019;14(7):416-8.
12. National Evidence-based Healthcare Collaborating Agency. NECA NECA's guidance for undertaking systematic reviews and meta-analyses for intervention. Seoul:National Evidence-based Healthcare Collaborating Agency. 2011:24-5.
13. Jang EM, Jung DE. A Comparison of Gluteus Maximus Muscle and Biceps Femoris Muscle Thickness According to Weight Load during Prone Hip Extension with Knee Flexion Exercises. *PNF and Movement.* 2023;21(3):309-17.
<https://doi.org/10.21598/JKPNFA.2023.21.3.309>
14. Lim JY, Lee SY, Jung SH, Park DS. Reliability study of the Pectoralis Minor Muscle Thickness Measurement using Rehabilitative Ultrasound Imaging. *J Korean Soc Phys Med.* 2021;16(2):45-52.
<https://doi.org/10.13066/kspm.2021.16.2.45>
15. Lim CG. Change of Muscle Thickness on Exercise Type of Core Stabilization in Aged Men. *J Korean Soc Integrative Med.* 2020;8(1):67-76.
<https://doi.org/10.15268/ksim.2020.8.1.067>
16. Shin JH, Lee WH. The effects of two different visual feedback exercise tools based on rehabilitative ultrasound imaging in the elderly. *Phys Ther Rehabil Sci.* 2020;9(4):287-94.
<https://doi.org/10.14474/ptrs.2020.9.4.287>
17. Choi MS, Shin JH, Park HK, Lee WH. Reliability and validity of rehabilitative ultrasound images obtained using a hands-free fixed probe in measuring the muscle structures of the tibialis anterior and the gastrocnemius. *Phys Ther Rehabil Sci.* 2019;8(4):194-201.
<https://doi.org/10.14474/ptrs.2019.8.4.194>
18. Song WB, Kim CH, Jung WK, Ha YJ, Han SG, Hwangbo I. Comparison of Multifidus Thickness Change During Contralateral Arm Lift(CAL) in Patients with Chronic Low Back Pain and Normal Adults. *J Korean Orthopedic Manual Phys Ther.* 2018;24(2):51-8.
19. Cho JE, Hwang DY, Hahn JH, Lee WH. Use of real-time ultrasound imaging for biofeedback of diaphragm motion during normal breathing in healthy subjects. *Phys Ther Rehabil Sci.* 2018;7(3):95-101.
<https://doi.org/10.14474/ptrs.2018.7.3.95>
20. Jeong JR, Lee SJ, Lee WH. Reliability of rehabilitative ultrasound imaging for measuring the gluteus maximus muscle at rest and during contraction. *Phys Ther Rehabil Sci.* 2017;6(1):7-13.
<https://doi.org/10.14474/ptrs.2017.6.1.7>
21. Nam SJ, Shim JH, Oh DW. Effects of Diaphragmatic Breathing Training Using Real-time Ultrasonography on Chest Function in Young Females With Limited Chest Mobility. *Phys Ther Korea.* 2017;24(2):27-36.
<https://doi.org/10.12674/ptk.2017.24.2.027>
22. Hahn JH, Ha HG, Lee HJ, Lim SY, Lee WH. The reliability of ultrasound measurement of the thickness of the pectoralis minor muscle in healthy subjects. *Int J Soc Res Meth.* 2005;8(1):19-32.

- ability of dual rehabilitative ultrasound imaging measurements for muscle co-activation. *Phys Ther Rehabil Sci.* 2017;6(3):152-7.
<https://doi.org/10.14474/ptrs.2017.6.3.152>
23. Kim TH, Hahn JH, Jeong JR, Lee CJ, Kim YJ, Choi SM, Jeon DY, Lee JH, Lim IH, Lee WH. Changes of abdominal muscle thickness during stable and unstable surface bridging exercise in young people. *Phys Ther Rehabil Sci.* 2016;5(4):210-4.
<https://doi.org/10.14474/ptrs.2016.5.4.210>
 24. Jeong JR, Lee WH. The Study of Asymmetrical of the Serratus Anterior and Lower Trapezius Muscles in Chronic Stroke Patients. *J Korean Soc Phys Med.* 2015;10(4):81-90.
<https://doi.org/10.13066/kspm.2015.10.4.81>
 25. Lee HJ, Kim MK, Ha HG, Lee WH. Comparison of Muscle Architecture of Lower Extremity using Rehabilitative Ultrasound Image in Young Adults: a Comparative Study of Muscle Cross-sectional area of Lower Extermity of Seoul and Hanoi in Vietnam. *J Korean Soc Phys Med.* 2014;26(5):324-30.
 26. Baek SO, Ahn SH, Jones R, Cho HK, Jung GS, Cho YW, Tak HJ. Activations of Deep Lumbar Stabilizing Muscles by Transcutaneous Neuromuscular Electrical Stimulation of Lumbar Paraspinal Regions. *Annals of Rehabil Med.* 2014;38(4):506-13.
<https://doi.org/10.5535/arm.2014.38.4.506>
 27. Kim JS. Effects of Diaphragmatic Breathine Exercise Using Real-time Ultrasound Imaeine on Diaphragm Thickness, Pulmonary Function and Functional Lower Extremity Ability in a Patient With Upper Cervical Spinal Cord Injury. *J Korean Neural Rehabil.* 2014;4(2):8-17.
 28. Kwon NH, Lee HO, Park DJ. The Use of Real-Time Ultrasound Imaging for Feedback during Abdominal Hollowing. *J Korean Soc Phys Med.* 2011;6(3):303-10.

ORCID

박정식	https://orcid.org/0000-0002-8925-3503
최성열	https://orcid.org/0000-0002-3652-1997
권나연	https://orcid.org/0000-0002-9666-1801
송윤경	https://orcid.org/0000-0002-7666-6832