

Diplomarbeit

**Anwendungsgebiete der Sonografie in der bildgebenden
Diagnostik muskuloskelettaler Pathologien**

eingereicht von

Jakob Marath

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Radiologie – LKH Univ.-Klinikum Graz

Abteilung für Allgemeine Radiologische Diagnostik

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dr. med. univ. Michael Fuchsjäger

und

OÄ Drⁱⁿ. Drⁱⁿ. med. univ. Jasminka Igrec

Graz, am 11.07.2023

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 11.07.2023

Jakob Marath eh.

Danksagungen

Ich möchte mich allem voran bei OÄ Drⁱⁿ Drⁱⁿ med.univ. Jasminka Igrac für die unermüdliche Betreuung und Beratung bedanken. Ich durfte durch unsere Zusammenarbeit bei den sonografischen Untersuchungen nicht nur viele Erfahrungen sammeln, sondern durch deine Expertise und deine Motivation sehr viel lernen.

Auch möchte ich mich bei Univ.-Prof. Dr.med. univ. Michael Fuchsjäger für die Möglichkeit, diese Arbeit zu schreiben, seine Expertise und seine Beratung bedanken.

Der größte Dank jedoch gilt meinen Eltern, die mir diesen Weg zum Studium erst ermöglicht haben. Ich konnte in jeder Lebenslage auf Eure bedingungslose Unterstützung, Euren Rat und Euer Verständnis hoffen.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meinem Bruder, meiner Freundin Sabrina und all meinen Freunden*innen bedanken. Ihr hattet für mich in anstrengenden Zeiten immer ein offenes Ohr und durch euch konnte ich für anstehende Prüfungen wieder Energie und Motivation tanken.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und deren Erklärung.....	1
Abbildungsverzeichnis	2
Zusammenfassung	6
Abstract.....	8
1. Einleitung	10
1.1. Zielsetzung.....	10
1.2. Historische Entwicklung der Sonografie im Allgemeinen sowie der Muskuloskelettalen Sonografie im Speziellen	10
1.3. Grundlagen der Sonografie und Begriffsdefinitionen.....	13
1.3.1. Definition Schallwelle	13
1.3.2. Periode	13
1.3.3. Frequenz	13
1.3.4. Wellenlänge	14
1.3.5. Amplitude	14
1.3.6. Leistung	15
1.3.7. Intensität	15
1.3.8. Ausbreitungsgeschwindigkeit.....	15
1.3.9. Abschwächung	16
1.3.10. Aufbau eines Ultraschallgerätes und dessen Funktionen	17
1.3.11. Vor- und Nachteile des Ultraschalls.....	19
1.3.12. Artefakte	20
1.3.13. Ultraschall-Modi.....	23
1.4. Normale Erscheinungsbilder von muskuloskelettalen Strukturen und deren häufigen Pathologien	26
1.4.1. Muskeln	27
1.4.2. Sehnen	28
1.4.3. Ligamente	29
1.4.4. Nerven	30
1.4.5. Knochen.....	31
1.4.1. Gefäße.....	32
2. Material und Methoden	33
2.1. Methodenwahl	33

2.2.	Literatursuche	33
2.3.	Datenerhebung und Datenanalyse	33
2.4.	Datenschutz.....	34
2.5.	Risiko-Nutzen-Evaluierung	34
3.	Ergebnisse – Ausgewählte Pathologien und Fallpräsentationen	35
3.1.	Pathologien des Sprunggelenks – Achillessehne.....	35
3.1.1.	Anatomie der Achillessehne.....	35
3.1.2.	Untersuchungstechnik und sonografische Darstellung.....	36
3.1.3.	Achillessehne-Tendinose.....	37
3.1.4.	Fallpräsentation: Achillessehne-Tendinose.....	37
3.1.5.	Achillessehnenruptur	39
3.1.6.	Fallpräsentation: Akute Ruptur der Achillessehne.....	39
3.1.7.	Fallpräsentation: Z.n. Achillessehnenruptur.....	41
3.2.	Pathologien des Sprunggelenks – Aponeurosis plantaris	42
3.2.1.	Anatomie der Aponeurosis plantaris	42
3.2.2.	Untersuchungstechnik und sonografische Darstellung.....	42
3.2.3.	Fallpräsentation: Ruptur der Aponeurosis plantaris	43
3.3.	Pathologien des Schultergelenks.....	45
3.3.1.	Anatomie des Schultergelenks.....	45
3.3.2.	Untersuchungstechnik und sonografische Darstellung.....	46
3.3.3.	Musculus supraspinatus	46
3.3.4.	Fallpräsentation: Ansatz-tendinopathie der M. supraspinatus-Sehne und Impingement-Syndrom.....	47
3.3.5.	Fallpräsentation: Subakromiales Impingement-Syndrom der rechten Schulter 48	
3.3.6.	Musculus biceps brachii	50
3.3.7.	Fallpräsentation: Sehnenruptur des M. biceps brachii	51
3.4.	Pathologien des Hüftgelenks	53
3.4.1.	Anatomie des Hüftgelenks	53
3.4.2.	Untersuchungstechnik und sonografische Darstellung.....	53
3.4.3.	Morel-Lavallée – Läsion	54
3.4.4.	Fallpräsentation: Morel-Lavallée – Läsion.....	54
3.4.5.	Fallpräsentation: Sportverletzung der Hüfte.....	56

3.5.	Pathologien des Kniegelenks	58
3.5.1.	Anatomie des Kniegelenks	58
3.5.2.	Untersuchungstechnik und sonografische Darstellung.....	58
3.5.3.	Fallpräsentation: Bandläsionen des Kniegelenks & Bakerzyste	58
3.6.	Pathologien des Ellenbogengelenks.....	61
3.6.1.	Anatomie des Ellenbogengelenks.....	61
3.6.2.	Untersuchungstechnik und sonografische Darstellung.....	61
3.6.3.	Fallpräsentation: Pathologie der Bursa olecrani.....	62
3.7.	Pathologien des Handgelenks	64
3.7.1.	Anatomie des Handgelenks	64
3.7.2.	Untersuchungstechnik und sonografische Darstellung.....	64
3.7.3.	Karpaltunnelsyndrom	65
3.7.4.	Fallpräsentation: Karpaltunnelsyndrom	66
3.8.	Muskuloskelettale Tumore	69
3.8.1.	Guidelines der European Society of Musculoskeletal Radiology (ESSR)....	69
3.8.2.	Fallpräsentation: Lipome (ohne Biopsie)	73
3.8.3.	Fallpräsentation: Lipom mit Biopsie	75
3.8.4.	Fallpräsentation: Liposarkom.....	76
3.8.5.	Fallpräsentation: Sarkom.....	79
3.8.6.	Fallpräsentation: Ewing Sarkom-Rezidiv.....	81
3.8.7.	Fallpräsentation: Angiosarkom.....	83
4.	Diskussion	86
4.1.	Muskuloskelettale Pathologien des Sprunggelenks	86
4.2.	Muskuloskelettale Pathologien des Schultergelenks	86
4.3.	Muskuloskelettale Pathologien des Hüftgelenks	86
4.4.	Muskuloskelettale Pathologien des Kniegelenks.....	87
4.5.	Muskuloskelettale Pathologien des Ellenbogengelenks	87
4.6.	Muskuloskelettale Pathologien des Handgelenks.....	87
4.7.	Muskuloskelettale Tumore	88
4.8.	Conclusio und Ausblick.....	88
	Literaturverzeichnis	89

Abkürzungen und deren Erklärung

KHz	Kilohertz
MHz	Megahertz
AIUM	American Institute for Ultrasound in Medicine
TGC	time gain compensation
MRT	Magnetresonanztomographie
m/s	Meter pro Sekunde
SWE	Shear wave elastography
ARFI	acoustic radiofrequency force impulse
KAGes	Steiermärkische Krankenanstaltengesellschaft m. b. H.
M.	Musculus
cm	Zentimeter
A.	Arteria
V	Vena
mm	Millimeter
Lig.	Ligamentum
SASD	Subakromiale-subdeltoidale Bursa
CSA	cross-sectional area
CSAp	cross-sectional area proximal des Karpaltunnels gemessen
CSAd	cross-sectional area im Karpaltunnel gemessen
KTS	Karpaltunnelsyndrom
FR	flattening ratio
PR	palmar retinacular bowing
N.	Nervus
vs	versus
mm ²	Quadratmillimeter
EMG	Elektromyographie
ESSR	European Society of Musculoskeletal Radiology
CT	Computertomographie
G	Gauge
St.p.	Status post

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Bildliche Darstellung der Parameter: Periode, Wellenlänge, Amplitude und Frequenz (8)</i>	<i>14</i>
<i>Abbildung 2: Eine höhere Leistung führt zu einer Überführung stärkerer Schallwellen ins Gewebe, dies führt zu einem helleren Bild (rechts) (8)</i>	<i>15</i>
<i>Abbildung 3: Spiegelartefakt des rechten oberen Quadranten. Links: m...Spiegelartefakt, l... Leberparenchym, Doppelpfeil... Lebervene erscheint an beiden Seiten des Diaphragmas (Pfeilköpfe). Rechts: f...Pleuraflüssigkeit löscht das Artefakt aus (8)</i>	<i>20</i>
<i>Abbildung 4: Reverberationsartefakt eines Fremdkörpers (8).....</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 5: Shadowing einer Gallenblasenwand (8)</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 6: Edge-artifact einer Gallenblasenwand (8)</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 7: M. gastrocnemius (G) und M. soleus (S) im Längsschnitt. Beide Bilder zeigen die hyperechogene Struktur, die den Venen eines Blattes ähnelt. Der M. soleus imponiert unter der Faszie (Pfeile) hypoechogen. Durch eine isometrische Kontraktion des M. gastrocnemius (Bild B) wird der Winkel zwischen Faszie und Muskelfasern größer (β) größer als in Ruhe (α) (10).....</i>	<i>27</i>
<i>Abbildung 8: Längsschnitt einer Sehne mit der typischen linearen, fibrillären Erscheinung (10)</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 9: Abbildung des Lig. collaterale mediale mit dem Lig. superficiale (Pfeile), Lig. meniscomemorale (mf) und Lig. meniscotibiale (mt). Alle Bänder sind am Meniskus befestigt (10)</i>	<i>29</i>
<i>Abbildung 10: Querschnitt des N. medianus (MN) unter dem Lig. carpi transversum (schwarzer Pfeilkopf) mit Honigwabenmuster (10)</i>	<i>30</i>
<i>Abbildung 11: Knochen mit hyperechogenem, linearem und scharf begrenztem Erscheinungsbild. Unter der Knochenoberfläche erscheint das Bild schwarz, da nahezu alle Schallstrahlen an der Oberfläche reflektiert werden (10).....</i>	<i>31</i>
<i>Abbildung 12: Querschnitt eines Blutgefäßes mit tubulärem, hypo- bzw. anechogenen Erscheinungsbild (10)</i>	<i>32</i>
<i>Abbildung 13: Blutversorgung der Achillessehne: Gelb eingefärbte Bereiche werden von der A. tibialis posterior, grün eingefärbte von der A. fibularis versorgt (20).....</i>	<i>36</i>
<i>Abbildung 14: Auftreibung der Achillessehne in einer Ausdehnung von ca. 1,1 cm</i>	<i>38</i>

