Journal of Korean Medicine Rehabilitation Vol. 36 No. 4, October 2026
pISSN 1229-1854 eISSN 2288-4114
https://doi.org/10.18325/jkmr.2026.36.4.179

JKMR
Review Article

사지 근골격계 평가 도구로서 재활초음파영상의 활용: 주제범위 문헌고찰

정동석*[1] · 김윤희*,†[1] · 김기범*,† · 전서재‡ · 이정한*,†,§ · 하원배*,†,‖
원광대학교 한의과대학 추나의학연구회*, 원광대학교 한의과대학 한방재활의학교실†, 대한통합의료연구원‡, 원광대학교 전북바이오융합전문대학원 디지털헬스케어학과§, 원광대학교 전북바이오융합전문대학원 정밀의료기기전공‖

Rehabilitative Ultrasound Imaging as an Assessment Tool for the Musculoskeletal System of the Extremities: A Scoping Review

Dongsuk Jung, Student*[1], Yoonhee Kim, K.M.D.*,†[1], Gibeom Kim, K.M.D.*,†, Seojae Jeon, Ph.D.‡, Junghan Lee, K.M.D.*,†,§, Wonbae Ha, K.M.D.*,†,‖
Chuna Manual Medicine Research Group, College of Korean Medicine, Wonkwang University*, Department of Korean Medicine Rehabilitation, College of Korean Medicine, Wonkwang University†, Korea Institute of Integrative Medicine‡, Department of Digital Healthcare, Graduate School of JABA, Wonkwang University§, Department of Precision Medical Devices, Graduate School of JABA, Wonkwang University‖

Objectives This scoping review mapped how rehabilitative ultrasound imaging is used as an assessment tool for the musculoskeletal system of the extremities, focusing on the structures measured, clinical applications, measurement properties, and structure–outcome relationships.

Methods Following the Arksey and O'Malley framework and the preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses extension for scoping reviews checklist, PubMed, Embase, Cochrane Library, and four Korean databases were searched for studies published from 2016 to June 5, 2026. Ultrasound used solely for diagnosis was excluded. Two reviewers independently selected studies and charted the data.

Results Forty-four studies were included; 21 (47.7%) were cross-sectional and 2 (4.5%) methodological. The most frequently measured structures were the quadriceps (7 studies), acromiohumeral distance (5), and plantar fascia (5). Six studies assessed functionally related structures outside the symptomatic region, 3 used ultrasound as real-time biofeedback, and all 3 Korean medicine studies evaluated tendon or fascia during ultrasound-guided procedures. Beyond morphological indices, tissue-state and dynamic indices such as the functional activity ratio were reported. Ultrasound indices and clinical outcomes generally improved together, but correspondence with pain was inconsistent and few studies tested the relationship between changes directly. Reliability was calculated in 8 studies, measurement error in 4, and responsiveness in none.

Conclusions In the extremities, rehabilitative ultrasound imaging provides structural and dynamic information that complements rather than replaces pain and function measures. Standardizing measurement conditions for frequently used indices and verifying measurement error and responsiveness are required before it can be used to judge treatment effect. **(J Korean Med Rehabil 2026;36(4):179-203)**

Key words Ultrasonography, Rehabilitation, Musculoskeletal system, Extremities, Medicine

[1]These authors contributed equally to the study as co-first authors.

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. RS-2026-25604057).

RECEIVED September 19, 2026
REVISED September 30, 2026
ACCEPTED October 1, 2026

CORRESPONDING TO
Wonbae Ha, Department of Korean Medicine Rehabilitation, College of Korean Medicine, Wonkwang University, 460 Iksan-daero, Iksan 54538, Korea

TEL (063) 859-2807
FAX (063) 859-0033
E-mail ha0530@gmail.com

Copyright © 2026 The Society of Korean Medicine Rehabilitation

서론»»»

근골격계 재활에서 운동 및 신체 활동 중 근육과 관련 연부 조직의 형태와 기능을 평가하고, 운동 재교육과 치료 과정에서 피드백을 제공하기 위해 활용되는 초음파를 재활초음파영상(rehabilitative ultrasound imaging, RUSI)이라 한다. RUSI의 개념과 활용 범위는 2006년 국제 심포지엄에서 논의된 이후 적용 영역과 교육 · 역량 기준이 체계화되어 왔다[1,2]. RUSI는 비침습적으로 반복 측정이 가능하고, 움직임에 따른 조직의 변화를 실시간으로 관찰할 수 있다는 특징을 가진다[2].

임상에서 널리 사용되는 시각 통증 척도(visual analogue scale)와 기능 지수는 환자의 증상과 기능 상태를 반영하지만, 조직의 구조적 변화를 직접 제시하지는 못한다. 실제로 RUSI가 처음 도입된 체간에서는 급성 요통이 호전된 이후에도 다열근의 위축이 자연적으로 회복되지 않는 것으로 보고되어[3], 증상의 회복과 구조의 회복이 반드시 일치하지는 않음이 확인되었다. 이에 따라 RUSI의 근거는 요부 다열근과 복횡근 등 척추 · 체간 근육을 중심으로 축적되어 근육 형태 측정의 신뢰도와 타당도가 확인되었으며[4,5], 최근에는 측정 조건을 표준화한 프로토콜이 제시되는 단계에 이르렀다[6].

사지 관절 및 관련 근골격계 구조에서도 근위축, 건 · 인대의 손상과 회복, 연골의 변화, 관절 주변 골성 거리의 변화 등 다양한 구조적 · 기능적 변화가 재활 평가의 대상이 된다. 실제로 어깨충돌증후군의 견봉상완거리[7], 전방십자인대 재건술 후 대퇴사두근[8], 족저근막염의 족저근막 두께[9] 등을 RUSI로 평가한 임상 연구가 여러 부위에서 보고되고 있다. 그러나 이를 통합적으로 정리한 문헌고찰은 아직 부족한 실정이다. 기존 문헌고찰은 상지 재활에서의 초음파 활용을 정리한 연구[10]와 국내에서 수행된 RUSI 임상 연구의 동향을 분석한 연구[11]에 그친다. 전자는 대상 부위를 상지로 한정하였고, 후자는 대상 부위에 제한을 두지 않아 체간을 대상으로 한 연구가 다수 포함되었다. 따라서 사지 관절 및 관련 근골격계 구조의 평가에서 RUSI가 어떻게 활용되고 있는지를 포괄적으로 정리한 문헌고찰은 확인되지 않는다.

한편 한의계에서는 RUSI의 활용이 아직 제한적인 것으로 보고되었으나[11], 침 · 약침 · 도침 등 근골격계 연부 조직을 표적으로 하는 한의 중재에서 초음파 유도하 시술은 증가하는 추세이다[12]. 이는 초음파를 시술의 유도 수단을 넘어 치료 전후 조직의 변화를 평가하는 도구로 활용할 수 있는지에 대한 검토가 필요함을 시사한다.

이에 본 연구는 사지 관절 및 관련 근골격계 구조에서 RUSI를 평가 도구로 활용한 연구를 대상으로 주제범위 문헌고찰을 수행하여, 연구 동향과 임상적 활용 양상, 대상 질환 및 구조, 측정 지표와 절차, 측정 속성 및 구조 지표와 임상 결과의 관계를 정리하고자 하였다. 나아가 이를 토대로 향후 연구 방향을 제시하고자 하였다.

대상 및 방법»»»

1. 연구 설계

본 연구는 사지 관절 및 관련 근골격계 구조의 평가에 RUSI가 활용된 양상을 확인하기 위한 주제범위 문헌고찰(scoping review)이다. Arksey 등[13]의 5단계 방법론 틀에 따라 수행하였으며, 보고는 preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses extension for scoping reviews (PRISMA-ScR) 지침에 따랐다[14]. 연구 계획서는 자료 수집을 시작하기 전에 Open Science Framework에 등록하였다(https://doi.org/10.17605/OSF.IO/X83U7).

2. 연구 질문

연구 질문은 population, concept, context 틀에 기반하여 설정하였다. Population은 사지 관절 및 관련 근골격계 구조 · 기능의 평가가 이루어진 환자로 하되, 기저 질환의 진단명에는 제한을 두지 않았다. Concept은 평가 도구로서의 RUSI로 하였다. 본 연구에서는 RUSI를 사지 재활 또는 근골격계 평가 맥락에서 근육 · 건 · 인대 · 연골 및 관절 관련 구조의 형태와 기능을 정량적 또는 정성적으로 평가하거나 치료 전후 변화를 추적하기 위해 사용된 초음파영상으로 정의하였으며, 질환 진단만을 목적으로 사용한 초음파는 제외하였다. Context는 재

활 또는 근골격계 평가가 이루어지는 임상・연구 환경으로 하였다. 이에 따라 다음 4가지 질문을 설정하였다.

1) 사지 관절 및 관련 근골격계 구조를 대상으로 한 RUSI 임상 연구의 출판 동향과 연구 특성은 어떠한가?
2) RUSI는 어떤 임상적 맥락과 대상 구조에서 어떤 평가 목적으로 활용되는가?
3) 어떤 측정 파라미터와 절차적 프로토콜이 사용되는가?
4) 평가 도구로서 RUSI의 임상적 유용성은 측정 속성과 관련 임상 결과를 중심으로 어떻게 보고되어 있으며, 한의 재활 영역의 적용 가능성을 고려할 때 향후 활용과 연구 방향은 무엇인가?

3. 검색 전략

검색 기간은 현행 임상에서 사용되는 장비 환경과 최근의 활용 양상을 반영하기 위하여 최근 10년으로 설정하여, 2016년부터 2026년 6월 5일까지 출판된 문헌을 대상으로 하였다. 국제 데이터베이스는 PubMed (pubmed.ncbi.nlm.nih.gov), Embase (www.embase.com), Cochrane Library (www.cochranelibrary.com)의 3종을, 국내 데이터베이스는 한국학술정보(Korean studies Information Service System, KISS; kiss.kstudy.com), 전통의학정보포털(Oriental Medicine Advanced Searching Integrated System, OASIS; oasis.kiom.re.kr), 학술연구정보서비스(Research Information Sharing Service, RISS; www.riss.kr), 과학기술지식인프라(ScienceON; scienceon.kisti.re.kr)의 4종을 활용하여 총 7종에서 검색을 수행하였다. 한국의학논문데이터베이스(KMbase)는 연구 계획 단계에서 검색 대상에 포함하였으나, 운영 기관인 의과학연구정보센터(Medical Research Information Center)가 2025년 2월 활동을 중단함에 따라 검색에서 제외하였다.

검색어는 표적 관절 및 근골격계 구조에 관한 용어와 재활초음파에 관한 용어를 AND로 결합하여 구성하였다. 전자는 ‘upper extremity’, ‘lower extremity’, ‘shoulder’, ‘knee’, ‘ankle’, ‘rotator cuff’, ‘quadriceps’, ‘Achilles tendon’ 등을, 후자는 ‘rehabilitative ultrasound imaging’, ‘real-time ultrasound imaging’, ‘RUSI’, ‘RTUS’, ‘ultrasound biofeedback’, ‘musculoskeletal ultrasound’ 등을 사용하였으며, 여기에 각 데이터베이스의 통제 용어(MeSH, Emtree 등)를 조합하였다. 국내 데이터베이스에서는 이에 대응하는 한글 검색어를 병용하였고, 검색 누락을 줄이기 위해 논문명 검색과 초록 검색을 각각 수행한 뒤 그 결과를 합하여 검토하였다. 다만 KISS와 OASIS는 검색 기능의 제약으로 KISS에서는 재활초음파 관련 용어만을, OASIS에서는 ‘초음파’만을 검색어로 사용하였다. 데이터베이스별 최종 검색식을 제시하였다 (Appendix I).

4. 선정 및 배제 기준

1) 선정 기준

(1) 무작위 대조 시험, 관찰 연구, 증례 보고 등 일차 연구
(2) 환자의 사지 관절 및 관련 근골격계 구조・기능을 평가하기 위해 초음파를 활용한 연구
(3) RUSI 관련 측정 파라미터, 측정 절차, 임상적 활용 또는 신뢰도・타당도 등의 측정 속성을 보고한 연구
(4) 영어 또는 한국어로 출판된 동료 심사 학술지 논문

2) 배제 기준

(1) 동물 실험・사체 연구 등 비임상 연구
(2) 척추 또는 체간을 주 대상으로 한 연구
(3) 건강인만을 대상으로 한 연구
(4) 재활 평가와 관련 없이 질환 진단만을 목적으로 초음파를 사용한 연구
(5) 이차 연구, 사설, 학술대회 초록

근골격계 초음파(musculoskeletal ultrasound)는 대상 부위를 기준으로 한 포괄적 개념으로 진단과 재활 등 여러 목적을 포함하므로, 영상 기술과 대상 구조에서 RUSI와 중첩된다. 이에 본 연구에서는 개별 연구에서 사용한 용어가 아니라 초음파의 사용 목적을 기준으로 포함 여부를 판단하였다. 진단 목적이 함께 기술된 연구라 하더라도 재활 맥락에서 구조를 평가하거나 경과를 추적한 소견을 보고한 경우에는 배제하지 않았다. RUSI의 정의에는 형태와 기능의 평가와 함께 운동 재교육 과정에서의 시각적 피드백 제공이 포함되므로[1,2],

초음파를 평가가 아닌 시각적 피드백의 수단으로 활용한 연구도 본 연구의 개념 범위에 해당하는 것으로 보아 포함하되, 평가 도구로서의 활용과는 구분하여 제시하였다. 다만 이러한 연구는 초음파에서 산출된 정량적 값을 보고하지 않으므로, 측정 파라미터 및 측정 속성 관련 분석에서는 구분하여 기술하였다.

5. 문헌 선정

문헌 선정은 2인의 연구자(DJ, YK)가 독립적으로 수행하였다. 1차로 제목과 초록을 검토하였으며, 연구자들은 서로의 초기 판단을 알지 못하는 상태로 평가하였다. 2차로 전문을 검토하여 선정 · 배제 기준에 따라 최종 대상 문헌을 확정하였다. 포함 문헌의 참고문헌 목록에 대한 수기 검색을 시행하였으나 추가로 선정된 문헌은 없었다. 이견은 연구자 간 합의 또는 제3의 연구자(WH)와의 논의를 통해 해결하였다. 선정 과정은 PRISMA 2020 흐름도로 제시하였다(Fig. 1).

6. 자료 추출

자료 추출에는 Microsoft Excel 365 (Microsoft, Redmond, WA, USA)로 작성한 표준화된 양식을 사용하였고, 서지 관리에는 EndNote 2025 (Clarivate Analytics, Philadelphia, PA, USA)를 이용하였다. 추출 항목은 1) 연구 특성(저자, 출판 연도, 국가, 연구 설계), 2) 대상자 특성(표본 수, 대상 질환), 3) 초음파 측정 파라미터 및 관찰 소견, 4) 측정 속성(신뢰도, 측정 오차, 타당도 및 진단 정확도, 반응성 관련 보고), 5) 측정 프로토콜(자세, 탐촉자 위치, 측정 절차), 6) 비초음파 임상 결과(통증 · 기능 · 근력 · 관절 가동 범위 · 이상 반응 등)로 하였다. 초음파 유래 결과와 비초음파 결과는 구분하여 정리하였다. 자료 추출은 2인의 연구자(DJ, YK)가 각각 독립적으로 수행한 뒤 두 추출 결과를 대조하였으며, 불일치는 합의 또는 제3의 연구자(WH)와의 논의를 통해 해결하였다.