<i>Abbildung 15: Fusiforme Auftreibung der heterogen dargestellten Achillessehne in einer Ausdehnung von ca. 5 cm</i>	38
<i>Abbildung 16: Neovaskularisationszeichen im Bereich der fusiformen Auftreibung.....</i>	38
<i>Abbildung 17: Retraktion der abgerundeten Sehnenstümpfe um max. 12 mm.....</i>	40
<i>Abbildung 18: Kontakt der Sehnenstümpfe während Plantarflexion</i>	40
<i>Abbildung 19: Deformität der Sehne im Bereich der ehemaligen Ruptur</i>	41
<i>Abbildung 20: Ausgeprägte Tendinose mit signalverändertem Areal und multiplen Verkalkungen</i>	41
<i>Abbildung 21: Defekt der Plantarfaszie dorsal rechts in einer Länge von 3 mm bei Dorsalextension</i>	43
<i>Abbildung 22: Auftreibung der posterior gelegenen Faszie ansatznahe</i>	43
<i>Abbildung 23: Keine Anzeichen auf eine Hypervaskularisation</i>	44
<i>Abbildung 24: Heterogene Struktur der Supraspinatus-Sehne im Bereich des Ansatzes mit Ansatzendinopathie.</i>	47
<i>Abbildung 25: Längsschnitt der Sehne des M. supraspinatus rechts</i>	48
<i>Abbildung 26: Querschnitt der Sehne des M. supraspinatus rechts</i>	49
<i>Abbildung 27: Dynamische Untersuchung: deutlich reduzierte akromiohumorale Distanz mit Vorwölbung der SASD.....</i>	49
<i>Abbildung 28: Vollständige Ruptur der langen Bizepssehne am myotendinösen Übergang mit Retraktion von Sehne und Muskelbauch und einem Defekt von ca. 1,8cm</i>	51
<i>Abbildung 29: Vergleich linke Bizepssehne in Kontinuität erhalten vs. rechte Bizepssehne mit Totalruptur</i>	52
<i>Abbildung 30: Hypoechogene Flüssigkeitsformation erstreckt sich kraniokaudal auf 12,1cm</i>	55
<i>Abbildung 31: Von anterior nach posterior erreicht die Läsion eine Länge von 12,1 cm..</i>	55
<i>Abbildung 32: Die Läsion zeigt eine mäßige Hypervaskularisation.....</i>	56
<i>Abbildung 33: 3,5 x 2,4 cm große, peripher verkalkte Läsion mit Zerstörung der Muskelarchitektur</i>	57
<i>Abbildung 34: In der Darstellung des Lig. collaterale laterale zeigt sich eine hyperechogene Struktur mit inhomogen erscheinender Corticalis</i>	59
<i>Abbildung 35: Bakerzyste mit einer Größe von 4,2 x 0,6 x 2,1 cm mit partiell hyperechogenem Inhalt und verdickter Wand</i>	60

<i>Abbildung 36: In der MRT-Untersuchung zeigte sich deutlich eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes im proximalen Drittel sowohl in koronarer (links), als auch in sagittaler Schnittebene (rechts)</i>	60
<i>Abbildung 37: In der Doppler-Untersuchung zeigen sich keine Hypervaskularisationszeichen</i>	62
<i>Abbildung 38: Distendierte und subseptierte Bursa olecrani mit einer Größe von ca. 1 x 3,5 x 0,9 cm.....</i>	63
<i>Abbildung 39: Vergleich sagittale Darstellung des N. medianus links vs. rechts.....</i>	67
<i>Abbildung 40: Vergleich CSA N. medianus links vs. rechts.....</i>	67
<i>Abbildung 41: Gespaltenes Lig. carpi transversum mit wenig Narbengewebe - dadurch ist eine Komprimierung des Nervs durch das Narbengewebe nicht gegeben</i>	67
<i>Abbildung 42: Läsion links mit einer Länge bzw. Breite von ca. 12 x 3 x 8mm.....</i>	73
<i>Abbildung 43: Keine Hypervaskularisationszeichen.....</i>	73
<i>Abbildung 44: Hyperechogene, gut abgrenzbare und subkutan gelegene Läsion mit einer Größe von ca. 9 x 3 x 5 mm</i>	74
<i>Abbildung 45: Keine Hypervaskularisationszeichen.....</i>	74
<i>Abbildung 46: Darstellung Schulter rechts: Lage der Läsion lediglich 3 mm unter der Hautoberfläche</i>	75
<i>Abbildung 47: Darstellung Schulter rechts: Probeentnahme mittels Ultraschall-gezielter Biopsie</i>	75
<i>Abbildung 48: Darstellung distaler Oberarm rechts: heterogene, scharf begrenzte Läsion mit 3,6 x 2,7 cm.....</i>	76
<i>Abbildung 49: Darstellung distaler Oberarm rechts: Die Läsion zeigt keine Hypervaskularisationszeichen</i>	77
<i>Abbildung 50: Darstellung distaler Oberarm rechts: Die Läsion liegt nur 4 mm unterhalb der Hautoberfläche.....</i>	77
<i>Abbildung 51: Darstellung distaler Oberarm rechts: Kraniokaudale Ausbreitung der Läsion</i>	78
<i>Abbildung 52: Darstellung distaler Oberarm rechts: Probeentnahme mittels Ultraschall-gezielter Biopsie</i>	78
<i>Abbildung 53: Darstellung Inguinalregion links: Die suspekthe, hypoechogene Läsion weist eine Größe von ca. 2,4 x 1,6 cm auf und befindet sich ca. 1,8 cm unter der Hautoberfläche</i>	79

<i>Abbildung 54: Die Läsion weist keine Hypervaskularisationszeichen auf</i>	80
<i>Abbildung 55: Darstellung Inguinalregion links: Probeentnahme mittels Ultraschall-gezielter Biopsie</i>	80
<i>Abbildung 56: Vaskularisation der neu aufgetretenen Läsion</i>	81
<i>Abbildung 57: Darstellung occipital links: Die hypoechogene Läsion weist eine Größe von ca. 2,6 x 0,8 x 0,6 cm auf</i>	82
<i>Abbildung 58: Darstellung lumbosakraler Übergang rechts: Die Läsion hat eine Größe von ca. 17 x 7 x 24 cm</i>	83
<i>Abbildung 59: Darstellung lumbosakraler Übergang rechts: Die Läsion weist keine Hypervaskularisationszeichen auf</i>	84
<i>Abbildung 60: Darstellung lumbosakraler Übergang rechts: Es wird die Tiefe des Stichkanals bemessen. Diese beträgt ca. 5,6 cm</i>	84
<i>Abbildung 61: Darstellung lumbosakraler Übergang rechts: Probeentnahme mittels Ultraschall-gezielter Biopsie</i>	85

Zusammenfassung

Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, die Anwendungsgebiete der Sonografie in der bildgebenden Diagnostik von muskuloskelettalen Pathologien zu beschreiben. Diese Frage ist von Bedeutung, da die Sonografie eine günstige, nicht invasive und kostengünstige Alternative zu anderen bildgebenden Untersuchungsmodalitäten darstellen kann.

Material und Methoden

Zum Beantworten der Fragestellung wurden bereits im Vorfeld Fälle von Patienten*innen mit muskuloskelettalen Pathologien, die an der klinischen Abteilung für Allgemeine Radiologische Diagnostik am LKH-Univ. Klinikum Graz untersucht wurden, gesammelt. Damit gezeigt werden kann, ob die Sonografie bei muskuloskelettalen Erkrankungen in verschiedenen Gelenken eingesetzt werden kann, wurden Pathologien des Schultergelenkes, des Ellenbogengelenkes, des Handgelenkes, des Hüftgelenkes, des Kniegelenkes und des Sprunggelenkes verwendet. Bei den jeweiligen sonografischen Untersuchungen wurden Bilder angefertigt, um damit pathologische Strukturen beschreiben zu können.

Für den Einleitungsteil, in dem Historie und Grundlagen der Sonografie sowie Grundlagen der Muskuloskelettal-Sonografie im Speziellen dargestellt werden, wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Zusätzlich wurde zur Schilderung von Anatomie und sonografischer Untersuchungstechnik der jeweiligen Pathologie eine Literaturrecherche durchgeführt.

Resultate

Mit Hilfe der Sonografie konnten in allen untersuchten Gelenken muskuloskelettale Pathologien nachgewiesen und damit diagnostiziert werden. Dazu zählen verschiedene Pathologien der Achillessehne, Läsionen der Aponeurosis plantaris, Sehnenverletzungen des Musculus supraspinatus und Musculus biceps humeri, ein subakromiales Impingement-Syndrom, eine Morel-Lavallée-Läsion, Bandverletzungen und Bakerzysten des Kniegelenks, eine Pathologie der Bursa olecrani, ein Karpaltunnelsyndrom und diverse muskuloskelettale Tumore. Limitationen liegen in der Diagnostik von Partialrupturen von

Sehnen und in der Abbildung tiefer gelegener Strukturen, wie dem Ligamentum cruciatum anterius.

Conclusio

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Sonografie zu einem wertvollen bildgebenden Verfahren im Bereich von muskuloskelettalen Pathologien entwickelt hat. Durch ihre Nicht-Invasivität, ihre Sicherheit und ihren Vorteil in der Durchführung dynamischer Untersuchungen wird sie zu einer unverzichtbaren Methode für die Diagnose und Behandlung von verschiedenen Erkrankungen des Bewegungsapparates. Die Abbildung von Weichteilen, Muskeln, Sehnen, Bändern, Nerven, Gefäßen und Gelenken hilft bei der Identifikation, Charakterisierung und Überwachung verschiedener Pathologien. Zusätzlich ermöglicht ihre Zugänglichkeit und Vielseitigkeit auch die Durchführung von Ultraschall-gezielten Biopsien und die Beurteilung von Gelenkbewegungen. Da die Technologie bildgebender Modalitäten immer weiter voranschreitet, wird die Sonographie zweifellos ein wichtiger Bestandteil in der Diagnostik muskuloskelettaler Pathologien bleiben.

Abstract

Objective

The aim of this study is to describe the areas of application of sonography for imaging diagnostics of musculoskeletal pathologies. This question is essential because ultrasonography can provide a convenient, non-invasive, and cost-effective alternative to other imaging modalities.

Material and methods

To answer the question, cases of patients with musculoskeletal pathologies examined with sonography at the clinical division for general radiological diagnostics at the LKH-Univ. Klinikum Graz were collected. To show whether sonography can be used in musculoskeletal diseases in various joints, pathologies of the shoulder, the elbow, the wrist, the hip, the knee and the ankle were chosen. During the respective sonographic examinations, images were taken to describe physiological and pathological structures. For the introduction part a literature search was performed, in which the history, the basics of sonography and the basics of musculoskeletal sonography in particular are described. In addition, a literature search was performed to describe the anatomy and sonographic examination technique of the respective pathology.

Results

With the help of sonography, musculoskeletal pathologies could be detected and thus diagnosed in all joints examined. These include various Achilles tendon pathologies, plantar aponeurosis lesions, tendon injuries of the supraspinatus and humeral biceps muscles, subacromial impingement syndrome, Morel-Lavallée-lesion, ligament injuries and Baker's cysts of the knee joint, olecranon bursa pathology, carpal tunnel syndrome and various musculoskeletal tumors. Limitations lie in diagnosing of partial ruptures of tendons and imaging of deeper structures, such as the anterior cruciate ligament.

Conclusion

In summary, sonography has become a valuable imaging tool in the field of musculoskeletal pathology. Its non-invasive nature, safety, and ability to provide real-time dynamic assessment make it an indispensable modality for the diagnosis and treatment of

various musculoskeletal conditions. By visualizing soft tissues, muscles, tendons, ligaments, nerves, vessels and joints, sonography aids in the detection, characterization and monitoring of injuries and diseases. In addition, its accessibility and versatility allow for guided interventions and accurate assessment of joint motion. As medical imaging technology continues to advance, sonography will undoubtedly remain an important part of the comprehensive evaluation and treatment of musculoskeletal conditions.

1. Einleitung

1.1. Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, die Anwendungsgebiete der Sonografie in der bildgebenden Diagnostik von muskuloskelettalen Pathologien zu beschreiben. Es wurden dafür Sonografie-Bilder aus Patienten*innen-Untersuchungen mit unterschiedlichen muskuloskelettalen Pathologien gesammelt und einzelne Fälle aus diesen Untersuchungen vorgestellt und beschrieben. Damit gezeigt werden kann, ob die Sonografie bei muskuloskelettalen Erkrankungen in verschiedenen Gelenken eingesetzt werden kann, wurden für diese Arbeit Pathologien des Schultergelenkes, des Ellenbogengelenkes, des Handgelenkes, des Hüftgelenkes, des Kniegelenkes und des Sprunggelenkes verwendet. Um die Bedeutsamkeit der Sonografie bei diesen ausgewählten Pathologien bestmöglich zu beurteilen, wurden außerdem die Anatomie sowie der richtige Untersuchungsablauf des jeweiligen Gelenkes mittels Literaturrecherche beschrieben

1.2. Historische Entwicklung der Sonografie im Allgemeinen sowie der Muskuloskelettalen Sonografie im Speziellen

Schon seit über einer Millionen Jahren nutzen Lebewesen Schallwellen mit Frequenzen über 20 KHz, die für uns Menschen nicht hörbar sind, um sich in der Natur fortzubewegen. Diese Schallwellen nennt man Ultraschall. Bereits in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts experimentierte Lazzaro Spallanzani, ein italienischer Priester und Physiologe, mit Fledermäusen, die den Ultraschall für ihre Fortbewegung in der Dunkelheit nutzen. Er vermutete jedoch noch nicht, dass Schallwellen der Grund für diese Fähigkeit der Fledermäuse waren, sondern erst im Jahre 1938, als zwei junge Harvard-Studenten die Schallwellen der Tiere detektieren konnten, wurde das Rätsel gelöst. (1)

Auch der Untergang der Titanic im Jahre 1912 spielte eine wichtige Rolle in der Geschichte der Sonografie. Um weitere Schiffsunglücke zu verhindern, patentierte Reginald Fessenden das erste Sonargerät, um Eisberge in bis zu 2 Meilen Entfernung zu detektieren. Auch die weiteren Entwicklungen, die für die Verwendung des Ultraschalls in der Medizin entscheidend waren, fanden im nautischen Bereich statt. So wurden die Ultraschall-Techniken im Laufe des 1. und 2. Weltkrieges ständig verbessert, um

feindliche Schiffe und U-Boote zu erkennen, aber auch um Fabrikationsfehler in den Schiffen zu entdecken. (2)(3)

Die Geschichte des Ultraschalls in der Medizin startete jedoch schon im Jahre 1880, als Pierre Curie mit seinem Bruder Jacques den piezoelektrischen Effekt entdeckte. Dieser Effekt basiert auf dem Prinzip, dass durch Druck, der auf Quarzkristallen ausgeübt wird, eine zum Druck direkt-proportionale elektrische Ladung entsteht. Ebenfalls wurde gleichzeitig der „Reverse Piezoelektrische Effekt“ beschrieben. Dieser tritt auf, wenn schnelle, sich ändernde, elektrische Potentiale auf die Kristalle übertragen werden, die sich in der Folge in Schwingung versetzen. (3)(4)

Im Jahre 1942 wurde zum ersten Mal diagnostischer Ultraschall in der Medizin verwendet, indem der Neurologe Karl Dussik versuchte, Hirntumore und Hirnventrikel mit dieser Methode zu lokalisieren. Durch die Publikation des A-modes und B-modes im Jahre 1955 von John Julian Wild, wurde es schließlich möglich, diagnostische Gewebe-Sonografie durchzuführen. Eine weitere wichtige Weiterentwicklung fand durch Professor Ian Donald statt. Mit Hilfe eines „flaw-detectors“ konnte er erstmals zystische von soliden Läsionen im Abdomen unterscheiden. Donald konnte die Sonografie auch im Fach der Gynäkologie sehr erfolgreich einsetzen. Er diagnostizierte im Jahre 1960 erstmals eine Placenta praevia, im Jahre 1962 gelang es ihm, biparietale Schädel Durchmesser von Feten intrauterin zu vermessen und im Jahre darauf konnte er erstmals eine Frühschwangerschaft in der 6.-7. Gestationswoche mit Hilfe von Ultraschall bestätigen. (1)

Im Jahre 1951 gründeten 24 Physiatern das American Institute for Ultrasound in Medicine (AIUM), da sie die Wichtigkeit der Sonografie im klinischen Bereich erkannten. Dennoch war in dieser Zeit der technische Stand nicht ausreichend, um zufriedenstellende Diagnostik im muskuloskelettalen Bereich zu erreichen. (5)

Der erste Bericht über muskuloskelettale Sonografie entstand schließlich im Jahre 1958, als Dussik die akustische Abschwächung artikulärer und periartikulärer Gewebe messen und beschreiben konnte. Aufgrund dieser Arbeit entstand die Grundlage des muskuloskelettalen Ultraschalls, da somit die Effekte unterschiedlicher pathologischer Prozesse in verschiedenen artikulären Geweben anhand Ultraschall-Abschwächung etabliert wurden. Im Jahre 1972 gelang es Ärzten*innen, eine Baker-Zyste von einer Thrombophlebitis zu unterscheiden. Dadurch entstand das erste Bild eines menschlichen Gelenkes, das mit einem B-mode aufgenommen wurde. (2)

Als die ersten Hochfrequenz-Transducer in den 1980ern zum Einsatz kamen, konnten erstmals derartige anatomische Details abgebildet werden, damit das muskuloskelettale System adäquat evaluiert werden konnte. (5)

Dadurch wurde es auch möglich, Schulterverletzungen, vor allem Pathologien der Rotatorenmanschette, anhand von Ultraschall zu untersuchen und zu diagnostizieren. Ebenfalls wurden die Geräte durch die ständige Weiterentwicklung handlicher und günstiger, was dazu führte, dass auch immer mehr Nicht-Radiologen*innen Ultraschall-Untersuchungen durchführen konnten. (2)

Der Ultraschall wird auch seit vielen Jahren zur bildgebenden Unterstützung bei interventionellen Eingriffen verwendet. So wurde im Jahre 1981 zum ersten Mal über eine Ultraschall-unterstützte Gelenkpunktion mit Aspiration bei einer septischen Arthritis berichtet. Der erste Bericht über die Verwendung von Doppler-Sonographie wurde im Jahre 1994 zur Diagnosestellung einer Hyperämie im Weichteilgewebe beschrieben. (1) Heutzutage hat Ultraschall in der Diagnostik von muskuloskelettalen Erkrankungen einen enorm hohen Stellenwert erlangt. Er ist auch jene Untersuchungsmethode, dessen Technik sich am schnellsten im Bereich muskuloskelettaler Bildgebungen weiterentwickelt. (6)

Aus diesem Grund hat sich die Sonografie als sehr nützliche Technik zur Diagnostik von muskuloskelettalen Erkrankungen etabliert. Durch die ständige Weiterentwicklung und seiner zahlreichen positiven Eigenschaften findet sie immer mehr klinische Anwendungsgebiete. (7)

1.3. Grundlagen der Sonografie und Begriffsdefinitionen

1.3.1. Definition Schallwelle

Schall ist definiert als mechanische Energie, die durch Druckwellen in einem bestimmten Medium ausgesendet wird. Damit diese Energie gebildet werden kann, wird eine vibrierende oder oszillierende Quelle benötigt. Durch diese Bewegungen der Schallquelle werden benachbarte Moleküle bewegt, die wiederum nacheinander in Vibration geraten. In der Sonografie ist die Schallquelle ein piezoelektrischer Kristall. Wirkt nun elektrische Spannung auf viele dieser piezoelektrischen Kristalle ein, so versetzen sich diese in Schwingung und es entstehen Schallwellen. Diese Schallwellen sind zum einen transversale, zum anderen longitudinale Wellen. Für die Sonografie sind nur longitudinale Schallwellen relevant, da nur sie effektiv Distanzen zurücklegen können. Die piezoelektrischen Kristalle haben zusätzlich die Fähigkeit, Schallwellen wieder in elektrische Energie umzuwandeln, die wiederum in Daten konvertiert wird. Diese Daten führen schlussendlich zu einem anatomischen Bild. (8)

Es gibt zahlreiche Begriffe, die hilfreich sind, eine Schallwelle zu definieren bzw. zu beschreiben: (8)

1.3.2. Periode

In der Sonografie stellt die Periode den Zeitraum dar, der von einem Höchstwert bis zum nächsten Höchstwert benötigt wird. Die Werte für die Periode werden in der diagnostischen Sonografie meist in Mikrosekunden angegeben. (8)

1.3.3. Frequenz

Die Frequenz ist definiert durch die Anzahl von Schwingungen, die pro Sekunde auftritt und wird in Hertz (Hz) angegeben. Die Frequenz wird nicht durch das Gewebe, durch das die Schallwelle wandert, ermittelt, sondern nur durch die Schallquelle allein. Ultraschall ist durch eine Frequenz von mindestens 20 KHz charakterisiert. Typische Frequenzen, die in der Sonografie zum Einsatz kommen, liegen zwischen 2 MHz und 10 MHz. (9) In der muskuloskelettalen Sonografie kommen sogar Frequenzen mit bis zu 17 MHz vor. (5)

Schallköpfe werden nach der Anzahl der Schallwellen-Frequenzen, die gebildet werden können, in MHz eingeteilt. (10)

1.3.4. Wellenlänge

Unter den Begriff Wellenlänge versteht man die Distanz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wellen, wobei jeweils am gleichen Punkt der jeweiligen Welle gemessen wurde. (8) (10)