7. 자료 정리 및 분석

별도의 통계적 모형이나 통합 효과 크기 산출 없이 서술적 수치 요약과 범주별 정리를 수행하였다. 결과는 일반적 연구 특성, 임상적 특성, 측정 파라미터 · 프로토콜, 중재 맥락, 측정 속성, 구조 지표와 임상 결과의 관계로 정리하였다. 측정 속성은 신뢰도, 측정 오차, 타당도 및 진단 정확도, 반응성으로 구분하였으며, 연구에서 직접 제시한 결과와 선행 연구에서 인용한 값을 구분하였다. 표에는 각 연구가 직접 산출한 값만 제시하였고, 선행 연구에서 인용한 값은 제외하였다. 연구 설계는 비교 연구, 단면 평가 연구, 증례 보고 · 증례군, 단일군 연구, 방법론 · 타당도 연구로 정리하였다. 이 중 비교 연구는 서로 다른 중재를 받은 둘 이상의 군 또는 조건 간에 결과를 비교한 연구로 하였으며, 연구자가 중재를 배정한 중재 연구와 배정 없이 자료를 수집한 관찰 연구를 모두 포함하되 개별 연구의 설계는 구분하여 제시하였다. 서로 다른 중재 간 비교 없이 질환군과 대조군 또는 환측과 건측의 차이를 한 시점에서 비교한 연구는 단면 평가 연구로 분류하였다. 단면 비교와 치료 전후 평가를 함께 수행한 연구는 그 특성을 병기하였다. 주제범위 문헌고찰의 특성상 개별 연구의 비뚤림 위험 평가는 시행하지 않았으며, 개별 연구에서 보고한 통계적 차이는 기술하되 이를 이용한 치료 효과의 통합 판정은 수행하지 않았다. 다만 자료 추출 과정에서 원저의 초록 · 본문 · 표 간 수치 또는 서술이 일치하지 않거나, 보고된 결과의 해석에 전제가 되는 사항(기저치 불균형, 단위 미기재 등)이 확인된 경우에는 해당 사실을 표의 각주에 기술하였다. 이는 추출 자료의 출처와 범위를 명확히 하기 위한 것으로, 개별 연구의 방법론적 질이나 비뚤림 위험에 대한 평가에 해당하지 않는다.

결과»»»»

1. 문헌 검색 및 선정 결과

7종의 데이터베이스 검색을 통해 총 3,340편(PubMed 923편, Embase 1,600편, Cochrane Library 266편, KISS 160편, OASIS 80편, RISS 63편, ScienceON 248편)이 검색되었다. 중복 763편과 검색 기간을 벗어나 출판된

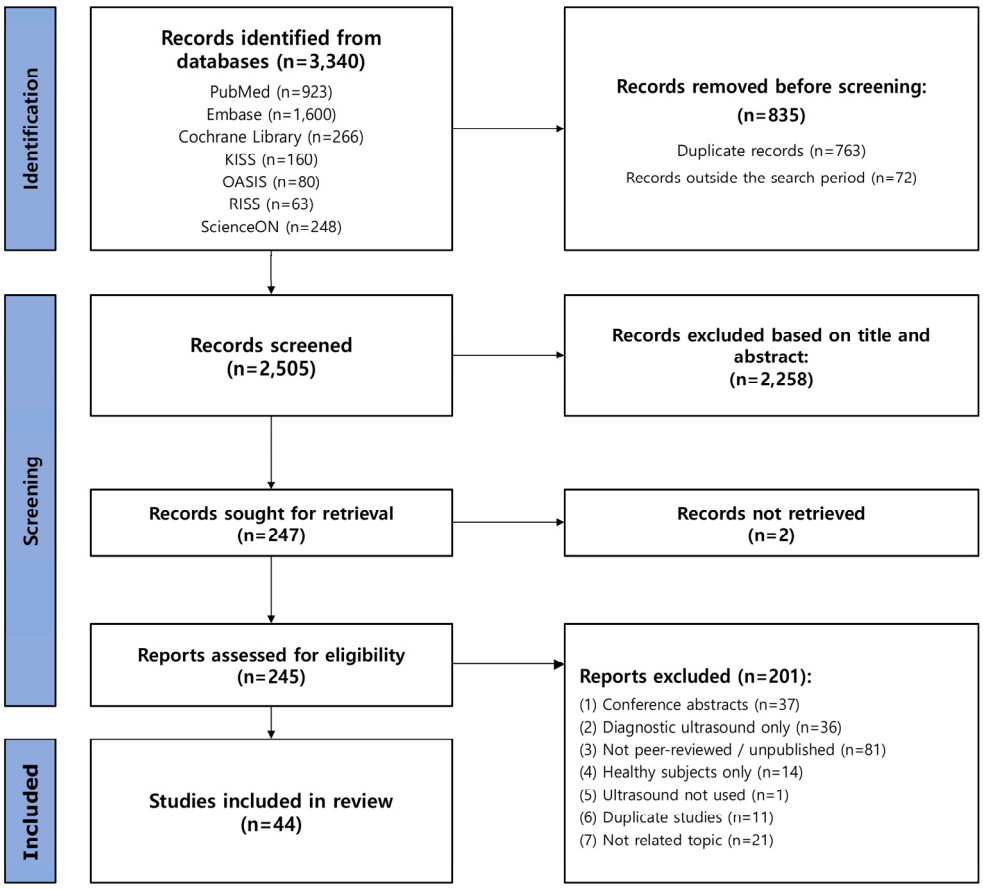

Fig. 1. PRISMA 2020 flow diagram of the study selection process. KISS: Korean studies Information Service System, OASIS: Oriental Medicine Advanced Searching Integrated System, RISS: Research Information Sharing Service, PRISMA: preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses.

72편을 제거한 후 2,505편의 제목과 초록을 선별하여 2,258편을 제외하였다. 전문 확보를 시도한 247편 중 2편은 원문을 확보하지 못하였고, 나머지 245편의 전문을 검토하여 201편을 제외하였다. 제외 사유는 학술대회 초록 37편, 진단 목적 초음파 36편, 비동료 심사 또는 미출판 81편, 건강인만을 대상으로 한 연구 14편, 초음파 미사용 1편, 중복 출판 11편, 주제 무관 21편이었다. 최종적으로 44편[7-9,15-55]을 본 문헌고찰에 포함하였다(Fig. 1).

2. 연구 특성

포함 문헌은 2016년부터 2026년까지 출판되었으며, 연도별 출판 편수는 증감을 반복하는 가운데 2025년에 9편으로 가장 많았고 최근 3년간(2024~2026년) 발표된 연구가 15편(34.1%)이었다. 국가별로는 한국과 미국이 각 9편으로 가장 많았고, 스페인과 중국이 각 4편, 호주・인도・튀르키예・루마니아가 각 2편, 그 외 9개국이 각 1편, 미국・스웨덴 공동 연구가 1편이었다. 연구 설계별로는 단면 평가 연구가 21편(47.7%)으로 가장 많았고, 비교 연구 10편(22.7%; 병렬 설계 무작위 대조 시험 5편, 교차 설계 무작위 대조 시험 2편[예비 연구 1편 포함], 비무작위 대조 시험 2편, 후향적 코호트 연구 1편), 증례 보고・증례군 8편(18.2%), 단일군 연구 3편(6.8%), 방법론・타당도 연구 2편(4.5%) 순이었다. 개별 연구의 특성과 주요 결과는 연구 설계에 따라 비교 연구, 증례 보고・증례군, 단면 평가 연구, 단일군 및 방법론・타당도 연구로 구분하여 정리하였다(Tables I-IV).

비교 연구 10편(Table I) 중에서는 운동・물리치료를 중재로 한 연구가 6편으로 가장 많았고, 전기침을 시행한

Table I. Characteristics and Findings of Comparative Studies

Study	Design	Participants	Intervention	Control	Target	RUSI measure	RUSI outcome	Other clinical outcome
McKenna et al.[15] (2021) Australia	RCT (crossover)	N=25 analyzed (27 randomized to intervention order: 14/13); all participants received both interventions; subacromial pain syndrome	A: RTUS visual feedback+manual facilitation (serratus punch)	B: Manual facilitation only	Shoulder, SA	Real-time visualization of SA contraction for biofeedback; no quantitative ultrasound measure*	No quantitative ultrasound-derived outcome reported	RTUS biofeedback increased SA sEMG activation versus manual facilitation alone (between-intervention difference in change: 55.5 percentage points of MVIC; 95% CI, 13.9 to 97.1; p=0.009) No significant pain increase or adverse events
Sui et al.[16] (2021) China	RCT	N=32 analyzed (34 recruited; EA 17/SEA 15); poststroke hemiplegic shoulder pain with shoulder subluxation	A: EA+conventional drug & rehabilitation	B: SEA+ conventional	Shoulder: subluxation distances (AHD, AGT, ALT)	AHD, AGT, ALT (musculoskeletal ultrasonography)	AHD, AGT, and ALT decreased in both groups; changes did not differ between groups	VAS decreased in both groups, with a greater reduction after EA than SEA (p=0.03)
Cho et al.[17] (2020) South Korea	RCT	N=25 (FPRE 13/control 12); spastic diplegic cerebral palsy, GMFCS I-III	A: FPRE, 30 min, 3 times/wk, 6 wk	B: Conventional physical therapy (FES, standing frame, mat exercise)	Knee/thigh: quadriceps (rectus femoris)	TQ, rectus femoris CSA	Significant time×group interactions for bilateral quadriceps thickness and dominant RF CSA; none for non-dominant RF CSA	Significant interactions for dominant knee-extensor strength, bilateral popliteal angles, and forward/side reach GMFM improved within FPRE, but the interaction was not significant
Alotaibi et al.[9] (2020) USA	RCT	N=44 (MPC+SE 22/MPC 22); plantar fasciitis	A: MPC+plantar fascia SE	B: MPC only	Foot (heel): plantar fascia	Plantar fascia thickness (sagittal)	Plantar fascia thickness decreased in both groups; no between-group difference or interaction	Pain decreased in both groups; no between-group difference or interaction Changes in pain and thickness were not correlated (r=-0.006, p=0.97)
Sadiq et al.[18] (2025) Pakistan	RCT	52 randomized; 44 analyzed (IG 22/CG 22); post total knee arthroplasty (TKA)	A: 12-week supervised sensorimotor training followed by an 8-week web-based home rehabilitation/lifestyle modification phase	B: Same supervised training followed by standard written home exercise	Knee/thigh: RF	Rectus femoris CSA, thickness, and width (rest & contraction)†	The reported RF ultrasound measure increased more in the intervention group (group×time p=0.001)	JPS error and BBS improved; group differences favored the intervention All KOOS subscales and EQ-5D-5L favored the intervention (all p=0.001) Adherence >90%: 81.8% (18/22) versus 68.2% (15/22)
Lim et al.[19] (2018) South Korea	RCT	N=30 chronic stroke survivors (ECT n=15, CCT n=15; 22 men, 8 women)	A: ECT, knee extensors & ankle plantar flexors, 3 times/wk, 6 wk	B: CCT	Knee/thigh & lower leg: VMO, VL, SOL	VMO, VL, and SOL muscle thickness at rest and during contraction	ECT produced greater increases in contracted VMO/VL thickness; other between-group differences were not significant Within-group increases: all measures except resting SOL (ECT) and contracted VL (CCT)	Knee-extensor and plantar-flexor strength improved in both groups, more with ECT Soreness peaked at weeks 1/2 in ECT/CCT, then declined; overall soreness was lower with ECT

Table I. Continued

Study	Design	Participants	Intervention	Control	Target	RUSI measure	RUSI outcome	Other clinical outcome
Sharma et al.[20] (2024) India	nRCT	N=14 (experimental 7/control 7); stage 2 adhesive capsulitis	A: Positional CHL stretching+shoulder mobilization+ultrasonic therapy (2 wk)	B: Therapeutic shoulder exercises+ shoulder mobilization+ ultrasonic therapy (2 wk)	Shoulder (rotator interval): CHL	CHL thickness	CHL thickness decreased in both groups (experimental 1.82→1.51 mm, p=0.02; control 2.12→1.78 mm, p=0.06); post-treatment thickness was lower in the experimental group (MD 0.27 mm, p=0.03), although the groups also differed at baseline (control 2.12 mm versus experimental 1.82 mm, p=0.08) ‡ Echogenicity, bursal fluid, and capsular movement changed Glycemia correlated with thickness (r=0.92)	Post-treatment NPRS/SPADI were lower and ER ROM greater than controls; scaption ROM did not differ Both groups improved within-group on pain, scaption ROM, ER ROM, and SPADI
Roll et al.[21] (2020) USA	RCT (crossover, pilot)	N=21; hand therapy patients (mixed diagnoses); 3-arm randomized crossover	A: Mindful body scan (20 min)+standard care (40 min) B: Sonographic biofeedback (20 min)+standard care (40 min) (randomized crossover, 3 analyzed sessions)	C: Standard care	Hand/wrist (hand therapy)	None: ultrasound used only as visual biofeedback§	No ultrasound-derived outcome reported	Sonographic biofeedback did not significantly differ from standard care in pain, anxiety, or cortisol at 20 or 60 min Cortisol decreased by 2.1 nmol/L over the biofeedback session, exceeding the expected physiological decline of 1.2 nmol/L Body scan reduced anxiety versus standard care at 20 min (p=0.03) Anxiety/cortisol decreased across sessions regardless of intervention; pain did not significantly change
Xu et al.[22] (2025) China	Retrospective cohort	N=82 (PRP gel 29/PRP 26/sodium hyaluronate 27); mild or moderate supraspinatus tendon tears	All groups: ultrasound-guided triamcinolone injection (glenohumeral joint and subacromial bursa), then 1 week later A: Ultrasound-guided PRP gel injection into the tear site (PRP 3.0 ml+thrombin, double-needle method) B: Ultrasound-guided PRP injection (3.0 ml) into the tear site	C: Ultrasound-guided sodium hyaluronate injection (glenohumeral joint and subacromial bursa, 2.0 ml each)	Shoulder: supraspinatus muscle	Supraspinatus fat infiltration (semi-quantitative grading of muscle echogenicity, Heckmatt scale)	Fat infiltration did not differ among groups at baseline, 1 week, and 1 and 3 months; at 6 months it was lower in the PRP gel and PRP groups than in the sodium hyaluronate group (1.86 vs. 1.96 vs. 2.32, p=0.008) Mean grades rose from baseline in all groups ‖	VAS was lower in both PRP groups than sodium hyaluronate at 3 months and lower with PRP gel than both groups at 6 months; the Constant-Murley score was higher with PRP gel at 3 and 6 months (p<0.05) Efficacy rate at 6 months was 93.1% vs. 80.8% vs. 66.7% (p=0.01) Adverse events 3.7% (bruising, injection-site pain)

Table I. Continued

Study	Design	Participants	Intervention	Control	Target	RUSI measure	RUSI outcome	Other clinical outcome
Rogoveanu et al.[23] (2018) Romania	nRCT	N=50 (SWT 25/control 25); lateral epicondylitis, aged 35~80 years	A: Shockwave therapy (SWT; 2 bar, 2,000 shocks), 5 sessions with 5-day intervals	B: NSAIDs+local topical agents+ laser+therapeutic ultrasound	Elbow (lateral): CET enthesis	CET maximum thickness; PD signal (semi-quantitative 0~3)	CET thickness decreased from 6.1 to 4.5 mm (26.2%) with SWT and from 6.2 to 5.3 mm (14.5%) in controls; the PD scale decreased from 2.5 to 0.8 and from 2.2 to 1.3, respectively (within-group $p<0.05$)¶	VAS decreased from 70.8 to 28.4 mm (59.9%) with SWT and from 61.6 to 38.8 mm (37.0%) in controls (within-group $p<0.05$)

A, B, and C indicate the intervention arms as designated in the source study.