Multipliziert man die Wellenlänge mit der Frequenz, so lässt sich die Geschwindigkeit der Wellen im jeweiligen Gewebe berechnen. Die typischen Wellenlängen im diagnostischen Ultraschall liegen dabei im Millimeter-Bereich. Es ist wichtig, zu beachten, dass die Wellenlänge eine Distanz beschreibt, die oben beschriebene Periode jedoch einen Zeitraum. (8)

Die Wellenlänge stellt einen sehr wichtigen Parameter dar, da sie großen Einfluss auf die Bildauflösung hat. (10)

1.3.5. Amplitude

Die Amplitude beschreibt den Unterschied zwischen dem Durchschnittswert und dem höchsten Wert der Welle. (8)

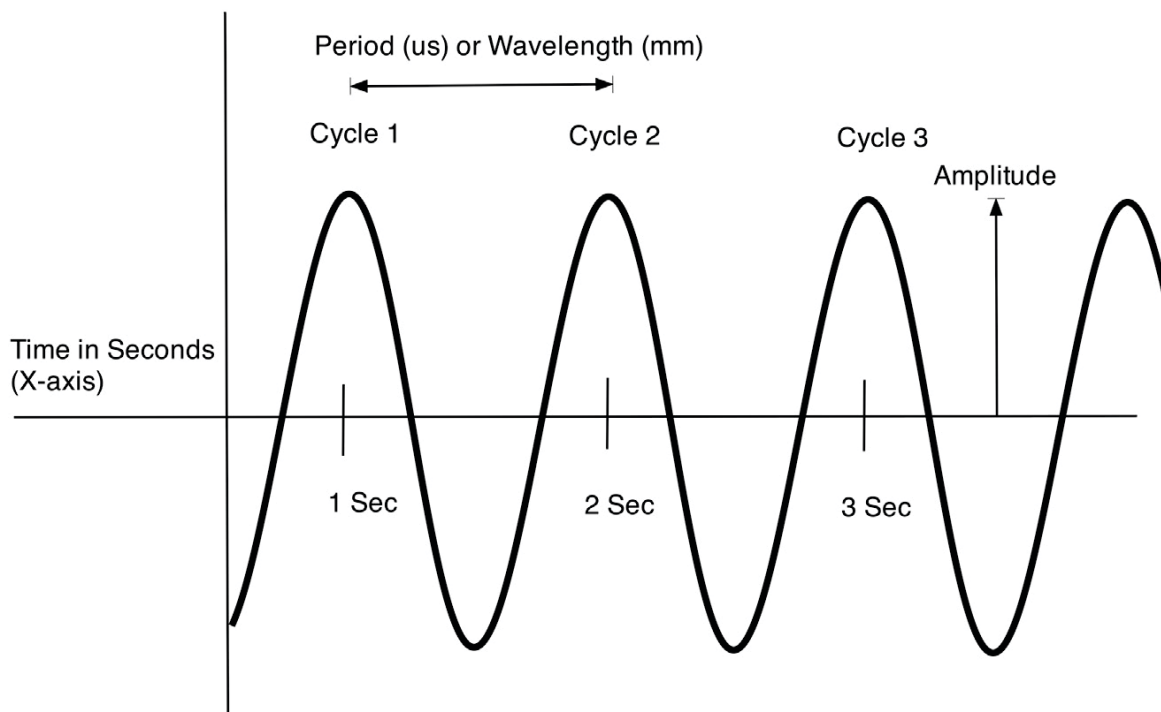


Abbildung 1: Bildliche Darstellung der Parameter: Periode, Wellenlänge, Amplitude und Frequenz (8)

1.3.6. Leistung

Die Leistung einer Welle wird in Watt angegeben und ist diejenige Energie, die in einer bestimmten Zeiteinheit gebildet wird. Wenn man nun die Spannung, die den piezoelektrischen Kristallen zugeführt wird, erhöht, werden die Vibrationen der Kristalle stärker. Dadurch werden stärkere Schallwellen ins Gewebe überführt, was zu einem helleren Bild führt. (8)

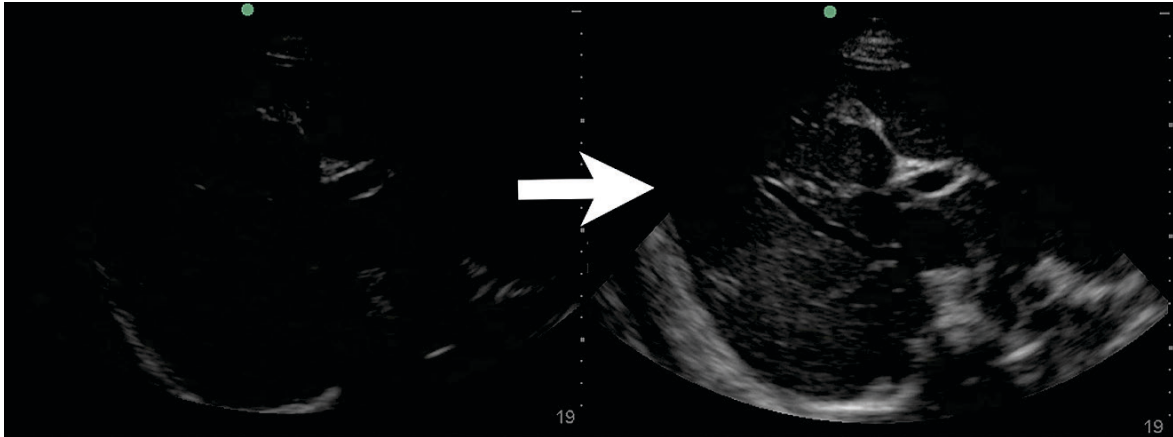


Abbildung 2: Eine höhere Leistung führt zu einer Überführung stärkerer Schallwellen ins Gewebe, dies führt zu einem helleren Bild (rechts) (8)

1.3.7. Intensität

Die Intensität lässt sich durch die Division der Leistung durch den Durchflussbereich der Schallwelle berechnen und beschreibt so die Energie-Konzentration in der Querschnittsfläche des Schallstrahls. (8)

1.3.8. Ausbreitungsgeschwindigkeit

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit beschreibt die Wegstrecke, die eine Schallwelle in einem bestimmten Medium in einer Sekunde zurücklegen kann. Die beiden Parameter „Dichte“ und „Steifigkeit“ haben einen großen Einfluss auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit. Je höher die Dichte eines Mediums, desto langsamer breitet sich die Schallwelle darin aus. Mit zunehmender Steifigkeit steigt jedoch ebenfalls die Ausbreitungsgeschwindigkeit. Demnach verhält sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit zur Steifigkeit direkt proportional und zur Dichte indirekt proportional. Durch den Vergleich von Lungengewebe mit Knochengewebe lässt sich dies gut veranschaulichen.

Knochengewebe weist eine hohe Steifigkeit und eine geringe Dichte auf, daher ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Knochen sehr hoch. Lungengewebe hat eine höhere Dichte und ist deutlich leichter zu komprimieren, dadurch breitet sich die Schallwelle in Lungenwebe deutlich langsamer aus. (8)

1.3.9. Abschwächung

Schallwellen werden bei ihrem Durchtritt durch Gewebe abgeschwächt. Dabei ist auch die Frequenz der Schallwelle entscheidend. Schallwellen mit hohen Frequenzen werden stärker abgeschwächt als jene mit niedrigen Frequenzen. (8)

Daher müssen Untersucher*innen einen Schallkopf mit niedrigen Frequenzen verwenden, um tiefe Strukturen im Körper sonografisch darstellen und untersuchen zu können. Da aber mit hochfrequentierten Schallwellen eine bessere Auflösung des Bildes erreicht wird, muss immer ein Kompromiss bezüglich Auflösung und Untersuchungstiefe gefunden werden. (9)

Abschwächung wird von den 3 Parametern Reflektion, Streuung und Absorption wesentlich beeinflusst. Reflektion bedeutet, dass beim Übergang von Schallwellen von einem in ein anderes Medium, nicht alle Schallwellen ungehindert in das neue Medium übertreten (Transmission), sondern auch Schallwellen wieder zurück zum Schallkopf gesendet werden. Dies hängt wieder von der Oberfläche des Reflektors ab. Reflektoren mit glatter Oberfläche führen dazu, dass die Schallwellen organisiert und in einer großen Menge zum Schallkopf zurückgelangen. Hingegen kommt es bei Reflektoren mit rauer Oberfläche auch zu einer Streuung der reflektierten Schallwellen, weswegen nur ein kleinerer Teil zum Schallkopf bzw. zur Schallquelle zurückgelangt. (8)

Streuung entsteht, wenn das angrenzende Medium schmaler ist als die Wellenlängen, die es erreichen. Dadurch werden die Schallwellen in viele verschiedene neue Richtungen abgelenkt. Die Streuung hängt wieder von der Frequenz der Welle ab. Umso hochfrequentierter die Schallwelle, desto stärker die Streuung. Durch Streuung ist es möglich, sich durch ihre Echogenität unterscheidende Strukturen, in einem Organ zu erkennen. Schallwellen werden beispielsweise in einem Leberhämangiom stärker gestreut als im übrigen Leberparenchym, dadurch erscheint es hyperechogen. Zysten sind als hypoechogene Strukturen erkennbar, da sie die Schallwellen schwächer streuen als das Lebergewebe. (8)

Absorption entsteht, wenn die akustische Energie der Schallwelle in Hitze umgewandelt wird. Beim diagnostischen Ultraschall sind die dadurch resultierenden Temperaturanstiege der verschiedenen Gewebearten zu klein, um messbare Unterschiede zu erreichen. Dennoch hat die Absorption auch einen Einfluss auf die Abschwächung. (8)

Die Abschwächung von Schallwellen ist ebenfalls vom Medium abhängig, durch das die Schallwellen durchtreten, da die Schallenergie in den verschiedenen Gewebearten unterschiedlich stark absorbiert und gestreut wird. Flüssigkeiten schwächen Schallwellen nicht stark ab, da sie die Schallenergie nicht gut aufnehmen und zerstreuen können. Weichteilgewebe absorbiert zwar die Schallenergie, bewirkt aber nur eine geringe Streuung. Knochengewebe absorbiert und streut Schallwellen sehr stark, daher ist die Abschwächung in diesem Medium besonders hoch. Lufthaltiges Gewebe wird ebenfalls stark aufgenommen und gestreut. Daher ist beispielsweise die Lunge für sonografische Untersuchungen nicht geeignet. (11)

1.3.10. Aufbau eines Ultraschallgerätes und dessen Funktionen

Schallkopf

Der Schallkopf hat einerseits die Aufgabe, Schallwellen in den Körper der Patienten*innen auszusenden, zum anderen fungiert er auch als Empfänger, der die reflektierten Schallwellen wieder aufnimmt, um die dadurch gewonnenen Daten in ein Bild umzuwandeln. Der Schallkopf, im Englischen als Transducer bezeichnet, besteht aus verschiedenen Komponenten. Dazu gehören das Gehäuse, der Isolator, die elektrische Abschirmung, das Kabel, das aktive Element, ein dämmendes Element und das sogenannte „matching layer“. Der Bestandteil, der für die Erzeugung von Schallwellen verantwortlich ist, wird aktives Element genannt und ist aus piezoelektrischen Kristallen aufgebaut. Durch den oben beschriebenen piezoelektrischen Effekt beginnen diese Kristalle durch Spannungsapplikation zu vibrieren und es werden Schallwellen ausgesendet. Das Gehäuse hat die Aufgabe, die anderen Komponenten vor Beschädigung zu schützen. Ebenfalls hat es eine isolierende Aufgabe, damit die Spannung nur auf das aktive Element appliziert wird und nicht auf Untersucher*innen bzw. Patienten*innen. Dieses Gehäuse ist innen mit einer elektrischen Abschirmung überzogen, damit es zu keinen Interaktionen mit Störgeräuschen von außen kommen kann. Zusätzlich ist ein Isolator eingebaut, der eine

Spannungsinduktion verhindert, die durch Vibrationen im Gehäuse entstehen könnten. Das Kabel verbindet das aktive Element mit dem System und führt die elektrische Spannung zu den piezoelektrischen Kristallen. Das „matching layer“ liegt vor dem aktiven Element und hat die Aufgabe, die Übertragung der Schallenergie zwischen aktivem Element und Patienten*innen zu verstärken. Das dämpfende Element ist hinter dem aktiven Element angebracht und senkt die Vibrationen bei der Aufnahme der reflektierten Schallwellen. Außerdem hilft es, kurze Schall-Pulse zu erzeugen, da diese Pulse exaktere Bilder liefern. (8)

Um ein Bild optimaler Qualität zu erzeugen, muss für die zu untersuchende Region der richtige Schallkopf ausgewählt werden. Dazu gehört die Entscheidung, ob eine Hochfrequenz- oder Niedrig-Frequenz benötigt wird, und die richtige Form, die linear oder gekrümmt sein können.

Pulser

Damit Ultraschallwellen erzeugt werden können, müssen die piezoelektrischen Elemente durch Spannung in Vibration geraten. Diese Aufgabe übernimmt ein sogenannten „Pulser“, dieser bildet Spannungen mit 150 bis 900 V, die jeweils 1-2 Mikrosekunden andauern. (8)

Empfänger

Damit reflektierte Schallwellen wieder aufgenommen und in Daten verarbeitet werden können, wird ein Empfänger benötigt. Reflektierte Schallwellen werden durch die piezoelektrischen Kristalle in elektrische Impulse umgewandelt. Der Empfänger kann diese gewonnen Rohdaten umwandeln und umändern, um bessere Bilder zu erzeugen. Diese Änderungen können bereits während der Untersuchung durchgeführt werden, um beispielsweise tief liegende Strukturen heller erscheinen zu lassen. Dies ist mit einer sogenannten time gain compensation (TGC) möglich, da dadurch auf tiefe Strukturen gezielt ein hoher gain appliziert werden kann. (8)

Ultraschall-Gel

Ein weiterer wichtiger Bestandteil bei einer Ultraschalluntersuchung ist das Ultraschall-Gel. Würde man den Schallkopf direkt auf die Haut der Patienten*innen auflegen, würden zu viele Schallwellen bereits in dem Luftspalt, der sich zwischen Patient*in und Schallkopf befindet, reflektiert werden. Um diesen Luftspalt zu vermeiden, kommen Ultraschall-Gels und Öle zum Einsatz. (9)

1.3.11. Vor- und Nachteile des Ultraschalls

Ultraschall hat einige Vorteile gegenüber anderen bildgebenden Untersuchungsmethoden. Im Gegensatz zu einer MRT-Untersuchung, die bei Patienten*innen mit implantiertem Herzschrittmacher, bei bestimmten Metall-Implantaten und bei jenen mit Klaustrophobie nicht durchgeführt werden kann, ist eine Ultraschall-Untersuchung immer durchführbar. (12)

Weitere Vorteile des Ultraschalls sind niedrige Kosten, eine hohe und schnelle Verfügbarkeit, seine Mobilität und Transportfähigkeit und seine Nicht-Invasivität. Eine der wichtigsten Vorteile stellt aber auch die Fähigkeit, Bilder in Echtzeit evaluieren zu können, dar. Dadurch wird eine dynamische Untersuchung möglich. Diese Fähigkeit ist von besonderem Interesse, da Pathologien von Muskeln, Sehnen, Nerven und Gelenken in manchen Fällen nur in der Bewegung der jeweiligen Extremität dargestellt werden können. Ebenfalls können andere dynamische Verfahren, wie Muskelkontraktion, Kompression mit dem Schallkopf oder ein Lagewechsel der Patienten*innen, helfen, um die Pathologie zu detektieren. (7)

Zusätzlich kann anhand dynamischer Sonografie auch auf die Funktionalität von Ligamenten beurteilt werden. (12)

Im Gegensatz zu anderen bildgebenden Untersuchungsmethoden wird beim Ultraschall keine ionisierende Strahlung benötigt, wodurch an bestimmten Patienten*innenkollektiven, zum Beispiel schwangere Patientinnen, eine Untersuchung durchgeführt werden kann. (10)

Zu den Nachteilen des Ultraschalls zählt unter anderem die lange Ausbildungszeit, die benötigt wird, um muskuloskelettalen Ultraschall adäquat zu beherrschen.

Dadurch wird oft behauptet, muskuloskelettaler Ultraschall sei zu schwer, um es zu erlernen. (12)

Ein weiterer Nachteil ist das eingeschränkte Sichtfeld, das bei einer Ultraschalluntersuchung vorliegt. Dadurch ist die Sonografie zur Untersuchung von großen Arealen weniger geeignet. (13)

Die Auflösung nimmt mit der Tiefe der zu untersuchenden Struktur ab. Dadurch sind tief liegende Strukturen nur eingeschränkt beurteilbar. Da die Schallwellen des Ultraschallgerätes nicht durch Knochen dringen kann, sind intraartikuläre Strukturen ebenfalls oft nicht abbildbar. (10)

1.3.12. Artefakte

Artefakte werden in der Bildgebung im weitesten Sinne als Fehler interpretiert. In der Sonografie können jedoch durch diese „Fehler“ wichtige Informationen über die jeweiligen Strukturen gewonnen werden. Ein Artefakt bildet sich durch eine Reflektion, die nicht durch anatomische Gegebenheiten entsteht. Es gibt 6 Voraussetzungen, die für die Entstehung eines Ultraschallbildes notwendig sind:

1. Schall bewegt sich geradlinig fort
2. Schall wandert direkt zu einem Reflektor und wieder zurück
3. Schall bewegt sich in Weichteilgewebe mit einer exakten Geschwindigkeit von 1540 m/s
4. Reflektionen entstehen nur durch Strukturen, die in der Hauptachse der Schallwellen liegen
5. die Bildfläche ist sehr dünn
6. Wie stark eine Schallwelle reflektiert wird, hängt von der Art des Gewebes ab

Artefakte entstehen, wenn diese Voraussetzungen nicht erfüllt werden. (8)

Mirror-artifact – Spiegelartefakt:

Wenn ein Schallstrahl an einem starken, weichen Reflektor reflektiert wird, kann er zu einer anderen Grenzfläche eines Gewebes umgelenkt werden. Im Ultraschall zeigt sich dadurch ein Bild mit der zweiten Grenzfläche unterhalb der ersten Struktur, welche die Schallstrahlen zuvor umgelenkt hat. (9)

Anhand dieses Artefakts können Pathologien, wie zum Beispiel der Nachweis von Flüssigkeit hinter dem Diaphragma, ausgeschlossen werden. (8)



Abbildung 3: Spiegelartefakt des rechten oberen Quadranten. Links: m...Spiegelartefakt, l... Leberparenchym, Doppelpfeil... Lebervene erscheint an beiden Seiten des Diaphragmas (Pfeilköpfe). Rechts: f...Pleuraflüssigkeit löscht das Artefakt aus (8)

Reverberationsartefakte – Wiederholungsartefakte

Diese Artefakte entstehen, wenn der Schall zwischen zwei Gewebegrenzen hin und her reflektiert wird und schließlich wieder zum Schallkopf zurückgelangt. (9)

Die Reflektionen führen zu einem charakteristischen Bild mit vielen Echos im gleichen Abstand zueinander. Dabei sind nur die ersten beiden Reflektionen, die dem Schallkopf am nächsten sind, real, die übrigen Reflektionen entsprechen keinen anatomischen Strukturen.

(8)

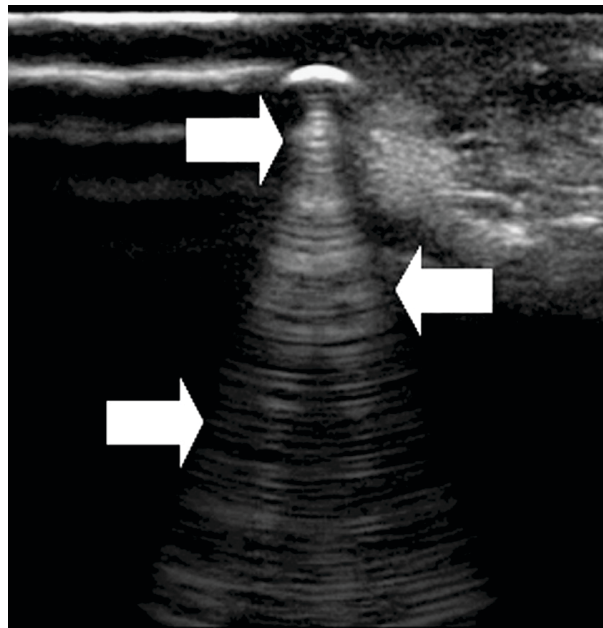


Abbildung 4: Reverberationsartefakt eines Fremdkörpers (8)

Shadowing – Schallschatten

Als Schallschatten wird eine hypoechogene Region bezeichnet, die sich unter einem Medium befindet, welches die Schallwellen zuvor stark abgeschwächt hat. Dieses sich über dem Schatten befindende Medium schwächt die Schallwellen auch stärker ab als das Medium in seiner Umgebung. Dadurch erscheint die Region unter dem stärker abschwächenden Medium hypoechogen und es entsteht ein Schallschatten. Diese Artefakte können das Vorhandensein von Strukturen wie Gallensteine bestätigen. (8)

Einen Untertyp des Shadowing stellt das sogenannte Edge-artifact dar. Hierbei wird der Schallstrahl am Rand eines gekrümmten Reflektors gebrochen und dadurch seine Intensität gemindert. Dadurch bildet sich dieses Artefakt im Ultraschall als hypoechogene Region ab, die sich entlang der Ränder des gekrümmten Reflektors ausbreitet. Dieses Artefakt ist beispielsweise bei einer normalen Gallenblasenwand zu sehen. (8)



Abbildung 5: Shadowing einer Gallenblasenwand (8)