RUSI: rehabilitative ultrasound imaging, RCT: randomized controlled trial, RTUS: real-time ultrasound, SA: serratus anterior, sEMG: surface electromyography, MVIC: maximum voluntary isometric contraction, CI: confidence interval, EA: electroacupuncture, SEA: sham electroacupuncture, AHD: acromiohumeral distance, AGT: acromion-greater tuberosity distance, ALT: acromion-lesser tuberosity distance, VAS: visual analogue scale, FPRE: functional progressive resistance exercise, GMFCS: gross motor function classification system, wk: week, FES: functional electrical stimulation, TQ: thickness of the quadriceps, CSA: cross-sectional area, RF: rectus femoris, GMFM: gross motor function measure, MPC: monophasic pulsed current, SE: stretching exercise, IG: intervention group, CG: control group, TKA: total knee arthroplasty, JPS: joint position sense, BBS: Berg balance scale, KOOS: knee injury and osteoarthritis outcome score, EQ-5D-5L: EuroQol 5-dimension 5-level questionnaire, ECT: eccentric contraction training, CCT: concentric contraction training, VMO: vastus medialis oblique, VL: vastus lateralis, SOL: soleus, nRCT: non-randomized controlled trial, CHL: coracohumeral ligament, MD: mean difference, NPRS: numeric pain rating scale, SPADI: shoulder pain and disability index, ER: external rotation, ROM: range of motion, PRP: platelet-rich plasma, SWT: shockwave therapy, NSAID: nonsteroidal anti-inflammatory drug, CET: common extensor tendon, PD: power Doppler, MSK-US: musculoskeletal ultrasound.

*RTUS was used as visual biofeedback. SA activation was measured by sEMG and expressed as %MVIC; 55.5 is a difference in this normalized measure, not a relative percentage increase (McKenna et al., Table II of the source article).

†The source article (Sadiq et al.) labels the ultrasound outcome "MSK-US" without a unit; the text inconsistently describes thickness and cross-sectional area. Separate CSA, thickness, and width results cannot be distinguished. Assessments: presurgery and 14/22 weeks postsurgery; the 8-week home phase followed 12 weeks of supervised training.

‡The groups differed at baseline (control 2.12 mm versus experimental 1.82 mm, $p=0.08$), and the within-group reduction reached significance only in the experimental group ($p=0.02$ versus $p=0.06$); the post-treatment between-group difference should therefore be interpreted alongside the baseline imbalance.

§No RUSI-derived morphological/functional value; ultrasound used purely as biofeedback. Primary outcomes (anxiety, cortisol, pain) are non-RUSI.

‖Groups were assigned according to age, illness duration, and tear severity rather than at random. The source abstract states that PRP gel decreased fat infiltration, but Table IV of the source article (Xu et al.) shows increases in mean grade in all groups (PRP gel 1.64→1.86; PRP 1.78→1.96; sodium hyaluronate 1.85→2.32); the 6-month difference therefore reflects smaller increases. Follow-up points are labeled "postoperatively" in the source article although the interventions were injections.

¶Groups were formed to be homogeneous according to disorder severity rather than at random. No between-group statistical test was reported; comparisons rest on percentage improvements, and baseline VAS differed between groups (70.8 versus 61.6 mm).

Table II. Characteristics and Findings of Case Reports and Case Series

Study	Participants (M/F)	Intervention	Target	RUSI measure	RUSI outcome	Other clinical outcome
Wagatsuma et al.[24] (2025) Japan	n=1 (1/0); collegiate baseball player with shoulder impingement symptoms	Ultrasound-guided real-time visual biofeedback+rotator cuff (teres minor) contraction training	Shoulder: teres minor (rotator cuff)	Dynamic muscle thickness change during contraction (qualitative)+real-time visual biofeedback*	Qualitative US showed impaired teres minor contraction with compensatory posterior deltoid activation	NRS 8→3 by week 4; ER and strength improved Return to competition by week 6; no recurrence at 3 months
Rabin et al.[25] (2020) Israel	n=1 (1/0); shoulder pain with scapular dyskinesis due to LT dysplasia	Serratus anterior & LT strengthening exercise+NMES	Shoulder/scapula: LT	LT muscle thickness and width (bilateral, T5/T7/T10)	Left LT was thinner at T5, thinner/narrower at T7, and absent at T10	Pain and functional deficits resolved; SSV 55%→80% and LT/SA strength improved Scapular dyskinesis persisted
Mihai et al.[26] (2025) Romania	n=1 (1/0); gout patient with BSQTR	Surgical repair+9-week phased rehabilitation+single hip manipulation at 6-month follow-up	Knee (suprapatellar): quadriceps tendon, bilateral	Quadriceps tendon structural integrity and dynamic glide (fibrillar pattern, echogenicity, edema, calcification, scarring)†	Tendon echotexture and edema improved by weeks 6–9; final US showed mature structure, consistent glide, and no scarring	At 9 weeks, right/left AROM 0°→95°/90°, VAS 7→1, FAC 0→5, and ADL 6→10 At 6 months, full AROM and VAS 0; FAC/ADL gains maintained
Gamiel et al.[27] (2024) Egypt	n=1 (1/0); subcoracoid impingement (5-year left anterior shoulder pain)	6-week multimodal physical therapy (electrophysical agents, manual therapy, therapeutic exercise)	Shoulder: supraspinatus, subscapularis; CHD, AHD	CHD, AHD; supraspinatus & subscapularis thickness	Over 1 year (affected side): CHD in internal rotation 0.85→1.01 cm, peaking at 1.23 cm at 3 months; CHD in external rotation 1.14→1.34 cm; supraspinatus 0.58→0.54 cm; subscapularis 0.65→0.43 cm AHD varied slightly (0° 1.1→1.17 cm; 60° 0.98→1.03 cm)	NPRS 9→3 and SPADI 49.23%→6.92% at 1 year; push-up performance improved and was maintained At 6 weeks, ER, IR at 0°, and scaption strength increased; IR strength at 90-90° slightly decreased
Cross et al.[28] (2017) USA	n=1 (0/1); infraspinatus dysfunction with myofascial trigger points, 7 months post posterior labral repair	Dry needling to infraspinatus trigger points, 3 successive visits	Shoulder: infraspinatus (superior & inferior portions)	Infraspinatus thickness at rest and 50% MVIC (superior/inferior, bilateral)	Contracted inferior infraspinatus thickness increased immediately after DN (15.2→18.9 mm), approaching the contralateral side; superior thickness changed minimally	ER strength increased approximately 30%; no immediate pain change Treatment-site soreness occurred
Kim et al.[29] (2025) South Korea	n=1 (0/1); chronic Achilles tendinopathy with calcific tendinitis (refractory)	4-stage ultrasound-guided acupuncture (bee venom pharmacopuncture, PDRN hydrodissection, high-volume injection, periosteal pecking+electroacupuncture), 12 sessions/47 days	Ankle/heel: Achilles tendon	Achilles tendon thickness; calcific deposit size; color doppler neovascularization	Doppler signals markedly decreased by day 47; tendon thickness and calcific deposit size showed no significant change	All FAOS subscales progressively improved through day 118 (pain 27.8→83.3; symptoms 32.1→82.1; ADL 32.4→79.4; sport/recreation 15.0→75.0; quality of life 18.8→75.0) No adverse events or symptom recurrence at follow-up
Oh et al.[30] (2023) South Korea	n=1 (0/1); plantar fasciitis (right foot)	Ultrasound-guided bee venom pharmacopuncture (6 sessions)+ Korean medicine (acupuncture, electroacupuncture, moxibustion, 12 sessions; wet cupping, 3 sessions) over 5 weeks	Foot (heel): plantar fascia	Plantar fascia thickness and sonographic morphology (echogenicity, perifascial border, and perifascial effusion)	Plantar fascia thickness 0.43→0.40 cm, reaching a mid-treatment minimum of 0.34 cm before rebounding; echogenicity, border definition, and effusion improved Contralateral thickness remained approximately 0.31 cm	NRS 10→1; FFI 190→72 Improvement persisted at 1 month, with mild prolonged-walking pain Procedure-related pain occurred without swelling, erythema, or pruritus
Kang et al.[31] (2025) South Korea	N=3 (2/1); refractory chronic/post-traumatic plantar fasciitis	Ultrasound-guided acupotomy at the plantar fascia-flexor digitorum brevis interface, weekly up to 5 sessions	Foot (heel): plantar fascia	Plantar fascia thickness	Fascia thickness decreased in cases 1/2 but not case 3 (mean 5.47→5.13 mm); echotexture improved, with reduced fibrosis/edema in individual cases	Mean first-step/activity NRS 9.0→0.0/8.0→1.7 Transient tenderness/walking pain resolved within 1–2 days; no major complications Daily activities resumed the same/next day

RUSI: rehabilitative ultrasound imaging, US: ultrasound, NRS: numeric rating scale, ER: external rotation, LT: lower trapezius, NMES: neuromuscular electrical stimulation, SSV: subjective shoulder value, SA: serratus anterior, BSQTR: bilateral simultaneous quadriceps tendon rupture, AROM: active range of motion, VAS: visual analogue scale, FAC: functional ambulation category, ADL: activities of daily living, CHD: coracohumeral distance, AHD: acromiohumeral distance, NPRS: numeric pain rating scale, SPADI: shoulder pain and disability index, IR: internal rotation, MVIC: maximum voluntary isometric contraction, DN: dry needling, PDRN: polydeoxyribonucleotide, FAOS: foot and ankle outcome score, FFI: foot function index.

*No quantitative RUSI-derived value; dynamic US qualitatively compared teres minor and posterior deltoid thickness change and was also used as visual biofeedback.

†Qualitative/descriptive only on ultrasound; the numeric tendon retraction values reported in the source (40 mm and 24 mm) were measured on magnetic resonance imaging.

Table III. Characteristics and Findings of Cross-Sectional Studies

Study	Design	Participants	Comparison	Target	RUSI measure	RUSI outcome	Other clinical outcome
Guízar-Sánchez et al.[32] (2023) Mexico	Cross-sectional	N=42 (spastic CP 21/control 21); spastic cerebral palsy (GMFCS IV-V) vs. typically developing	Spastic CP vs. TD	Hip: iliopsoas, sartorius, rectus femoris, adductors, gluteus medius/minimus	Hip muscle thickness (multiple muscles)	Hip muscles were thinner in CP except bilateral adductor longus; no synovitis, bursitis, or tendinopathy Interobserver ICC=0.84	All CP participants had chronic hip pain, associated with displacement, spasticity, left flexion contracture, and GMFCS V
Pan et al.[33] (2022) China	Cross-sectional and pre-post design	N=170 (KOA 85/control 85); knee osteoarthritis vs. control	KOA vs. control	Knee: femoral condyle cartilage; suprapatellar capsule (effusion, synovium)	Femoral cartilage thickness (lateral/medial condyle); suprapatellar effusion depth; synovium thickness	KOA showed thinner femoral cartilage and greater suprapatellar effusion depth and synovial thickness than controls ($p \leq 0.01$) Lesion detection rates did not significantly differ between MSUS and arthroscopy Ancillary (post-acupotomy, 2 wk): in the KOA study group, femoral cartilage thickness increased (lateral 1.61→1.87 mm; medial 1.39→1.84 mm), and suprapatellar effusion depth and synovial thickness decreased	NR
Calvo-Lobo et al.[34] (2018) Spain	Cross-sectional	N=60 feet (hemiparesis 20/contralateral 20/healthy control 20); poststroke hemiparesis	Hemiparesis vs. contralateral vs. healthy control feet	Foot: abductor hallucis, flexor digitorum brevis, flexor hallucis brevis; plantar fascia	Intrinsic foot muscle CSA & thickness; plantar fascia thickness	FHB was thicker and PF-2 thinner in both poststroke feet than controls; PF-3 was thinner contralaterally Other measures did not differ significantly Significant prediction models for PF-1 and intrinsic muscle CSA/thickness had R^2=0.113~0.260	NR
DeJong et al.[35] (2019) USA	Cross-sectional	N=40 (CAI 20/healthy 20); chronic ankle instability vs. healthy	CAI vs. healthy	Hip: GMED, GMAX	GMAX and GMED muscle thickness during gait (used to calculate FAR)	GMED FAR was lower bilaterally in CAI during 0~40% of gait and remained below quiet-standing levels throughout gait No GMAX group/limb differences	CAI showed poorer self-reported ankle function and greater kinesiophobia
Chen et al.[36] (2026) Taiwan	Cross-sectional	N=228 (KOA 114/control 114, propensity-matched); knee osteoarthritis vs. control	KOA vs. control	Knee: FIC; quadriceps	FIC thickness; quadriceps thickness	FIC thickness correlated with quadriceps thickness (r=0.742~0.751) and ASMMI (r=0.338~0.373); after FDR adjustment, the gait speed correlation remained significant only on the left (p=0.013), and grip strength and WOMAC were not correlated In subgroup analysis (above vs. below mean FIC), the thicker-FIC group had higher ASMMI, grip strength, gait speed, and FFMI and lower WOMAC pain/total scores (adjusted $p \leq 0.049$)*	KOA had more sarcopenia (41.2% vs. 26.3%, p=0.017) and slower gait (p=0.024)
Navarro-Ledesma et al.[37] (2018) Spain	Cross-sectional	N=116 (RCRSP patients 76/healthy 40); chronic rotator cuff-related shoulder pain vs. healthy	Symptomatic vs. asymptomatic (contralateral) vs. healthy shoulders	Shoulder: AHD at 0° and 60° abduction	AHD at 0° and 60° abduction	AHD was smaller in symptomatic than contralateral shoulders at 60° (MD -0.51 mm, p=0.01), but not versus healthy shoulders No group differences at 0° or in 0~60° reduction Intrarater ICC=0.88 (0°) and 0.98 (60°); SEM=0.05 and 0.003; MDC95=0.13 and 0.01 mm	NR