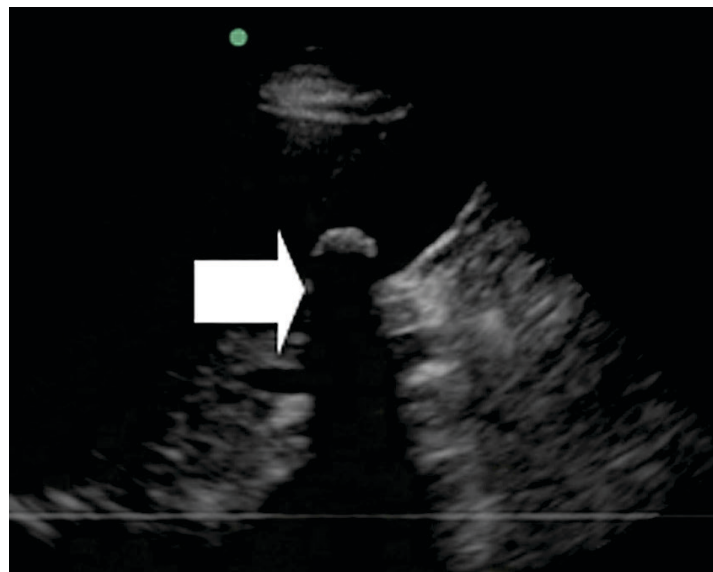


Abbildung 6: Edge-artifact einer Gallenblasenwand (8)

1.3.13. Ultraschall-Modi

B-Mode-Ultraschall

Im B-Mode-Ultraschall (Brightness-Mode) werden die Schallwellen, die wieder zum Schallkopf zurück reflektiert werden, in Helligkeit umgewandelt. Diese reflektierten Schallwellen besitzen jedoch unterschiedliche Reflektionsstärken. Stärker reflektierende Strukturen erscheinen im Ultraschall-Bild heller, schwächer reflektierende Strukturen dunkler. Wenn alle Echos der ausgesendeten Schallwellen detektiert und prozessiert wurden, erscheint so das komplette Ultraschall-Bild. Dieser Prozess wird anschließend sofort wiederholt, um neue Ultraschall-Bilder zu erzeugen. (14)

Elastographie

Die Ultraschall-Elastographie ist eine sich schnell entwickelnde und wichtige Methode, um muskuloskelettale Pathologien erkennen zu können. Hierbei wird während der Ultraschalluntersuchung die Gewebselastizität in Echtzeit beurteilt. Für muskuloskelettale Pathologien kommen vor allem die Kompressions-Elastographie und die Shear Wave Elastographie (SWE) zum Einsatz. (15)

Bei der Kompressions-Elastographie wird ein Druck auf das zu untersuchende Gewebe appliziert. Dies verursacht eine Verformung oder Verlagerung des Gewebes. Steife Gewebearten werden hierbei weniger verformt als weiches Gewebe. Um die Gewebsverlagerung berechnen zu können, wird mit dem Schallkopf des Ultraschallgerätes wiederholt Gewebe komprimiert. Dadurch können die unterschiedlichen Verteilungen der Gewebsverlagerung anhand eines farbcodierten Elastogramms, welches das B-Mode Bild überlagert, dargestellt werden. Meist stellen rote Bereiche weiches Gewebe dar, blaue Bereiche markieren steifes Gewebe und gelbe oder grüne Bereiche zeigen Gewebearten mit mittlerer Elastizität an. (15)

Bei der shear wave elastography (Scherwellen-Elastographie) wird ein bestimmter Impuls, der sogenannte „acoustic radiofrequency force impulse“ (ARFI) vom Schallkopf ausgesendet, um Scherwellen zu erzeugen. Diese Scherwellen breiten sich rechtwinkelig zum ARFI durch das umgebende Gewebe aus. Die Geschwindigkeit, mit der sich diese Scherwellen ausbreiten, kann nun gemessen werden und eine Farbtabelle kann so erstellt werden. Die Gewebselastizität kann so anschließend aus der Scherwellengeschwindigkeit

berechnet werden, wodurch wichtige biomechanische Information über die Gewebsqualität erhalten wird. (16)

Doppler Sonografie

Die Doppler-Sonografie beruht auf dem Doppler-Effekt, der im Jahre 1842 von Christian Doppler erstmals beschrieben wurde. Dieser Effekt besagt, dass die Frequenz von Schall, die von einem sich bewegenden Objekt ausgesendet wird, von der Geschwindigkeit des Objektes abhängt. (17)

Eine Schallquelle, die sich in Richtung Zuhörer*innen bewegt, hat eine höhere Tonhöhe (Frequenz) als eine Schallquelle, die sich von Zuhörer*innen entfernt. Dieser Frequenzunterschied wird Doppler-Frequenz oder auch „shift“ genannt. (8)

In der Sonografie wird diese Technik genutzt, um den Blutfluss zu untersuchen. Hier sind vor allem die Richtung, in der das Blut fließt, die Geschwindigkeit und die Verteilung der Durchblutung eines Organs, wichtige Parameter.

Es werden Doppler-Frequenzen erzeugt, indem ausgesendete Schallwellen auf sich bewegende Erythrozyten treffen. Bewegen sich Erythrozyten auf den Schallkopf zu, ist die Doppler-Frequenz höher als die vom Schallkopf ausgesendete Frequenz und man spricht von einem „positiven shift“. Bewegen sich die roten Blutzellen vom Schallkopf weg, ist die Doppler-Frequenz niedriger als die Frequenz, die vom Schallkopf emittiert wird und es entsteht ein „negativer shift“. Dieser shift ist jeweils von der Geschwindigkeit der Erythrozyten abhängig. Eine höhere Geschwindigkeit der Blutzellen führt demnach zu einem größeren shift.

Um schnelle Geschwindigkeit detektieren zu können, sollte eine niedrige Frequenz verwendet werden. (8)

Es gibt 2 Methoden, mit der die Doppler-Information gewonnen werden kann. (9)

Mit dem Farbdoppler-Ultraschall kann die allgemeine Geschwindigkeit und die Richtung des Blutflusses bestimmt werden, da nur der Mittelwert des Doppler-shifts gemessen wird. Um die Richtung des Blutflusses abbilden zu können, werden Farben verwendet, die auf dem Sonografie-Bild zu sehen sind. Rot stellt dabei meist Blut dar, das zum Schallkopf fließt, blau indiziert Blut, das vom Schallkopf wegfließt. Um die Geschwindigkeit demonstrieren zu können, werden unterschiedliche Farbtöne von blau und rot verwendet. Dies wird mithilfe des sogenannten Beschallungswinkels berechnet. Dies ist der Winkel zwischen der Richtung des Blutflusses und der Richtung des Ultraschall-Strahls.

Beträgt der Winkel 90 Grad, steht der Schallstrahl senkrecht auf den Blutfluss, wodurch kein Blutfluss aufgezeichnet werden kann. Am stärksten kann der Blutfluss demonstriert werden, wenn der Beschallungswinkel 0 Grad beträgt. Dies liegt dann vor, wenn die Richtung des Schallstrahls und die Richtung des Blutflusses parallel zueinander liegen.

Die andere Modalität ist die Power-Doppler-Sonografie. Hierbei wird die gesamte Amplitude des Doppler-shifts gemessen. Dadurch ist diese Modalität nicht vom Beschallungswinkel abhängig, sondern von der Dichte der Erythrozyten und von der Abschwächung durch das Gewebe.

Zu den Vorteilen des Power-Doppler-Ultraschalls zählen unter anderem die Fähigkeit, Blutfluss in allen Richtungen zu detektieren und die hohe Sensitivität in der Detektion von Blut, das sehr langsam fließt. Dies stellt eine wichtige Rolle in der Diagnostik von Entzündungen dar. Ebenfalls können mit Hilfe der Power-Doppler-Sonografie sehr gut benigne und auch maligne Weichteiltumore detektiert werden. (18)

1.4. Normale Erscheinungsbilder von muskuloskelettalen Strukturen und deren häufigen Pathologien

Mit muskuloskelettalem Ultraschall können Strukturen wie Muskeln, Sehnen, Bänder, Nerven, Gefäße und Knochen untersucht und beurteilt werden. Diese Strukturen unterscheiden sich im Ultraschall-Bild in ihrer Echogenität. Außerdem können die Strukturen anhand ihrer Echotextur charakterisiert werden. Diese Echotextur unterscheidet sich je nachdem, ob eine Struktur longitudinal oder transversal getroffen wird. (10)

1.4.1. Muskeln

Um Muskeln im Ultraschall ideal erkennen zu können, ist es notwendig, den histologischen Aufbau eines Skelettmuskels zu kennen. Ein Skelettmuskel besteht aus vielen einzelnen Muskelfasern. Die Muskelfasern bilden Bündel und werden dadurch zu Faszikeln. Diese Faszikel sind im Ultraschall als hypoechogene, zylindrische Strukturen erkennbar und sind von hyperechogenem Bindegewebe, dem Perimysium, umgeben. Im Längsschnitt ähneln Muskeln einer Feder oder den Venen eines Blattes, im Querschnitt werden sie oft mit einer Sternennacht verglichen. Wird der Muskel während der Untersuchung komprimiert, verkürzen sich die Muskelfasern und die Faszikel erscheinen dicker und hypoechogener als bei einem unkomprimiertem Muskel. (10)

In diesem kontrahierten Zustand kann das Ausmaß eines Muskelrisses genau evaluiert werden. Ebenfalls können Prellungen und Hämorrhagien von Muskeln mit Ultraschall erkannt werden, da die betroffenen Bereiche initial eine Hyperechogenität aufweisen. Die Hämorrhagie wird mit der Zeit resorbiert und es kann sich ein anechogenes Serom oder eine Flüssigkeitsansammlung in Richtung Zentrum bilden. (10)

Eine weitere Pathologie der Muskeln, die mit Ultraschall diagnostiziert werden kann, ist die Muskelhernie. Im Ultraschall ist hierbei eine hypoechogene knotige Struktur, die sich durch einen Defekt in einer Faszie ausbreitet, zu sehen. (10)

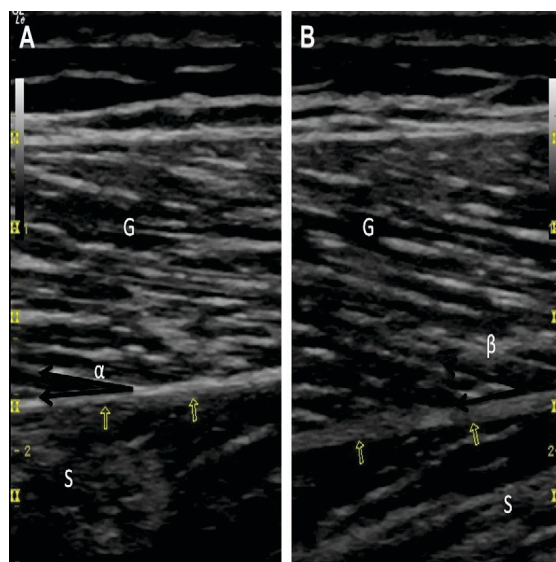


Abbildung 7: *M. gastrocnemius* (G) und *M. soleus* (S) im Längsschnitt. Beide Bilder zeigen die hyperechogene Struktur, die den Venen eines Blattes ähnelt. Der *M. soleus* imponiert unter der Faszie (Pfeile) hypoechogen. Durch eine isometrische Kontraktion des *M. gastrocnemius* (Bild B) wird der Winkel zwischen Faszie und Muskelfasern größer (β) größer als in Ruhe (α) (10)

1.4.2. Sehnen

Die Beurteilung von Sehnen und ihre Überprüfung auf Pathologien gehören zu den häufigsten Indikationen für eine Ultraschalluntersuchung des muskuloskelettalen Systems. (19)

Sehnen sind sonografisch im Längsschnitt als dichte, linear hyperechogene Bänder in einem fibrillären Muster zu erkennen. Im Querschnitt imponieren sie hyperechogen mit hypoechogenen Punkten, ähnlich dem Ende eines Besens (broom-end-echotexture). (10)

Sollte ein Blutfluss in einer Sehne mittels Power-Doppler- oder Farbdoppler-Sonografie nachgewiesen werden, ist dies als pathologisch zu betrachten. Beispiele für solche Pathologien sind Tendinosen und Entzündungen. (10)

Im Ultraschall können ebenfalls Tendinopathien und Rupturen von Sehnen detektiert werden. (10)

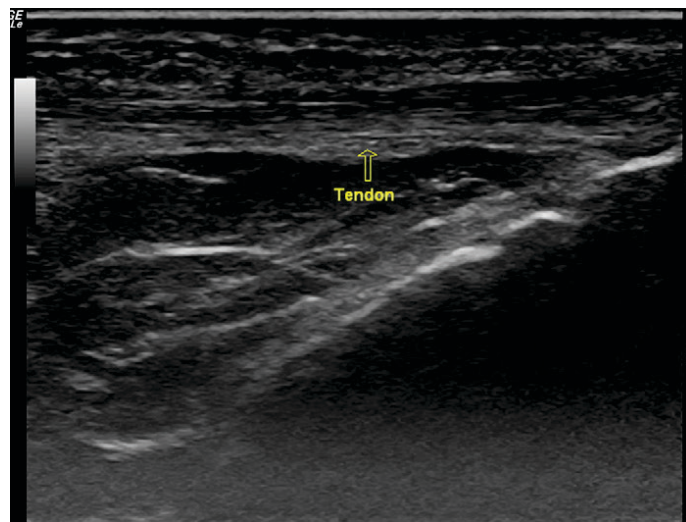


Abbildung 8: Längsschnitt einer Sehne mit der typischen linearen, fibrillären Erscheinung (10)

1.4.3. Ligamente

Ligamente sind in der Regel scharf begrenzt und somit gut in einer Ultraschall-Untersuchung zu beurteilen. Am einfachsten sind sie dennoch im gedehnten bzw. gestreckten Zustand erkennbar. Ähnlich wie Sehnen haben Ligamente im Längsschnitt ein lineares, hyperechogenes und fibrilläres Erscheinungsbild und weisen im Querschnitt die charakteristische „broom-end-echotexture“ auf. Dennoch kann man Ligamente gut von Sehnen unterscheiden, indem man sie bis zu ihrem Anhaftungspunkt eines Knochens verfolgt. Ebenfalls ist die Struktur der Ligamente weniger kompakt als die der Sehnen. (10)

Die genaue Abbildung und somit Beurteilbarkeit eines Ligamentes hängt von seiner Lage im Körper ab. Somit sind oberflächliche Bänder, wie zum Beispiel das Ligamentum talofibulare anterius deutlich besser abbildbar als ein tief gelegenes Ligament, wie das Ligamentum cruciatum anterius. (19)

Bänderverletzungen haben in der Ultraschalluntersuchung abhängig von ihrem Schweregrad ein unterschiedliches Erscheinungsbild. Bei leichten Bandverletzungen erscheint das Ligament verdickt und hypoechogen, die Echotextur bleibt aber erhalten. Einrisse und Risse von Bändern sind in der Sonografie durch Diskontinuität von Fasern erkennbar. Ein Einriss kann von einem kompletten Riss durch einen Stresstest unterschieden werden. (10)

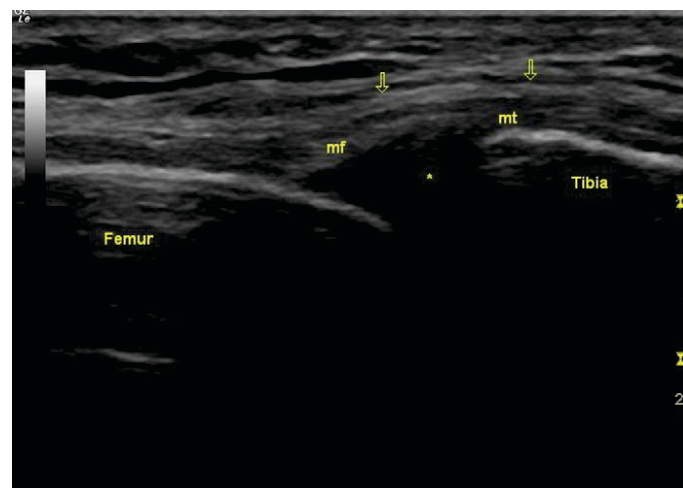


Abbildung 9: Abbildung des Lig. collaterale mediale mit dem Lig. superficiale (Pfeile), Lig. meniscofemorale (mf) und Lig. meniscotibiale (mt). Alle Bänder sind am Meniskus befestigt (10)

1.4.4. Nerven

Periphere Nerven bestehen aus vielen Nervenfasern, die in ein Bindegewebe, dem Endoneurium, eingebettet sind und sich wie Muskelfasern in Bündel zusammenlagern. Diese Bündel werden Nervenfaszikel genannt und sind von einem Bindegewebe, dem Perineurium umgeben. Im Längsschnitt bilden Nerven ein faszikuläres Muster mit kontinuierlichen, hypoechogenen Bändern, welche die Faszikel darstellen. Diese Bänder sind von linearen, diskontinuierlichen, hyperechogenen Bändern umgeben, welche das intrafaszikale Epineurium wiedergeben. Im Querschnitt zeigt sich häufig ein sogenanntes „Honigwabemuster“. Nerven können in manchen Fällen Sehnen ähneln, es gibt aber mehrere Möglichkeiten, diese beiden Strukturen voneinander zu unterscheiden. Zum einen weisen Nerven ein faszikuläres, Sehnen ein fibrilläres Muster auf. Des Weiteren sind Sehnen in der Regel nicht komprimierbar und es kommt bei Kontraktion des angrenzenden Muskels zu einer stärkeren Bewegung. (10)

Nerven sind ebenfalls durch eine niedrigere Echogenität im Vergleich mit Sehnen und Ligamenten gekennzeichnet. (19)

Nerven können in ihrem Verlauf durch verschiedene anatomische Strukturen eingeeengt werden. Komprimierte Nerven sind im Vergleich zu unkomprimierten hypoechogener und weisen proximal der Engstelle eine Schwellung auf. Durch die Möglichkeit einer dynamischen Ultraschalluntersuchungen können Nervenkompressionen gut diagnostiziert werden. (10)

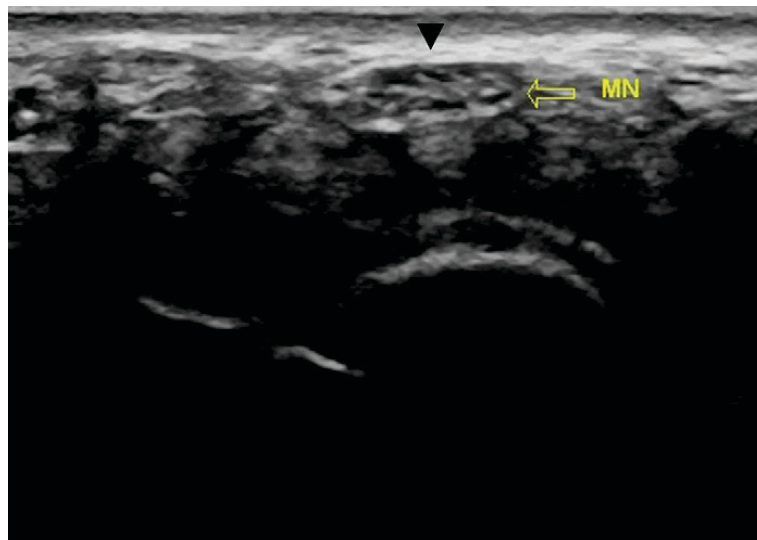


Abbildung 10: Querschnitt des N. medianus (MN) unter dem Lig. carpi transversum (schwarzer Pfeilkopf) mit Honigwabemuster (10)

1.4.5. Knochen

In der Ultraschalluntersuchung kann nur der oberflächliche Teil von Knochen abgebildet und somit beurteilt werden, da nahezu der gesamte Ultraschallstrahl an der Oberfläche reflektiert wird. Aus diesem Grund erscheint der abgebildete Knochen hyperechogen, linear und scharf begrenzt. Unter dem abgebildeten Knochen entsteht so ein komplett schwarzes Bild und es kann keine Information über diese Region gewonnen werden. (10)

In der Diagnostik von akuten Knochenfrakturen stellt die Ultraschalluntersuchung nicht die primäre Indikation dar. Dennoch gibt es zahlreiche Beispiele, wo Frakturen mit Hilfe der Sonografie diagnostiziert werden können, obwohl in der initialen Röntgenuntersuchung keine Fraktur nachgewiesen werden konnte. Eine Fraktur der Tuberositas major humeri kann beispielsweise durch eine suboptimale Achsenstellung oder Technik in der Röntgenuntersuchung übersehen werden. Außerdem sind Frakturen in Bereichen, wo sich mehrere Knochen gegenseitig überlappen, in einer Röntgenuntersuchung oft schwer zu erkennen. Eine akute Fraktur ist in der Ultraschalluntersuchung durch eine Diskontinuität des hyperechogenen Knochenkortex gekennzeichnet. Häufig treten gleichzeitig ein angrenzendes Hämatom mit unterschiedlicher Echogenität und ein subperiostales Hämatom auf. (10)