Table III. Continued

Study	Design	Participants	Comparison	Target	RUSI measure	RUSI outcome	Other clinical outcome
DeJong et al.[38] (2020) USA	Cross-sectional	N=28 females (CAI 14/copers 14); chronic ankle instability vs. copers	CAI vs. copers (at 3 walking speeds)	Hip: GMED, GMAX	GMAX and GMED muscle thickness during gait (used to calculate FAR)	GMED FAR was lower in CAI throughout gait at all speeds ($p<0.001$), remaining below rest; no speed effect No GMAX group, speed, or interaction effects	CAI had lower FAAM-ADL/sport, higher IdFAI, and faster preferred walking speed
McKenna et al.[39] (2018) Australia	Cross-sectional	N=52 (symptomatic 26/asymptomatic 26); recreational swimmers with vs. without shoulder pain	Symptomatic vs. asymptomatic swimmers	Shoulder/scapula: SA, LT	SA & LT muscle thickness (rest and contraction)	SA/LT thickness did not differ by symptoms or between symptomatic swimmers' shoulders Within the asymptomatic swimmers, resting SA was 0.8 mm thicker on the dominant than the non-dominant side (95% CI, 0.3 to 1.3; $p=0.04$), considered clinically negligible	Symptomatic swimmers had higher DASH ($p<0.01$); current/maximum VAS 2.6/6.2
Buelga-Suarez et al.[8] (2022) Spain	Cross-sectional	N=38 (case 19/control 19); ≥1 year post ACL reconstruction vs. healthy	ACL-reconstructed vs. control (and operated vs. non-operated limb)	Knee/thigh: RFM	RFM thickness (rest & contraction); contraction & relaxation time	Operated-side RF was thinner in ACLR at rest and contraction; non-operated thickness and bilateral contraction/relaxation times did not differ from controls Inter-examiner ICC=0.99; SEM=0.03 (rest) and 0.01 (contraction); MDC95=0.07~0.08 and 0.02~0.03	NR
Hjaltadóttir et al.[40] (2024) Iceland	Cross-sectional	N=28 (ACLR 18/control 10); post ACL reconstruction (semitendinosus graft) vs. uninjured	ACLR (injured vs. sound limb) vs. control	Knee/thigh (posterior): ST, BF at proximal & distal sites	ST & BF CSA at proximal (30%) and distal (70%)	Injured ST CSA was smaller proximally/distally, with greater distal atrophy (interaction $p<0.001$); no BF hypertrophy Controls had no inter-limb differences Proximal-distal CSA correlations were weak (ST $r=0.283$, $p=0.035$; BF $r=0.245$, $p=0.069$) Inter-rater ICC3.1=0.997	NR
Sharma et al.[7] (2018) India	Cross-sectional	N=26 (SIS athletes 10/healthy athletes 8/controls 8); shoulder impingement syndrome	SIS athletes vs. healthy athletes vs. non-athlete controls	Shoulder: AHD at 0°/45°/60°	AHD at 0°, 45°, and 60° abduction	Dominant AHD was smaller in SIS at 0°/45°/60°; non-dominant AHD showed no group difference ICC=0.96~0.97 (95% CI, 0.90 to 0.98), SEM=0.304~0.356 mm, MDC95=0.83~0.98 mm Cutoff 10.20 mm: AUC=0.975, sensitivity=0.90, specificity=0.12[+]	Dominant ER strength was lower in SIS and correlated with AHD ($r=0.924$); no non-dominant strength difference
Kim et al.[41] (2025) South Korea	Cross-sectional	N=40 (CAI 20/control 20); adolescent athletes with vs. without chronic ankle instability	CAI vs. control	Ankle (lateral): ATFL	ATFL thickness & length (injured & uninjured side)	ATFL was thicker bilaterally in CAI than controls (injured $p=0.007$; uninjured $p=0.041$) Length did not differ significantly on either side	NR
Kang et al.[42] (2020) South Korea	Cross-sectional	N=30 (60 feet); normal 15/hallux valgus 15	Hallux valgus vs. normal feet (across 3 ankle positions during toe-spread-out)	Foot (medial): abductor hallucis	Abductor hallucis CSA at rest and during toe-spread-out (neutral/dorsiflexion/plantarflexion)	Significant group×position interaction, but no overall group effect on CSA Plantarflexion TSO produced the largest CSA in both groups (normal, rest 2.21→plantarflexion 2.48 cm^2; HV, rest 2.03→plantarflexion 2.35 cm^2); significant versus dorsiflexion/rest in normal feet and all other conditions in HV Neutral TSO exceeded rest in normal feet	No separate clinical outcome; HV angle defined groups

Table III. Continued

Study	Design	Participants	Comparison	Target	RUSI measure	RUSI outcome	Other clinical outcome
DeJong et al.[43] (2022) USA	Cross-sectional	N=15 females with chronic ankle instability (single group)	Within CAI: USI gluteal thickness cross-correlated with hip kinematics/ kinetics/sEMG during walking	Hip: GMED, GMAX	GMED & GMAX muscle thickness (USI) during walking	GMED thickness correlated weakly with sEMG (CCF=0.22; sEMG preceded thickness change by 143 ms) and moderately-strongly with hip kinetics/ kinematics (|CCF|=0.51-0.69); GMAX thickness was associated with sagittal kinetics and kinematics (|CCF|=0.70-0.87)[‡] Versus healthy reference data, GMED-sEMG and GMAX relationships were weaker, GMED-hip biomechanics relationships were stronger (transverse-plane kinematics inverse), and lag times differed	NR
Thielman et al.[44] (2019) USA	Cross-sectional	N=11; post-stroke with upper-limb spasticity	Affected vs. unaffected brachialis; correlation with upper-extremity function/spasticity	Upper arm (elbow): brachialis	Brachialis pennation angle & fascicle length (at rest)	Affected brachialis had a greater pennation angle (17.14 versus 10.36) and shorter fascicles (6.06 versus 7.1) ($p<0.05$); longer fascicles and lower angles were associated with better function ($rs=0.831$, $p<0.05$) Intra-rater reliability 0.75	Fugl-Meyer and modified Ashworth scores were inversely correlated ($r=-0.808$)
DeJong et al.[45] (2020) USA	Cross-sectional	N=40 (CAI 20/control 20); chronic ankle instability vs. control	CAI vs. control (during Y-balance test)	Hip: GMAX, GMED	Gluteus maximus and gluteus medius muscle thickness	GMAX FAR during anterior reach was higher in CAI ($p=0.02$)[§]; GMED FAR and preferential-activation ratios did not differ	Anterior YBT reach was reduced ($p=0.002$)[§]; posterior reaches and sagittal kinematics did not differ
Şahin Onat et al.[46] (2016) Turkey	Cross-sectional	N=38 transtibial amputees (vacuum system 13/silicon liner pin 25)	Amputated vs. intact side; vacuum vs. silicon liner pin prosthesis	Knee/thigh: quadriceps (VL/RF/VI/VM); distal femoral cartilage (LFC/MFC/ICA)	Quadriceps muscle thickness; distal femoral cartilage thickness	Amputated limbs had thinner cartilage and RF/VI/VM, but not VL On the amputated side only, LFC/MFC were thinner with silicon liner pin than vacuum prostheses ($p=0.049$ and 0.035); the intact side did not differ Muscle thickness did not differ by prosthesis Longer amputation duration correlated with thinner cartilage ($r=-0.396$ to -0.431); higher BMI with thicker VL/VI ($r=0.476$ and 0.454)	Clinical characteristics/Houghton scores did not differ by prosthesis
Yalçın et al.[47] (2017) Turkey	Cross-sectional	N=58; unilateral hemiplegia after stroke	Paretic vs. non-paretic side	Hand (metacarpal) & ankle (talar): cartilage	Metacarpal & talar cartilage thickness	Third/fourth metacarpal cartilage thickness differed between sides ($p=0.020/0.045$), but the direction was inconsistent between the narrative and Table II of the source article[‖] No talar difference In BMRS 1-3, the third-metacarpal difference was significant ($p=0.009$), but the fourth was not ($p=0.054$); no differences in BMRS 4-6 No association with stroke duration/FAC	Lower-limb BMRS exceeded upper-limb BMRS ($p=0.026$)

Table III. Continued

Study	Design	Participants	Comparison	Target	RUSI measure	RUSI outcome	Other clinical outcome
Bae et al.[48] (2025) South Korea	Cross-sectional	N=12 males; chronic ankle instability (single group)	Affected vs. healthy side	Ankle/lower leg: SOL, TA, gastrocnemius (GM/GL)	Muscle EI	Echo intensity was higher on the affected than the healthy side for SOL (35.93 versus 31.09) and TA (61.48 versus 51.48) (both p<0.05); GM/GL did not differ	Affected-side YBT/hop performance was poorer; gait and plantar-flexor MVIC did not differ Force variability increased at 15/30%, not 50% MVIC EMG increased in SOL/GL at 15/30/50%, GM at 15/30%, and TA at 30%¶ SOL/GM creep/relaxation decreased; SOL frequency/stiffness increased
Greenberg et al.[49] (2024) USA	Cross-sectional	N=50 (PFI 24/control 26); patellofemoral instability vs. no knee-related history	PFI vs. control	Knee (patellofemoral): patellar tendon/lateral trochlear ridge	MPT-LTR distance; inter/intra-rater reliability	MPT-LTR was smaller bilaterally in PFI (both p<0.001) Interrater ICC=0.785 (95% CI, 0.579 to 0.890), MDC95=3.10 mm, SEM=1.12; intrarater ICC=0.958 (95% CI, 0.790 to 0.992), MDC95=1.71 mm, SEM=0.62	NR
Kantiya et al.[50] (2026) Thailand	Cross-sectional	N=98 (PFPS 55/healthy 43); patellofemoral pain syndrome vs. healthy controls, aged 20~80 years	PFPS vs. healthy controls	Knee/thigh: rectus femoris	Rectus femoris echogenicity (mean grayscale) at rest and during contraction at 5% body weight; intra-/inter-rater reliability	Echogenicity ICC=0.93~0.99 In PFPS, quadriceps strength correlated inversely with resting (r=-0.284, p=0.035) and contraction echogenicity (r=-0.296, p=0.028), but not after adjustment for age and BMI (p=0.233/0.215); no significant correlations in controls Group values of echogenicity were not reported	Quadriceps strength was lower in PFPS (170.0 vs. 182.9 N, p=0.045) and correlated with KOOS (r=0.434, p=0.001) and age (r=-0.381, p=0.004)

RUSI: rehabilitative ultrasound imaging, CP: cerebral palsy, GMFCS: gross motor function classification system, TD: typically developing, ICC: intraclass correlation coefficient, KOA: knee osteoarthritis, MSUS: musculoskeletal ultrasound, NR: not reported, CSA: cross-sectional area, FHB: flexor hallucis brevis, PF-1, PF-2, PF-3: plantar fascia at the calcaneal insertion, navicular tubercle, and second metatarsal head, respectively, CAI: chronic ankle instability, GMED: gluteus medius, GMAX: gluteus maximus, FAR: functional activity ratio, FIC: femoral intercondylar cartilage, ASMMI: appendicular skeletal muscle mass index, FDR: false discovery rate, WOMAC: Western Ontario and McMaster Universities osteoarthritis index, FFMI: fat-free mass index, RCRSP: rotator cuff-related shoulder pain, AHD: acromiohumeral distance, MD: mean difference, SEM: standard error of measurement, MDC: minimal detectable change, FAAM: foot and ankle ability measure, ADL: activities of daily living, IdFAI: identification of functional ankle instability, SA: serratus anterior, LT: lower trapezius, CI: confidence interval, DASH: disabilities of the arm, shoulder and hand, VAS: visual analogue scale, ACL: anterior cruciate ligament, RFM: rectus femoris muscle, RF: rectus femoris, ACLR: anterior cruciate ligament reconstruction, ST: semitendinosus, BF: biceps femoris, SIS: shoulder impingement syndrome, AUC: area under the curve, ER: external rotation, ATFL: anterior talofibular ligament, TSO: toe-spread-out, HV: hallux valgus, USI: ultrasound imaging, sEMG: surface electromyography, CCF: cross-correlation function, YBT: Y-balance test, VL: vastus lateralis, VI: vastus intermedius, VM: vastus medialis, LFC: lateral femoral condyle, MFC: medial femoral condyle, ICA: intercondylar area, BMI: body mass index, BMRS: Brunnstrom recovery stage, FAC: functional ambulation category, SOL: soleus, TA: tibialis anterior, GM: gastrocnemius medialis, GL: gastrocnemius lateralis, EI: echo intensity, MVIC: maximum voluntary isometric contraction, EMG: electromyography, PFI: patellofemoral instability, MPT-LTR: midpoint of patellar tendon-lateral trochlear ridge distance, PFPS: patellofemoral pain syndrome, KOOS: knee injury and osteoarthritis outcome score.

*Correlation significance follows the FDR-adjusted p values in Table V of the source article (Chen et al.); the narrative and table differ for right-sided gait speed.

†The narrative reports specificity as 0.12 while the receiver operating characteristic table reports 1-specificity as 0.125; the source values are mutually inconsistent and the narrative value is charted.

‡The abstract and the results interchange sagittal kinematics and kinetics for gluteus maximus; the association is therefore stated without specifying which.

§The abstract reports p=0.02 for the gluteus maximus functional activity ratio and p=0.05 for anterior reach; the values in the source results are charted.

‖The narrative reports thinner paretic cartilage, whereas Table II of the source article (Yalçın et al.) lists greater mean values on the paretic side (third metacarpal 0.74 versus 0.70 mm; fourth 0.70 versus 0.67 mm). The direction is therefore not asserted.

¶The abstract reports a different pattern (tibialis anterior and gastrocnemius lateralis at 15%, soleus at 30%, soleus and gastrocnemius medialis at 50%); the values in the source table are charted.

Table IV. Characteristics and Findings of Non-Comparative, Methodological, and Validity Studies

Study	Design	Participants	Intervention	Target	RUSI measure	RUSI outcome	Other clinical outcome
Liu et al.[51] (2025) China	Non-comparative	N=80; first-ever stroke with hemiplegia and shoulder pain (VAS≥4)	Rehabilitation therapy; serial musculoskeletal ultrasound monitoring (pre/post)	Shoulder: biceps tendon sheath, subacromial-subdeltoid bursa, supraspinatus tendon; AGT distance	Biceps tendon sheath & SA-SD bursa effusion thickness; supraspinatus tendon; AGT distance	SST thickness 8.46→8.23 mm (p=0.023), BICT sheath effusion 2.98→1.82 mm and SA-SD bursal effusion 2.55→1.12 mm (both p<0.001), and AGT 25.54→21.48 mm (p<0.001) decreased after rehabilitation; SST tear diameter did not significantly change (p=0.796)	VAS decreased (p<0.001)
Leclerc et al.[52] (2021) Canada	Non-comparative	N=15; chronic spinal cord injury, manual wheelchair users	Progressive maximal treadmill-based wheelchair propulsion test; ultrasound at pre/immediately post/48 h post	Shoulder: biceps tendon (LHB), supraspinatus tendon; AHD	Tendon thickness & CSA; echogenicity, variance, skewness, entropy, contrast; AHD	Tendon geometry, composition, texture, and AHD showed no significant changes immediately or 48 h after testing	Pain remained 0.5/10; participants completed 10.2±2.9 stages, with 13/15 reaching stage 8
Seijas et al.[53] (2022) Spain	Non-comparative	N=42 (35/7); acute ACL rupture treated with BPTB reconstruction	BPTB ACL reconstruction; serial ultrasound pre-op to 12 months	Knee (anterior): patellar tendon (graft donor site)	Patellar tendon length, width, thickness (serial)	Harvested-tendon length increased at 1 month (46.69→48.26 mm), then fell below baseline by 12 months (43.23 mm); inter-limb difference only at 1 month Width increased, then approached baseline but exceeded the contralateral side through 12 months Thickness remained above baseline/contralateral values at 12 months The uninjured tendon also shortened and narrowed significantly by 12 months (46.71→44.25 mm; 30.20→28.98 mm)	Pain/function were not evaluated
Smitheman et al.[54] (2023) USA/Sweden	Methodological	Pooled representative data from healthy, Achilles tendinopathy, and Achilles tendon rupture cohorts	NA	Ankle/lower leg: gastrocnemius, soleus, Achilles tendon (triceps surae)	Muscle thickness & CSA; tendon thickness, CSA, length	Tendinopathy showed greater AT thickness/CSA; rupture showed tendon elongation, greater CSA, and smaller triceps surae Muscle reliability in 10 healthy participants: ICC=0.787~0.988, MDCgroup=0.093~0.605; AT reliability/validity cited from prior studies: ICC=0.744~0.986*	NR
Ahn et al.[55] (2016) South Korea	Validity	N=30; plantar fasciitis	NA	Foot (heel): plantar fascia	Plantar fascia thickness (medial, central, lateral; neutral & 15° plantarflexion)	Medial, central, and lateral fascia thickness did not significantly differ between supine/prone positions at neutral or 15° plantarflexion	Position preference: 47% supine, 43% prone, 10% none

RUSI: rehabilitative ultrasound imaging, VAS: visual analogue scale, AGT: acromion-greater tuberosity distance, SA-SD: subacromial-subdeltoid, SST: supraspinatus tendon, BICT: biceps tendon, LHB: long head of biceps, AHD: acromiohumeral distance, CSA: cross-sectional area, ACL: anterior cruciate ligament, BPTB: bone-patellar tendon-bone, NA: not applicable, AT: Achilles tendon, ICC: intraclass correlation coefficient, MDC: minimal detectable change, NR: not reported.

*Muscle reliability: medial gastrocnemius CSA ICC=0.988, lateral gastrocnemius CSA ICC=0.838, soleus thickness ICC=0.787. Achilles tendon reliability/validity values are cited from prior studies (source representative results).

연구가 1편[16], 초음파 유도하 혈소판 풍부 혈장(platelet-rich plasma) 주사를 시행한 연구가 1편[22]이었다. 나머지 2편[15,21]은 초음파를 결과 지표가 아닌 실시간 시각 피드백으로 활용하여 정량적 측정값을 별도로 보고하지 않았다. 초음파 지표를 결과 변수로 보고한 8편의 측정 대상은 근육이 4편, 건・인대・근막이 3편, 관절 주변 골성 거리가 1편이었으며, 이 중 중재군과 대조군 사이에 유의한 차이가 확인된 연구는 5편[17-20,22], 두 군 모두에서 지표가 변화하였으나 군 간 차이는 확인되지 않은 연구는 2편[9,16], 군 간 통계 검정을 보고하지 않은 연구는 1편[23]이었다.

증례 보고・증례군 8편(Table II)은 단일 환자 또는 3명 이하를 대상으로 치료 경과에 따른 조직의 변화를 기술하였으며, 부위별로는 어깨 4편, 발・발목 3편, 무릎 1편이었다. 중재는 침・바늘을 이용한 연구가 4편[28-31], 운동・물리치료가 2편[25,27], 운동 재교육과 시각 피드백을 함께 시행한 연구가 1편[24], 수술 후 재활이 1편[26]이었다. 이 중 4편[26,29-31]은 두께 등 형태학적 지표와 함께 반향 또는 도플러 소견과 같은 조직 상태 지표를 보고하였다.

단면 평가 연구 21편(Table III)은 대부분 환자군과 대조군, 또는 환측과 건측의 구조 차이를 한 시점에서 비교하였다. 대상은 만성 발목 불안정성이 6편으로 가장 많았고 중추신경계 질환 4편, 어깨 통증 질환 3편, 무릎 골관절염과 전방십자인대 재건술 후 상태가 각 2편이었으며, 그 외 질환이 4편이었다. 측정 대상은 근육의 두께와 단면적이 다수를 차지하였다.

단일군 및 방법론・타당도 연구 5편(Table IV)은 비교군 없이 종단적 변화를 추적한 연구 3편[51-53]과 측정 자세 및 절차의 신뢰도・타당도를 검증한 연구 2편[54,55]으로 구성되었다.

3. 질환 부위와 측정 부위

측정 부위별로는 어깨・견갑부 13편, 발・발목・하퇴부 12편, 무릎・대퇴부 12편, 고관절 5편, 팔꿈치・

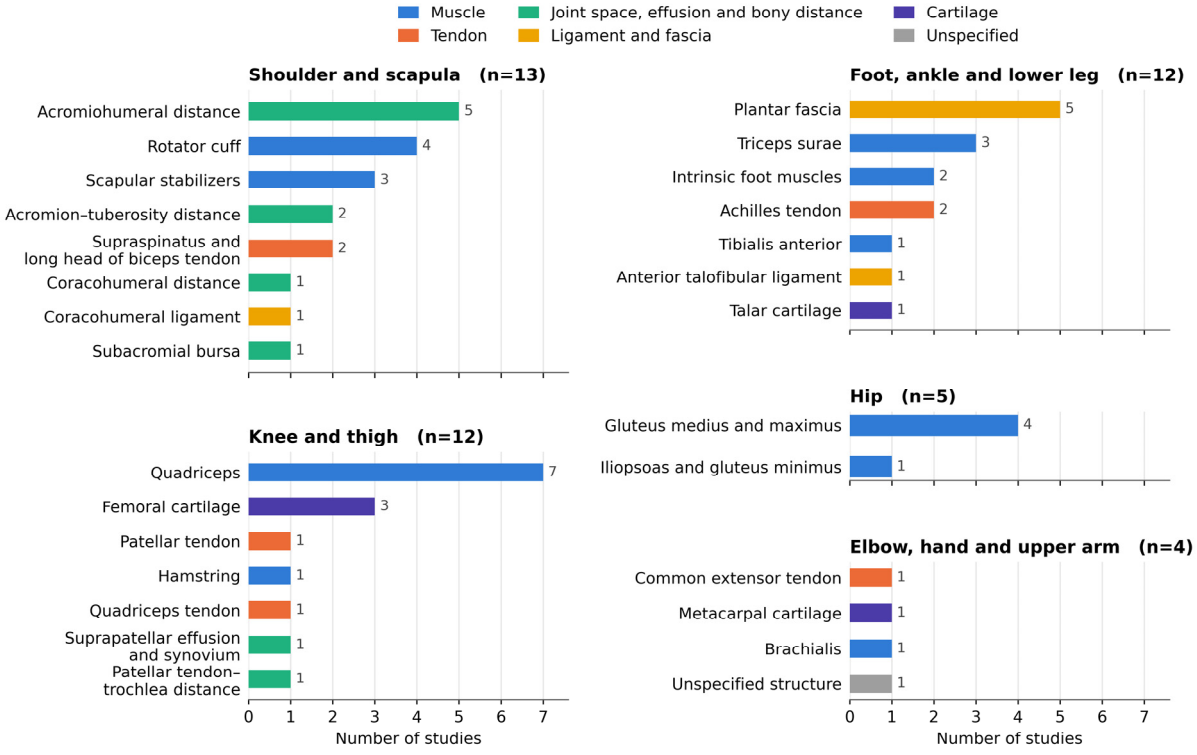

Fig. 2. Anatomical structures assessed with rehabilitative ultrasound imaging, by body region and tissue type. Bars indicate the number of studies measuring each structure; because a study could measure multiple structures, within-region totals may exceed the number of studies (n).

손 · 상완부 4편이었으며, 2편[19,47]은 둘 이상의 부위를 포함하였다(Fig. 2). 증상이 있는 부위를 직접 측정한 연구는 30편, 중추신경계 질환에서 사지 근골격계 구조 전반을 평가한 연구는 8편이었다(Fig. 3). 증상 부위와 다른 부위를 측정한 연구는 6편으로, 만성 발목 불안정성에서 둔부 근육을 평가한 4편[35,38,43,45], 하퇴 절단에서 대퇴를 평가한 1편[46], 척수 손상에서 어깨를 평가한 1편[52]이 이에 해당하였다. 다만 만성 발목 불안정성에서 둔부 근육을 평가한 4편은 모두 동일 연구팀의 연구로, 이 중 2편[35,45]은 기관생명윤리위원회 승인번호와 대상자 특성이 동일하여 같은 참가자 집단을 보행과 Y-balance test에서 각각 분석한 것으로 확인되었다. 1편[38]은 원저에 선행 연구와 다른 코호트임이 명시되어 있었고, 나머지 1편[43]은 별도 대규모 연구의 일부로 수집된 자료로 보고되어 중복 여부를 확정할 수 없었다. 따라서 독립된 코호트는 3개 이하로 판단된다. 대상 질환에는 만성 발목 불안정성, 전방십자인대 재건술 후 상태, 무릎 골관절염, 족저근막염, 유착성 관절낭염, 어깨충돌증후군, 슬개대퇴통증증후군 등이 포함되었다.

4. 측정 대상 구조물과 파라미터

부위별로 가장 빈번하게 측정된 구조물은 어깨 · 견갑부의 견봉상완거리(5편)와 회전근개(4편), 무릎 · 대퇴부의 대퇴사두근(7편)과 대퇴 연골(3편), 발 · 발목 · 하퇴부의 족저근막(5편)과 하퇴삼두근(3편), 고관절의 둔부 근육(중둔근 · 대둔근, 4편)이었다. 반면 팔꿈치 · 손 · 상완부에서는 공통신전건(1편), 상완근(1편)과 중수골 연골(1편)이 각각 측정되었다(Fig. 2). 측정 파라미터는 근육의 안정 시 · 수축 시 두께 및 단면적, 건 · 인대 · 근막의 두께, 연골의 부위별 두께, 관절 주변 골성 거리 등 형태학적 지표가 중심이었다. 이 외에 조직 상태를 반영하는 지표로 반향 세기[48,50], 근육 지방 침윤의

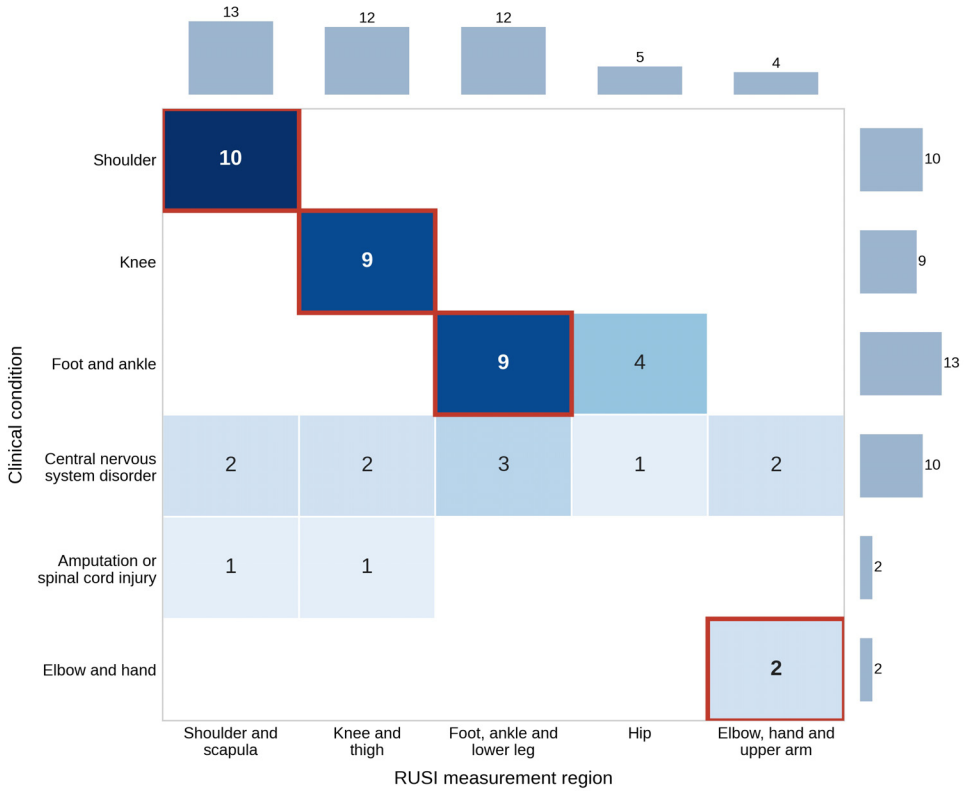

Fig. 3. Concordance between clinical condition and RUSI measurement region. Cell values are study-region pairs (n=46 from 44 studies). Red outline indicates concordant cells, in which the clinical condition and measurement region coincide; marginal bars show column and row totals. RUSI: rehabilitative ultrasound imaging.

반정량 등급[22], 텍스처 지표[52], 도플러 혈류 소견[23,29]이 사용되었고, 동적 기능 지표로는 움직임에 따른 근육 두께 변화를 나타내는 기능적 활성비(functional activity ratio, FAR)가 사용되었다. 측정 조건은 연구 간 차이가 있어 자세[55], 측정 위치[40], 수축 조건[28], 관절 각도[7,37] 등이 통일되어 있지 않았다.

5. 중재 맥락과 측정 구조물

중재 유형에 따라 측정 대상 구조물도 차이를 보였다. 운동・물리치료 중재에서는 주로 근육을, 침・바늘 중재에서는 주로 건・근막・연골 등 비근육 연부 조직을, 주사 치료에서는 근육을, 수술 후 재활에서는 수술 부위의 건을 측정하였으며, 초음파 바이오피드백을 활용한 연구에서는 근육을 대상으로 하였다(Fig. 4). 침・바늘 중재 중 한의 중재는 3편으로, 초음파 유도하 침・봉약침・전침을 시행한 연구[29], 초음파 유도하 봉약침과 침구 치료를 병행한 연구[30], 초음파 유도하 침도를 시행한 연구[31]였으며 모두 아킬레스건 또는 족저근막을 평가하였다. 한편 침도 치료를 시행한 연구[33]는 무릎 골관절염의 단면 비교를 주된 설계로 하면서, 해당 질환군에서 치료 2주 전후의 연골・활막 변화를 부수적으로 관찰하였다. 질환 유형・중재・측정 구조물의 대응관계를 종합하면, 무릎 관련 질환에서는 운동・물리치료 또는 수술 후 재활과 함께 대퇴사두근과 수술 부위의 건이[17,18,26,53], 어깨충돌증후군 및 회전근개 관련 통증에서는 운동・도수 치료와 함께 회전근개와 견봉상 완거리가[15,24,25,27] 반복적으로 평가되는 양상을 보였다.

6. 측정 속성

포함 문헌에서 보고된 측정 속성은 신뢰도, 측정 오차, 타당도 및 진단 정확도, 반응성으로 구분하여 정리하였다.

검사자 신뢰도를 직접 산출한 연구는 8편[7,8,37,40,44,49,50,54]이었고, 나머지 연구는 선행 연구의 신뢰도 값을 인용하거나 신뢰도를 보고하지 않았다. 검사자 내・간 급내상관계수(intraclass correlation coefficient, ICC)는 대부분 0.88 이상으로 높게 보고되었으나[7,8,37,40,50], 검사자 간 및 검사자 내 신뢰도가 각각 0.785와 0.958로 보고된 연구[49]와 통계량의 종류를 명시하지 않은 채 검사자 내 신뢰도 0.75를 보고한 연구[44]에서는 상대적으로 낮은 값이 확인되었다.

측정의 표준 오차(standard error of measurement, SEM)와 최소 검출 변화량(minimal detectable change, MDC)을 함께 보고한 연구는 4편[7,8,37,49]이었다.

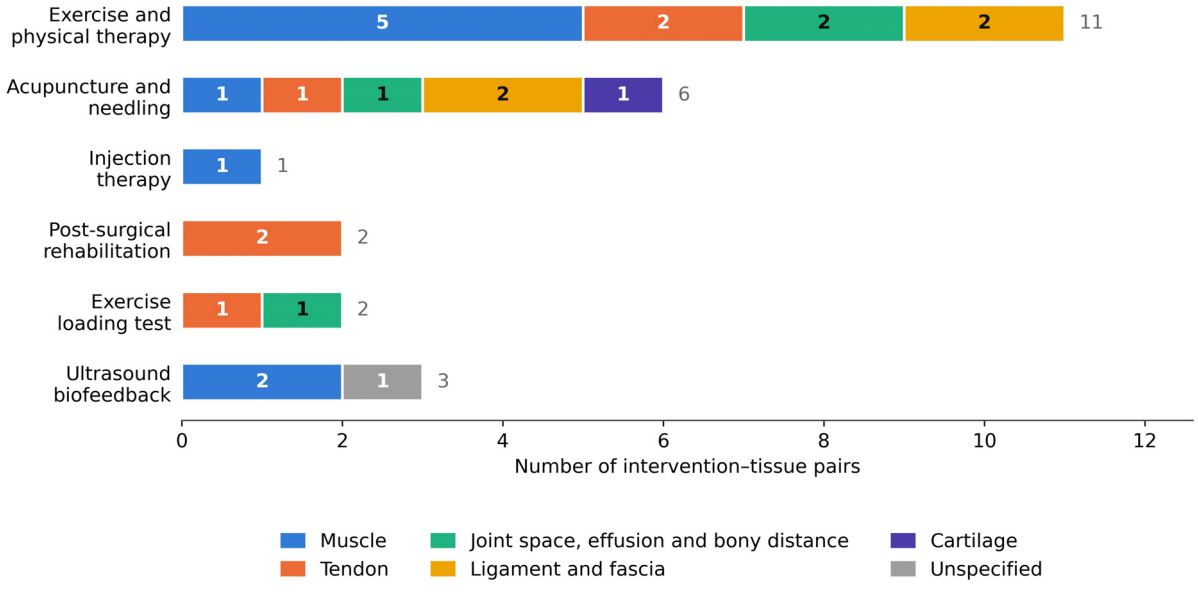

Fig. 4. Tissue type measured or visualized according to intervention type. Bars indicate the number of intervention-tissue pairs.

타당도 및 진단 정확도는 3편에서 보고되었다. 어깨 충돌증후군을 대상으로 한 연구[7]는 견봉상완거리 10.20 mm를 진단 절단값으로 제시하며 곡선하 면적 0.975, 민감도 0.90을 보고하였으나 특이도는 0.12에 그쳤고, 슬개대퇴 불안정성군에서 지표가 유의하게 작음을 타당도 근거로 제시한 연구[49]와 무릎 골관절염에서 초음파와 관절경의 병변 검출률 간 유의한 차이가 없음을 보고한 연구[33]가 있었다. 이에 비해 시간 경과에 따른 지표의 민감도를 직접 검증한 반응성 연구는 어느 부위에서도 확인되지 않았다.

7. 구조 지표와 임상 결과의 관계

구조 지표와 임상 결과의 관계는 근력 · 기능과의 상관을 보고한 연구와, 치료 전후 통증 변화와의 대응을 제시한 연구로 구분하여 정리하였다.

근력 · 기능과의 관계에서는 견봉상완거리가 외회전 근력과[7], 상완근의 근섬유 우각 및 길이가 상지 기능과[44] 유의한 상관을 보였다. 반면 대퇴 연골 두께는 대퇴사두근 두께 및 근육량과는 상관을 보였으나 악력 및 Western Ontario and McMaster Universities osteoarthritis index 점수와는 유의한 상관을 보이지 않았다[36]. 슬개대퇴통증증후군에서 대퇴직근의 반향 세기는 대퇴사두근 근력과 약한 음의 상관을 보였으나, 나이와 체질량지수를 보정한 후에는 유의하지 않았다[50].

통증과의 관계에서는 치료 전후 평가를 수행한 연구 대부분에서 구조 지표와 임상 결과가 함께 호전되었다. 그러나 두 변화량 간 상관관계를 직접 검정한 연구는 무작위 대조 시험 1편[9]에 불과하였으며, 이 연구에서는 유의한 상관이 확인되지 않았다(r=-0.006). 또 다른 무작위 대조 시험[16]에서는 초음파 지표에서는 군 간 차이가 없었던 반면 통증 감소에서만 군 간 차이가 보고되었다. 주사 치료 연구[22]에서는 통증과 기능이 호전되었음에도 극상근 지방 침윤 등급이 모든 군에서 기저치보다 증가하여, 군 간 차이는 증가 폭의 차이로 나타났다. 증례 수준에서도 통증이 크게 호전된 이후 건 두께와 석회 크기[29] 또는 근막 두께[30,31]가 변하지 않거나 일부에서만 감소한 사례가 확인되었다.

고찰

본 연구는 사지를 대상으로 한 RUSI의 적용 양상과 임상 결과와의 관계, 그리고 측정 속성의 보고 현황을 주제범위 문헌고찰을 통해 확인하고자 하였다. 주요 결과로 RUSI는 병변의 확인을 넘어 재활과 관련된 구조와 동적 기능을 평가하는 도구로 활용되고 있었으며, 초음파 지표와 임상 결과는 대체로 같은 방향으로 변화하였다. 하지만 그 관계를 직접 검증한 연구는 제한적이었으며, 신뢰도 이외의 측정 속성에 대한 근거는 충분하지 않았다. 이하에서는 각 결과의 임상적 의미와 향후 연구 방향을 중심으로 논의하였다.

일반적인 근골격계 진단 초음파와 RUSI는 동일한 영상 기술에 기반하지만 임상적 목적에서 구분된다. RUSI는 병변의 존재를 확인하는 데 그치지 않고 근육 및 연부 조직의 형태와 기능을 평가하며, 재활 과정에서의 변화를 추적하거나 운동 수행에 시각적 피드백을 제공하는 것을 목적으로 한다[1,2]. 이러한 특성은 본 연구에 포함된 문헌들의 평가 영역에서도 확인되었다. 대부분의 연구는 증상 부위를 직접 평가하였으나, 6편에서는 증상 부위와 기능적으로 연관된 다른 구조를 평가하였다. 특히 만성 발목 불안정성을 대상으로 한 연구에서는 발목이 아닌 중둔근과 대둔근의 동적 근육 두께 변화를 측정하여 근위부 신경근 기능을 평가하였다[35,38,43,45]. 또한 하퇴 절단 환자의 대퇴[46], 척수 손상 휠체어 사용자의 어깨[52]와 같이 재활 과정에서 부하가 증가하는 구조도 평가 대상에 포함되었다. 3편에서는 초음파가 실시간 시각적 바이오피드백으로 활용되었으며[15,21,24], 전거근 수축을 초음파로 확인하며 운동을 수행한 경우 도수 촉진만 시행한 경우보다 표면 근전도 활성이 증가하였다[15]. 또한 증례 수준에서는 초음파 소견이 중재의 표적과 단계를 정하는 데 활용되기도 하였다. 하부승모근이 부위에 따라 얇거나 확인되지 않음을 관찰한 뒤 해당 근육의 강화 운동을 구성한 증례[25], 건의 회복 양상에 따라 재활 단계를 조정한 증례[26], 병태생리 단계에 따라 초음파 유도하 침 치료를 구성한 증례[29], 초음파로 확인한 족저근막과 단지굴근의 계면을 시술 표적으로 설정한 증례군[31]이 이에 해당한다. 이러한 결과는 사지에서 RUSI가 병변의 형태를 확인하는 진단적 활용

을 넘어, 재활과 관련된 구조와 동적 기능을 평가하고 운동 재교육과 중재 구성을 보조하는 방향으로 확장되고 있음을 보여준다.

측정 파라미터는 근육 두께와 단면적, 건・인대・근막 및 연골의 두께, 관절 주변 거리와 같은 형태학적 지표가 주를 이루었다. 특히 대퇴사두근은 뇌성마비[17,32], 뇌졸중[19], 전방십자인대 재건술[8], 슬관절 전치환술[18], 절단[46], 슬개대퇴통증증후군[50] 등 다양한 임상 환경에서 반복적으로 평가되었다. 이는 대퇴사두근 지표가 특정 질환에 국한된 것이라기보다 근육 위축과 기능 저하를 정량화하기 위한 공통 지표로 활용되고 있음을 시사한다. 이 외에도 반향 세기[48,50], 근육의 지방 침윤 등급[22], 건의 텍스처 지표[52], 도플러 혈류[23,29]와 같은 조직 상태 지표, 그리고 근육 두께 변화를 이용한 동적 지표[35,38,43,45]도 보고되었다.

특히 RUSI의 측정은 정적인 근육 두께에 국한되지 않는다는 점에 주목할 필요가 있다. 근육 두께의 절대값은 체격과 근육량의 개인차에 영향을 받으므로 개인 간 비교에 제한이 따른다. 반면 초음파의 실시간 영상 특성을 이용하면 이완 시와 수축 시의 두께를 연속적으로 측정하여 그 변화량을 FAR로 산출할 수 있다[35,38,45]. 이는 개인의 기준 두께에 대한 상대적 지표이므로 체격 차이의 영향을 줄이면서 근육의 수축 능력을 반영할 수 있다는 장점을 가진다. 다만 동일한 구조에서도 환자의 자세, 측정 위치, 관절 각도 및 수축 조건에 따라 측정값이 달라질 수 있었으며[7,8,28,37,40,55], 동적 지표는 수행 과제와 기준 상태의 영향을 추가로 받을 가능성이 있다. 따라서 서로 다른 조건에서 산출된 초음파 값을 직접 비교하는 데에는 신중할 필요가 있으며, 측정 조건을 명확히 기술하고 표준화하는 과정이 선행되어야 한다.

치료 전후 초음파 지표와 임상 결과를 함께 평가한 연구에서는 두 지표가 같은 방향으로 호전된 경우가 다수 확인되었다. 뇌성마비 환자에서는 대퇴사두근 두께 및 단면적의 증가와 함께 근력과 균형 지표가 개선되었으며[17], 만성 뇌졸중[19]과 슬관절 전치환술 후 재활 치료[18]에서도 근육 초음파 지표와 근력 및 기능 지표가 동반 개선되었다. 그러나 초음파 지표와 통증의 변화가 항상 일치하지는 않았다. 족저근막염에서는 족저근막 두께와 통증이 모두 감소하였으나 두 변화량 사이의 상관관계는 관찰되지 않았고[9], 편마비성 어깨 통증에서는 초음파 거리 지표의 군 간 차이가 없었던 반면 통증 감소는 중재군에서 더 크게 나타났다[16]. 극상건 파열에 대한 주사 치료에서는 통증과 기능이 호전되었음에도 극상근의 지방 침윤 등급은 모든 군에서 기저치보다 증가하였다[22]. 또한 아킬레스건병증과 족저근막염 증례에서는 통증과 기능이 호전된 이후에도 건 또는 근막의 두께 변화는 제한적이었다[29-31]. 반면 일부 연구에서는 통증 감소와 함께 삼출, 건 두께, 도플러 신호 또는 관절 주변 거리의 개선이 동반되기도 하였다[20,23,51].

이러한 불일치는 조직의 구조적 재형성과 증상 회복이 서로 다른 시간 경과를 따르기 때문일 가능성이 있다. 따라서 형태학적 변화와 통증 사이에 관련성이 없다고 단정하기보다는, 두 지표가 함께 호전되는 경우가 있으나 변화의 크기와 시점이 항상 일치하지는 않으며 이를 직접 검증한 연구가 부족하다고 해석하는 것이 타당하다. 이는 RUSI를 통증이나 기능 척도의 대체 지표로 사용하기보다, 기존 임상 평가로는 확인하기 어려운 조직의 형태와 상태에 대한 정보를 추가로 제공하는 보완적 평가 도구로 활용해야 함을 시사한다.

근력 및 기능 평가와 초음파 지표 사이의 관련성도 일부 확인되었으나 해석에는 주의가 요구된다. 견봉상완거리는 외회전 근력과 관련되었고[7], 뇌졸중 환자의 상완근 근섬유 길이와 우각은 상지 기능과 관련되었으며[44], 대퇴 연골 두께는 대퇴사두근 두께 및 근육량과 상관을 보였다[36]. 반면 슬개대퇴통증증후군에서 대퇴직근의 반향 세기와 대퇴사두근 근력 사이의 음의 상관은 나이와 체질량지수를 보정한 후 유의하지 않았다[50]. 그러나 이들 관계는 대부분 단면 연구에서 확인된 것으로, 교란 요인의 보정 여부에 따라 달라질 수 있으며 초음파 지표의 변화가 근력과 기능의 회복을 직접 반영하는지는 확인되지 않았다.

특히 신경계 질환에서 RUSI로 관찰되는 근육 두께와 수축 시 형태 변화는 신경근 활성과 동일한 개념이 아니다. 실제로 만성 발목 불안정성에서 중둔근의 초음파상 두께 변화와 표면 근전도 활성 사이의 관련성은 약하게 나타났으며[43], 이는 두 검사가 근육 기능의 서로 다른 측면을 반영할 가능성을 뒷받침한다. 따라서 마비나 신경근 조절 이상이 주된 문제인 환자에서는 RUSI를 근육의 형태와 기계적 수축 변화를 평가하는 도구로 활용하고, 필요에 따라 근전도 및 임상적 기능 평가를

병행하여 해석하는 것이 바람직하다.

RUSI를 평가 도구로 반복 활용하기 위해서는 이러한 임상적 적용과 더불어 측정 속성의 검증이 요구된다. 본 연구에서 검사자 내 또는 검사자 간 신뢰도를 직접 산출한 연구는 8편이었으며[7,8,37,40,44,49,50,54], 다수에서 비교적 높은 ICC가 보고되었다. 그러나 지표에 따라 검사자 간 신뢰도가 낮게 나타나거나[49] 상대적으로 낮은 검사자 내 신뢰도가 보고된 경우도 있었다[44]. 또한 높은 신뢰도만으로 치료 전후 수치의 변화를 실제 변화로 판단하기는 어렵다. 반복 측정에서 관찰된 차이가 측정 오차를 초과하는지를 확인하기 위해서는 SEM과 MDC가 필요하지만, 이를 보고한 연구는 4편에 불과하였다[7,8,37,49]. 진단 절단값을 보고한 연구[7]에서 곡선하 면적과 민감도가 높게 산출된 것과 달리 특이도는 0.12에 그쳐, 해당 절단값을 확진 기준으로 사용하기는 어렵고 탐색적 수준의 참고 지표로 해석할 필요가 있다. 나아가 시간에 따른 임상적 변화를 민감하게 포착하는지를 평가한 반응성 연구는 확인되지 않았다. 여러 연구에서 치료 전후 초음파 값의 변화가 보고되었다는 사실만으로 해당 지표의 반응성이 검증되었다고 볼 수는 없다. 따라서 향후 연구에서는 반복적으로 측정된 견봉상완거리, 대퇴직근, 족저근막을 중심으로 자세, 관절 각도, 측정 위치 및 수축 조건을 표준화하고, 신뢰도와 측정 오차에 이어 반응성을 단계적으로 검증할 필요가 있다.

현재까지의 근거를 종합하면 사지 RUSI의 임상적 의의는 통증과 기능 평가를 대체하는 데 있기보다 이와는 다른 차원의 근골격계 구조 및 동적 기능 정보를 반복적으로 제공하는 데 있다. 이러한 장점은 구조의 회복이 중요한 수술 후 재활에서 특히 유용할 것으로 생각된다. 그러나 포함 문헌 중 수술 부위의 조직 자체를 시간에 따라 반복 추적한 연구는 대퇴사두근건 수술 후 회복을 관찰한 증례[26]와 전방십자인대 재건술 후 슬개건 채취부를 12개월까지 추적한 연구[53] 2편에 그쳤다. 전방십자인대 재건술 후 대퇴직근[8]과 반건양근[40]의 위축이 확인되었고 대퇴사두근 근력 저하가 장기간 지속될 수 있다는 선행 연구[56]를 고려할 때, 수술 후 재활에서는 근력 · 기능 평가와 함께 구조의 회복을 종단적으로 평가하는 연구가 요구된다.

한의 재활 영역에서 RUSI의 활용은 소수의 문헌에서 확인되었다. 한의 중재를 다룬 3편은 모두 시술 유도를 위해 획득한 초음파 영상을 치료 전후 평가에 함께 사용하였다[29-31]. 그러나 이들은 모두 대조군이 없는 증례 보고였고, 평가 부위도 아킬레스건과 족저근막에 한정되어 있었다. 따라서 현 단계의 한의 임상에서는 유도하 시술 시 측정 자세와 부위를 일정하게 유지하여 시술 전후 영상을 비교 가능한 형태로 기록하는 수준의 활용이 적절하며, 이를 평가 도구로 확립하기 위해서는 평가 대상을 다른 구조로 확대하고 대조군을 둔 설계에서 검증하는 연구가 필요하다.

향후 연구에서는 RUSI의 적용 범위를 확대하는 데 그치지 않고, 임상적 질문에 부합하는 초음파 지표를 선정하여 기존의 통증 · 근력 · 기능 평가와 함께 측정하고 구조와 임상 결과의 변화량 간 관계를 직접 분석할 필요가 있다. 아울러 반복적으로 사용되는 지표부터 측정 프로토콜과 측정 오차를 확립하고 반응성을 검증한다면, RUSI는 사지 재활에서 환자의 보고 평가와 기능 평가를 보완하는 객관적 평가 도구로서 보다 명확한 역할을 할 수 있을 것이다.

본 연구는 몇 가지 제한점을 가진다. 첫째, 포함 문헌의 대상 질환, 측정 구조, 파라미터 및 측정 조건이 다양하여 개별 지표를 직접 비교하거나 통합하기 어려웠다. 둘째, 구조 지표와 통증 · 근력 · 기능의 관계는 상당수 연구에서 각각의 변화를 병렬적으로 보고한 수준이었고 변화량 간 연관성을 직접 검증한 연구는 제한적이었으므로, 본 연구에서 제시한 관계는 문헌의 전반적 경향을 정리한 것이며 인과 관계나 대리 평가 지표로서의 타당성을 의미하지 않는다. 셋째, 검색 기간을 2016년 이후로 제한하고 영어와 한국어로 출판된 논문만 포함하였으며 일부 계획된 데이터베이스를 검색하지 못하여 관련 방법론 연구가 누락되었을 가능성이 있다. 넷째, 주제범위 문헌고찰의 특성상 개별 연구의 비뚤림 위험을 평가하지 않았으므로 특정 중재의 효과나 개별 RUSI 지표의 우월성을 판단할 수 없다.

이러한 제한점에도 불구하고 본 연구는 사지 관절 전반에 걸쳐 RUSI의 측정 대상과 활용 양상, 임상 결과와의 관계 및 측정 속성의 보고 현황을 통합적으로 정리함으로써, 향후 사지 RUSI 연구에서 우선적으로 검증되어야 할 영역을 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

결론»»»

본 연구는 사지 관절 및 관련 근골격계 구조에서 RUSI를 평가 도구로 활용한 임상 연구 44편을 주제범위 문헌고찰로 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 형태학적 지표는 통증의 호전과 함께 개선되는 경우가 많았으나 변화량 간 상관관계는 확인되지 않았고, 통증 소실 이후에도 형태 이상이 잔존한 증례가 있었다. 반면 근력 및 기능과는 유의한 관련성을 보였으나, 이는 대부분 단면 연구에서 확인된 것이었다. 따라서 현 단계에서는 통증의 대리 지표보다 근력 및 기능과 관련된 구조적 상태를 기술하는 보완적 지표로 활용하는 것이 타당하다.
2. 단면 평가 연구가 21편(47.7%)으로 가장 많았고 검사자 신뢰도는 8편, 측정 오차는 4편에서 보고된 반면 반응성을 검증한 연구는 확인되지 않았다. 따라서 반복적으로 측정된 견봉상완거리, 대퇴직근, 족저근막을 우선 대상으로 측정 조건을 명시한 프로토콜을 확립하고, 이를 기반으로 반응성을 검증할 필요가 있다.
3. RUSI는 운동과 물리치료 그리고 침・바늘 중재에서 주로 활용되었고 기능적으로 연관된 구조의 평가와 운동 재교육의 시각적 피드백으로도 사용되었다. 한의 중재를 다룬 3편은 모두 초음파 유도하 시술의 유도 영상을 경과 평가에 함께 활용하였다. 그러나 수술 부위 조직을 추적한 연구는 2편에 그쳤고, 팔꿈치・손・상완부에서는 건과 근육을 평가한 연구가 각각 1편에 불과하였다. 구조 지표의 필요성이 큰 수술 후 재활을 우선으로 하여 팔꿈치・손・상완부 영역까지 적용 범위를 확대할 필요가 있다.
4. 종합하면 현재 사지 RUSI는 현 상태의 파악과 탐색적 수준의 치료 구성에 활용 가능하고 경과 추적은 측정 오차가 보고된 지표에 한하여 가능하나, 치료 효과의 판정에 활용하기에는 근거가 부족하다. 측정 오차와 반응성에 대한 근거가 축적된다면 RUSI는 사지 근골격계 치료에서 객관적 평가 지표로 활용될 수 있을 것이다.

References»»»

1. Teyhen D. Rehabilitative ultrasound imaging symposium San Antonio, TX, May 8-10, 2006. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy. 2006;36(8):A1-3.
2. Whittaker JL, Ellis R, Hodges PW, O'Sullivan C, Hides J, Fernandez-Carnero S, Arias-Buria JL, Teyhen DS, Stokes MJ. Imaging with ultrasound in physical therapy: what is the PT's scope of practice? A competency-based educational model and training recommendations. British Journal of Sports Medicine. 2019;53(23):1447-53.
3. Hides JA, Richardson CA, Jull GA. Multifidus muscle recovery is not automatic after resolution of acute, first-episode low back pain. Spine. 1996;21(23):2763-9.
4. Zamani H, Dadgoo M, Akbari M, Sarrafzadeh J, Pourahmadi M. Intra-examiner and inter-examiner reliability of rehabilitative ultrasound imaging for lumbar multifidus and anterolateral abdominal muscles in females with recurrent low back pain: an observational, cross-sectional study. Journal of Ultrasonography. 2021;21(87):e286-93.
5. Koppenhaver SL, Hebert JJ, Parent EC, Fritz JM. Rehabilitative ultrasound imaging is a valid measure of trunk muscle size and activation during most isometric sub-maximal contractions: a systematic review. Australian Journal of Physiotherapy. 2009;55(3):153-69.
6. Domokos B, Dauber L, Reimers H, Andersson G, Alfen F, Raschka C, Spang C. Ultrasound imaging of lumbar multifidus morphology and quality - a prospective study on monitoring acute adaptations to specific exercise and on reliability. JOSPT Open. 2024;2(4):354-63.
7. Sharma S, Hussain ME, Jain A, Moiz JA. Diagnostic accuracy and reliability of sonographic evaluation in overhead athletes with shoulder impingement syndrome. Journal of Clinical and Diagnostic Research. 2018;12(8):YC17-21.
8. Buelga-Suarez J, Alba-Martin P, Cuenca-Zaldívar N, García-Escudero M, Bierge-Sanclemente P, Almazán-Polo J, Fernández-Carnero S, Pecos-Martín D. Test-retest reliability of ultrasonographic measurements from the rectus femoris muscle 1-5 years after anterior cruciate ligament reconstruction in the ipsilateral and contralateral legs: an observational, case-control study. Journal of Clinical Medicine. 2022;11(7):1867.
9. Alotaibi A, Petrofsky J, Daher NS, Lohman E, Syed HM, Lee H. The effect of monophasic pulsed current with stretching exercise on the heel pain and plantar fascia thickness in plantar fasciitis: a randomized controlled trial. Healthcare. 2020;8(2):79.

10. Loomis KJ, Shin J, Roll SC. Current and future utility of ultrasound imaging in upper extremity musculoskeletal rehabilitation: a scoping review. Journal of Hand Therapy. 2024;37(3):331-47.
11. Park JS, Choi SY, Kwon NY, Song YK. Clinical research trends of rehabilitative ultrasound imaging(RUSI): scoping review focusing on Korean studies. The Journal of Chuna Manual Medicine for Spine & Nerves. 2025;20(1):29-40.
12. Shin H, Woo H, Han Y, Choi S, Jo J, Jeon S, Ha W, Lee J. Analysis of research trends in ultrasound-guided acupuncture and dry-needling: a scoping review. Journal of Clinical Medicine. 2024;13(16):4962.
13. Arksey H, O'Malley L. Scoping studies: towards a methodological framework. International Journal of Social Research Methodology. 2005;8(1):19-32.
14. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun H, Levac D, Moher D, Peters MDJ, Horsley T, Weeks L, Hempel S, Akl EA, Chang C, McGowan J, Stewart L, Hartling L, Aldcroft A, Wilson MG, Garritty C, Lewin S, Godfrey CM, Macdonald MT, Langlois EV, Soares-Weiser K, Moriarty J, Clifford T, Tunçalp Ö, Straus SE. PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation. Annals of Internal Medicine. 2018;169(7):467-73.
15. McKenna LJ, Bonnett L, Panzich K, Lim J, Hansen SK, Graves A, Jacques A, Williams SA. The addition of real-time ultrasound visual feedback to manual facilitation increases serratus anterior activation in adults with painful shoulders: a randomized crossover trial. Physical Therapy. 2021;101(3):pzaa208.
16. Sui M, Jiang N, Yan L, Liu J, Luo B, Zhang C, Yan T, Xiang Y, Li G. Effect of electroacupuncture on shoulder subluxation in poststroke patients with hemiplegic shoulder pain: a sham-controlled study using multidimensional musculoskeletal ultrasound assessment. Pain Research and Management. 2021;2021:5329881.
17. Cho HJ, Lee BH. Effect of functional progressive resistance exercise on lower extremity structure, muscle tone, dynamic balance and functional ability in children with spastic cerebral palsy. Children. 2020;7(8):85.
18. Sadiq S, Noor R, Akram R. Effect of lifestyle modification through web-based telerehabilitation monitoring combined with supervised sensorimotor training after total knee arthroplasty: randomized controlled trial. JMIR mHealth and uHealth. 2025;13:e64643.
19. Lim SY, Lee WH. Effect of two types of muscle contraction training on muscle thickness, strength, and delayed onset of muscle soreness in persons with chronic stroke. Physical Therapy Rehabilitation Science. 2018;7(4):154-63.
20. Sharma GP, Aseer AL, Geetha Hari Priya GA. To analyse the effect of coracohumeral ligament stretching in adhesive capsulitis using ultrasonography. Research Journal of Pharmacy and Technology. 2024;17(7):3225-30.
21. Roll SC, Hardison ME, Vigen C, Black DS. Mindful body scans and sonographic biofeedback as preparatory activities to address patient psychological states in hand therapy: a pilot study. Hand Therapy. 2020;25(3):98-106.
22. Xu H, Zhou J, Zhang H. Clinical application of ultrasound-guided platelet-rich plasma gel in the treatment of supraspinatus tendon tears: a single-center retrospective study. Scientific Reports. 2025;15(1):25427.
23. Rogoveanu OC, Mușetescu AE, Gofiță CE, Trăistaru MR. The effectiveness of shockwave therapy in patients with lateral epicondylitis. Current Health Sciences Journal. 2018;44(4):368-73.
24. Wagatsuma K, Kawabata M, Kobayashi H, Miwa T, Iwamoto W. Ultrasound-guided real-time visual biofeedback for internal impingement in a collegiate baseball player: a case report. Cureus. 2025;17(10):e94416.
25. Rabin A, Druckmann I, Chechik O. Shoulder pain and scapular dyskinesis associated with lower trapezius dysplasia - a case report. Physical Therapy in Sport. 2020;46:104-12.
26. Mihai EE, Teodorescu M, Iordache S, Cirstoiu C, Berteanu M. Tailored rehabilitation program and dynamic ultrasonography after surgical repair of bilateral simultaneous quadriceps tendon rupture in a patient affected by gout: a case report. Healthcare. 2025;13(15):1830.
27. Gamiel A, Elkhawaga H, Badr M, Abdullatif YM, Amr M. Multimodal physical therapy management of subcoracoid impingement: a case report with one-year follow-up and ultrasound measurement of coracohumeral distance. Cureus. 2024;16(11):e73398.
28. Cross KM, McMurray M. Dry needling increases muscle thickness in a subject with persistent muscle dysfunction: a case report. International Journal of Sports Physical Therapy. 2017;12(3):468-75.
29. Kim CH, Kim J, So Y, Cho HG, Ji S, Oh M, Lee S, Moon J, Ahn T. A pathophysiology-based four-stage ultrasound-guided acupuncture strategy for chronic Achilles tendinopathy: a case report (CARE compliant). Journal of Korean Medicine. 2025;46(4):200-16.
30. Oh SY, Yeum JY, Park SJ. A case report of ultrasound-guided bee venom pharmacopuncture on plantar fasciitis. Journal of Korean Medicine. 2023;44(1):108-16.
31. Kang K, Kim G, Lee J. Ultrasound-guided acupotomy at the plantar fascia-flexor digitorum brevis interface for plantar fasciitis: a retrospective case series. Journal of Korean Medical Society of Acupotomology. 2025;9(2):

123-30.
32. Guízar-Sánchez C, Hernández-Díaz C, Guízar-Sánchez D, Meza-Sánchez AV, Torres-Serrano A, Camacho Cruz ME, Ventura-Ríos L. Ultrasound findings in painful spastic hip. Muscle thickness in children with cerebral palsy. BMC Musculoskeletal Disorders. 2023;24(1):512.
33. Pan Y, Wang L, Zhou L. The investigation of the application value of musculoskeletal ultrasound in the diagnosis and conservative treatment of knee osteoarthritis. Disease Markers. 2022;2022:9660067.
34. Calvo-Lobo C, Useros-Olmo AI, Almazán-Polo J, Becerro-de-Bengoa-Vallejo R, Losa-Iglesias ME, Palomo-López P, Rodríguez-Sanz D, López-López D. Rehabilitative ultrasound imaging of the bilateral intrinsic plantar muscles and fascia in post-stroke survivors with hemiparesis: a case-control study. International Journal of Medical Sciences. 2018;15(9):907-14.
35. DeJong AF, Mangum LC, Hertel J. Gluteus medius activity during gait is altered in individuals with chronic ankle instability: an ultrasound imaging study. Gait & Posture. 2019;71:7-13.
36. Chen GB, Li CH, Hu YC, Tsai YJ, Chen YH, Tuan SH. Higher prevalence of sarcopenia in knee osteoarthritis and its association with femoral intercondylar cartilage thickness and functional outcomes. Life. 2026;16(1):4.
37. Navarro-Ledesma S, Luque-Suarez A. Comparison of acromiohumeral distance in symptomatic and asymptomatic patient shoulders and those of healthy controls. Clinical Biomechanics. 2018;53:101-6.
38. DeJong AF, Koldenhoven RM, Hart JM, Hertel J. Gluteus medius dysfunction in females with chronic ankle instability is consistent at different walking speeds. Clinical Biomechanics. 2020;73:140-8.
39. McKenna LJ, de Ronde M, Le M, Burke W, Graves A, Williams SA. Measurement of muscle thickness of the serratus anterior and lower trapezius using ultrasound imaging in competitive recreational adult swimmers, with and without current shoulder pain. Journal of Science and Medicine in Sport. 2018;21(2):129-33.
40. Hjaltadóttir AÞ, Hafsteinsson D, Árnason Á, Briem K. Musculoskeletal ultrasound imaging of proximal and distal hamstrings cross sectional area in individuals with history of anterior cruciate ligament reconstruction. Physiotherapy Theory and Practice. 2024;40(3):487-93.
41. Kim S, Kim N, Ko J. Quantitative ultrasound imaging analysis of anterior talofibular ligament in adolescent athletes with chronic ankle instability. The Asian Journal of Kinesiology. 2025;27(1):63-8.
42. Kang ST, Kang SY, Kim KS, Jeon IC, Choung SD. Changes in the cross-sectional area of the abductor hallucis during the toe-spread-out exercise at different ankle positions. Journal of The Korean Society of Physical Medicine. 2020;15(2):121-8.
43. DeJong AF, Koldenhoven RM, Hertel J. Hip biomechanical alterations during walking in chronic ankle instability patients: a cross-correlation analysis. Sports Biomechanics. 2022;21(4):460-71.
44. Thielman G, Yourey L. Ultrasound imaging of upper extremity spastic muscle post-stroke and the correlation with function: a pilot study. NeuroRehabilitation. 2019;45(2):213-20.
45. DeJong AF, Mangum LC, Hertel J. Ultrasound imaging of the gluteal muscles during the Y-balance test in individuals with or without chronic ankle instability. Journal of Athletic Training. 2020;55(1):49-57.
46. Şahin Onat Ş, Malas FÜ, Öztürk GT, Akkaya N, Kara M, Özçakar L. Ultrasonographic assessment of the quadriceps muscle and femoral cartilage in transtibial amputees using different prostheses. Prosthetics and Orthotics International. 2016;40(4):484-9.
47. Yalçın S, Kara M, Öztürk GT, Özçakar L. Ultrasonographic measurements of the metacarpal and talar cartilage thicknesses in hemiplegic patients after stroke. Topics in Stroke Rehabilitation. 2017;24(1):1-4.
48. Bae KH, Jo HD, Kim MK. Does ankle instability affect force steadiness and muscle quality changes? Journal of Coaching Development. 2025;27(5):123-34.
49. Greenberg EM, Barnes M, Lawrence JT, Brown N, Williams B. Reliability and validity of an ultrasound-derived measure for axial patellofemoral alignment. Orthopaedic Journal of Sports Medicine. 2024;12(10): 23259671241281362.
50. Kantiya A, Fungkiatphaiboon P, Praoprirtpirom K, Tangsriwong K, Wang HK, Wattananon P. Association between quadriceps muscle strength and ultrasound-derived echogenicity in individuals with patellofemoral pain syndrome: a cross-sectional study. Journal of Bodywork and Movement Therapies. 2026;47:682-8.
51. Liu J, Pan H, Bao Y, Huang L, Hu Y. The clinical utility of musculoskeletal ultrasonography in hemiplegic shoulder rehabilitation poststroke. Frontiers in Rehabilitation Sciences. 2025;6:1576890.
52. Leclerc M, Gauthier C, Brosseau R, Desmeules F, Gagnon DH. Changes to biceps and supraspinatus tendons in response to a progressive maximal treadmill-based propulsion aerobic fitness test in manual wheelchair users: a quantitative musculoskeletal ultrasound study. Rehabilitation Research and Practice. 2021;2021:6663575.
53. Seijas R, Ferré-Aniorte A, Rius M, Laiz P, Cugat R. Evolution of the patellar tendon size after bone-patelar

tendon-bone ACL reconstruction. Apunts Sports Medicine. 2022;57(215):100386.
54. Smitheman HP, Seymore KD, Potter MN, Smith AK, Aufwerber S, Silbernagel KG. Measurement of healthy and injured triceps surae morphology. Journal of Visualized Experiments. 2023;(200):e65798.
55. Ahn JH, Lee CW, Park C, Kim YC. Ultrasonographic examination of plantar fasciitis: a comparison of patient positions during examination. Journal of Foot and Ankle Research. 2016;9:38.
56. Brown C, Marinko L, LaValley MP, Kumar D. Quadriceps strength after anterior cruciate ligament reconstruction compared with uninjured matched controls: a systematic review and meta-analysis. Orthopaedic Journal of Sports Medicine. 2021;9(4):2325967121991534.

Appendix I. Search Strategies for Each Database

Database	Search strategy
PubMed	("Upper Extremity"[Mesh] OR "Lower Extremity"[Mesh] OR "Shoulder Joint"[Mesh] OR "Wrist Joint"[Mesh] OR "Elbow Joint"[Mesh] OR "Knee Joint"[Mesh] OR "Ankle Joint"[Mesh] OR "Hip Joint"[Mesh] OR "Hand"[Mesh] OR "Foot"[Mesh] OR shoulder*[tiab] OR wrist*[tiab] OR elbow*[tiab] OR hand[tiab] OR hands[tiab] OR finger*[tiab] OR "rotator cuff"[tiab] OR infraspinatus[tiab] OR supraspinatus[tiab] OR knee*[tiab] OR ankle*[tiab] OR hip[tiab] OR hips[tiab] OR patellofemoral[tiab] OR patellar[tiab] OR thigh[tiab] OR leg[tiab] OR calf[tiab] OR foot[tiab] OR feet[tiab] OR toe[tiab] OR toes[tiab] OR quadriceps[tiab] OR hamstring*[tiab] OR gastrocnemius[tiab] OR soleus[tiab] OR "Achilles tendon"[tiab] OR limb*[tiab] OR extremit*[tiab]) AND ("rehabilitative ultrasound imaging"[tiab] OR "rehabilitation ultrasound imaging"[tiab] OR "real-time ultrasound imaging"[tiab] OR "real time ultrasound imaging"[tiab] OR RUSI[tiab] OR RTUS[tiab] OR "ultrasound biofeedback"[tiab] OR "sonographic biofeedback"[tiab] OR "visual biofeedback"[tiab] OR "musculoskeletal ultrasound"[tiab])
Embase	('upper limb'/exp OR 'lower limb'/exp OR 'shoulder joint'/exp OR 'wrist joint'/exp OR 'elbow joint'/exp OR 'knee joint'/exp OR 'ankle joint'/exp OR 'hip joint'/exp OR 'hand'/exp OR 'foot'/exp OR shoulder*:ti,ab OR wrist*:ti,ab OR elbow*:ti,ab OR hand:ti,ab OR hands:ti,ab OR finger*:ti,ab OR 'rotator cuff':ti,ab OR infraspinatus:ti,ab OR supraspinatus:ti,ab OR knee*:ti,ab OR ankle*:ti,ab OR hip:ti,ab OR hips:ti,ab OR patellofemoral:ti,ab OR patellar:ti,ab OR thigh:ti,ab OR leg:ti,ab OR calf:ti,ab OR foot:ti,ab OR feet:ti,ab OR toe:ti,ab OR toes:ti,ab OR quadriceps:ti,ab OR hamstring*:ti,ab OR gastrocnemius:ti,ab OR soleus:ti,ab OR 'Achilles tendon':ti,ab OR limb*:ti,ab OR extremit*:ti,ab) AND ('rehabilitative ultrasound imaging':ti,ab OR 'rehabilitation ultrasound imaging':ti,ab OR 'real-time ultrasound imaging':ti,ab OR 'real time ultrasound imaging':ti,ab OR RUSI:ti,ab OR RTUS:ti,ab OR 'ultrasound biofeedback':ti,ab OR 'sonographic biofeedback':ti,ab OR 'visual biofeedback':ti,ab OR 'musculoskeletal ultrasound':ti,ab)
Cochrane Library	([mh "Upper Extremity"] OR [mh "Lower Extremity"] OR [mh "Shoulder Joint"] OR [mh "Wrist Joint"] OR [mh "Elbow Joint"] OR [mh "Knee Joint"] OR [mh "Ankle Joint"] OR [mh "Hip Joint"] OR [mh "Hand"] OR [mh "Foot"] OR shoulder*:ti,ab,kw OR wrist*:ti,ab,kw OR elbow*:ti,ab,kw OR hand:ti,ab,kw OR hands:ti,ab,kw OR finger*:ti,ab,kw OR "rotator cuff":ti,ab,kw OR infraspinatus:ti,ab,kw OR supraspinatus:ti,ab,kw OR knee*:ti,ab,kw OR ankle*:ti,ab,kw OR hip:ti,ab,kw OR hips:ti,ab,kw OR patellofemoral:ti,ab,kw OR patellar:ti,ab,kw OR thigh:ti,ab,kw OR leg:ti,ab,kw OR calf:ti,ab,kw OR foot:ti,ab,kw OR feet:ti,ab,kw OR toe:ti,ab,kw OR toes:ti,ab,kw OR quadriceps:ti,ab,kw OR hamstring*:ti,ab,kw OR gastrocnemius:ti,ab,kw OR soleus:ti,ab,kw OR "Achilles tendon":ti,ab,kw OR limb*:ti,ab,kw OR extremit*:ti,ab,kw) AND ("rehabilitative ultrasound imaging":ti,ab,kw OR "rehabilitation ultrasound imaging":ti,ab,kw OR "real-time ultrasound imaging":ti,ab,kw OR "real time ultrasound imaging":ti,ab,kw OR RUSI:ti,ab,kw OR RTUS:ti,ab,kw OR "ultrasound biofeedback":ti,ab,kw OR "sonographic biofeedback":ti,ab,kw OR "visual biofeedback":ti,ab,kw OR "musculoskeletal ultrasound":ti,ab,kw)
RISS	(재활실시간| RUSI | RTUS | rehabilitation | rehabilitative | "real time" | musculoskeletal) AND (초음파초음파 영상초음파 검사| "ultrasound imaging" | ultrasonography | "ultrason imaging" | sonography | "ultrasonic testing" | ultrasound) AND (상지팔어깨견관절팔꿈치주관절손목수관절회전근개하지다리고관절엉덩관절무릎슬관절발목족관절사지근골격계| upper extremity | upper limb | shoulder | glenohumeral | elbow | wrist | rotator cuff | lower extremity | lower limb | hip | knee | ankle | foot | extremity | musculoskeletal); applied separately to the title field and the abstract field, and the two result sets were combined
ScienceON	(재활실시간| RUSI | RTUS | rehabilitation | rehabilitative | "real time" | musculoskeletal) AND (초음파초음파 영상초음파 검사 | "ultrasound imaging" | ultrasonography | "ultrason imaging" | sonography | "ultrasonic testing" | ultrasound) AND (상지 | 팔 | 어깨 | 견관절 | 팔꿈치 | 주관절 | 손목 | 수관절 | 회전근개 | 하지 | 다리 | 고관절 | 엉덩관절 | 무릎 | 슬관절 | 발목 | 족관절 | 사지 | 근골격계 | upper extremity | upper limb | shoulder | glenohumeral | elbow | wrist | rotator cuff | lower extremity | lower limb | hip | knee | ankle | foot | extremity | musculoskeletal); applied separately to the title field and the abstract field, and the two result sets were combined
KISS	"재활 초음파" OR "Rehabilitative Ultrasound Imaging" OR "Real-Time Ultrasound" OR "Musculoskeletal Ultrasound" OR "Musculoskeletal Ultrasonography"; applied separately to the title field and the abstract field, and the two result sets were combined
OASIS	초음파(single keyword search)

Publication date was limited to January 1, 2016 through June 5, 2026 in all databases.
RUSI: rehabilitative ultrasound imaging, RTUS: real-time ultrasound, RISS: Research Information Sharing Service, KISS: Korean studies Information Service System, OASIS: Oriental Medicine Advanced Searching Integrated System.