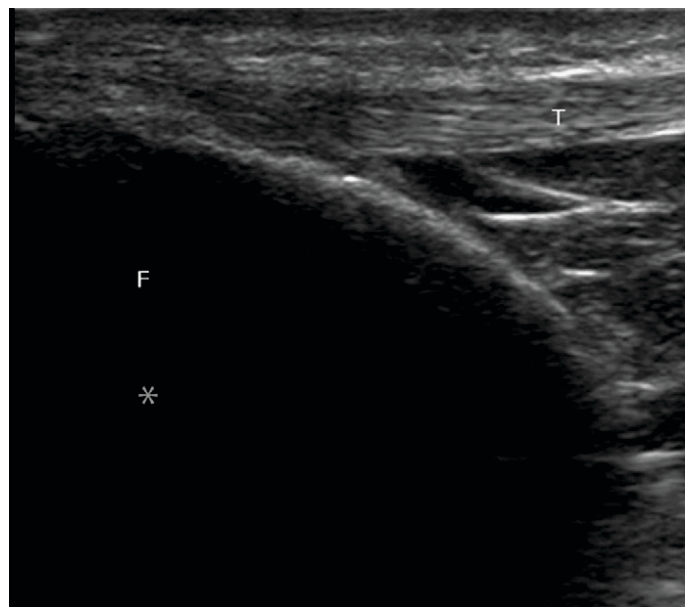


Abbildung 11: Knochen mit hyperechogenem, linearem und scharf begrenztem Erscheinungsbild. Unter der Knochenoberfläche erscheint das Bild schwarz, da nahezu alle Schallstrahlen an der Oberfläche reflektiert werden (10)

1.4.1. Gefäße

Arterien und Venen sind durch ein tubuläres und hypoechogenes oder anechogenes Erscheinungsbild gekennzeichnet. Sie sind leicht zu komprimieren und weisen in der Dopplersonografie einen Blutfluss auf. Gefäße können ebenfalls wichtige Leitstrukturen sein, um Nerven leichter zu detektieren, da diese Strukturen häufig einen gleichen Verlauf aufweisen. (10)

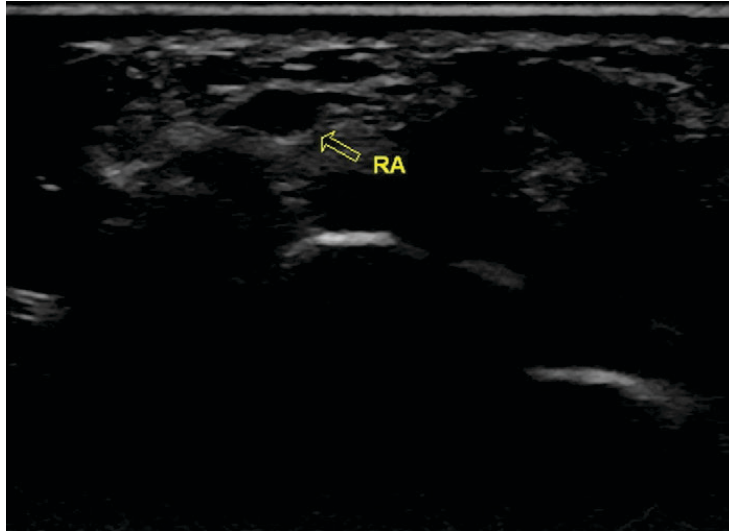


Abbildung 12: Querschnitt eines Blutgefäßes mit tubulärem, hypo- bzw. anechogenen Erscheinungsbild (10)

2. Material und Methoden

2.1. Methodenwahl

Zum Beantworten der Fragestellung wurden bereits im Vorfeld Fälle von Patienten*innen mit muskuloskelettalen Pathologien, die an der klinischen Abteilung für Allgemeine Radiologische Diagnostik am LKH-Univ. Klinikum Graz untersucht wurden, gesammelt. Bei den jeweiligen sonografischen Untersuchungen wurden Bilder angefertigt, um damit pathologische Strukturen beschreiben zu können. Dieser Ablauf wurde gewählt, da er eine effiziente und kostengünstige Vorgangsweise zur Beantwortung der Forschungsfrage darstellt.

Für den Einleitungsteil, in dem Historie und Grundlagen der Sonografie sowie Grundlagen der Muskuloskelettal-Sonografie im Speziellen dargestellt werden, wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Zusätzlich wurde zur Schilderung von Anatomie und sonografischer Untersuchungstechnik der jeweiligen Pathologie eine Literaturrecherche durchgeführt.

2.2. Literatursuche

Für die systematische Literatursuche wurde die medizinische Datenbank PubMed (U.S. National Library of Medicine, Bethesda, U.S.A., <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>) verwendet. Es wurde mit unterschiedlichen Suchbegriffen nach relevanter Literatur für das jeweilige zu bearbeitende Kapitel dieser Arbeit gesucht. Die dadurch erlangten Studien wurden ausführlich durchgearbeitet und bewertet. Es wurden schlussendlich 43 Studien für diese Arbeit verwendet. Für die Sammlung und Verwaltung der relevanten Literatur wurde das Literaturverwaltungsprogramm Mendeley verwendet.

2.3. Datenerhebung und Datenanalyse

Die benötigten medizinischen Daten beinhalten Sonografie-Bilder aus den einzelnen Untersuchungen, die zugehörigen Befunde, sowie Alter, Geschlecht und klinische Symptome der jeweiligen Patienten*innen. Eine genaue Fallzahl wird nicht definiert, es werden jedoch insgesamt 105 Ultraschalluntersuchungen von Patienten*innen mit muskuloskelettalen Pathologien erhoben. Die klinischen Daten werden mit Hilfe des

Krankenhausinformationssystem openMEDOCS der KAGes erfasst. Anschließend werden die erhobenen klinischen Daten beurteilt und einzelne Fälle ausgewählt, um muskuloskelettale Pathologien verschiedener Regionen und Gelenke sowie den Stellenwert der Sonografie in der Untersuchung dieser Pathologien zu beschreiben

Für das Patienten*innenkollektiv wird als Ausschlusskriterium ein biologisches Alter unter 18 oder über 99 Jahren festgelegt. Die Geschlechterverteilung ergibt sich zufällig.

2.4. *Datenschutz*

Es wird nach den Vorgaben des Datenschutzes gearbeitet. Die Patienten*innen-Namen werden in einem verschließbaren Raum aufbewahrt.

2.5. *Risiko-Nutzen-Evaluierung*

Bei Einhalten der Vorgaben des Datenschutzes entsteht beim Erheben der klinischen Daten kein Risiko für die Patienten*innen.

3. Ergebnisse – Ausgewählte Pathologien und Fallpräsentationen

3.1. Pathologien des Sprunggelenks – Achillessehne

3.1.1. Anatomie der Achillessehne

Die Achillessehne ist die stärkste Sehne im menschlichen Körper. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, da bei körperlichen Aktivitäten, wie beispielsweise Springen oder Laufen, das bis zu zehnfache des eigenen Körpergewichtes auf sie wirkt. Aus diesem Grund treten in diesem Bereich häufig Pathologien auf, die von Tendinopathien bis hin zu vollständigen Sehnenrupturen reichen können. (20)

Die Achillessehne bildet die gemeinsame Endsehne zwischen medialem und lateralem M. gastrocnemius und dem M. soleus. Um das zu ermöglichen, muss sich der M. soleus mit den beiden Gastrocnemius-Muskelbäuchen vereinigen, damit eine Ausbildung der ca. 15 cm langen Sehne möglich wird, um dann distal am Calcaneus zu inserieren. Auf diesem Weg nach distal zu ihrem Ansatzpunkt kommt es zu einer Drehung der Sehne um 90 Grad von medial über posterior nach lateral. Dadurch lässt sich elastische Energie speichern, die dann für Gang und Bewegungen verwendet werden kann. Durch diesen spiralförmigen Verlauf entsteht aber auch eine Region, in der die Sehne Stress ausgesetzt wird. Diese Region befindet sich zwischen 2 und 5 cm proximal der Insertion. (20)

Gemeinsam mit dem M. plantaris sind M. gastrocnemius und M. soleus für die Plantarflexion des Fußes verantwortlich. Da der M. gastrocnemius auch am distalen Femur entspringt, fungiert er ebenfalls als Kniebeuger. (20)

Es existiert keine Sehnenscheide, welche die Achillessehne umgibt. Stattdessen gibt es das sogenannte Paratenon, eine dünne Schicht aus Bindegewebe, welche das Gleiten der Sehne ermöglicht. Dieses Paratenon spielt auch eine wichtige Rolle in der Blutversorgung der Achillessehne, da sich in dieser Bindegewebsschicht ein Netzwerk aus feinen Blutgefäßen befindet, die zum größten Teil von der A. tibialis posterior versorgt werden. Ein kleiner Teil der Versorgung erfolgt aber durch die A. fibularis. In diesem Areal finden sehr häufig Rupturen statt. (20)



Abbildung 13: Blutversorgung der Achillessehne: Gelb eingefärbte Bereiche werden von der A. tibialis posterior, grün eingefärbte von der A. fibularis versorgt (20)

3.1.2. Untersuchungstechnik und sonografische Darstellung

Longitudinalebene: In der Ultraschall-Untersuchung erscheint die Achillessehne im Längsschnitt als echoreiche Struktur mit Echobändern, die parallel verlaufen. Führt man den Schallkopf nach proximal, lässt sich der tendomuskuläre Übergang zu den die Sehne bildenden Muskeln, die bereits beschrieben wurden, einstellen. Im Ansatzbereich am Calcaneus ist die Sehne häufig echofrei abgebildet, da die Schallwellen die Sehnenfasern nicht mehr im rechten Winkel treffen. Der Calcaneus selbst erscheint als stark reflektierende Struktur mit dorsaler Schallauslöschung. Zwei echogene, parallel verlaufende Strukturen, die auch die dorsale und ventrale Begrenzung der Sehne abbilden, stellen das Peritendineum dar. Zwischen Sehne und Tuber calcanei kann die Bursa subachillea abgebildet werden. Diese präsentiert sich als echofreies Areal mit echodichter Wand. Das sogenannte Kager-Dreieck, ein Fettkörper zwischen Achillessehne, Calcaneus und ventralen Zehenbeugern, dessen Spitze nach kranial zeigt, weist unterschiedliche Reflexmuster auf, ist aber immer hypoechogener als die Sehne selbst. Ebenfalls ist im Längsschnitt die Dorsalseite der Tibia und, wenn auch häufig nur schlecht darstellbar, der Talus zu sehen. (21)

Transversalebene: In der Transversalebene wird die Sehne von ihrem Ursprung bis zu ihrem Ansatz am Tuber calcanei abgefahren. Im mittleren Abschnitt hat die Sehne eine elliptische Form. Um die Dicke der Sehne zu bestimmen, soll immer der kürzere Querdurchmesser im Axialschnitt gemessen werden. Normwerte betragen hierbei 4-6 mm, bei Leistungssportlern sind aber Durchmesser bis zu 7 mm möglich. Der Querschnitt der Sehne ist elliptisch und teilweise nierenförmig. (21)

3.1.3. Achillessehne-Tendinose

Bei einer Achillessehne-Tendinose handelt es sich um einen degenerativen Prozess der Sehne ohne histologische oder klinische Zeichen einer intratendinösen Inflammation. Dabei unterscheidet man eine Insertions-Achillessehne-Tendinose, bei der ein isolierter Schmerz am Ansatz der Sehne vorliegt, von einer sog. Mid-Portion-Tendinose, die nicht im Ansatzbereich, sondern im Hauptanteil der Sehne besteht. (22)

Es kommt bei diesem Krankheitsbild zu einer Desorganisation der Kollagenfasern, indem die Typ-I-Kollagen-Produktion durch jene von schwächerem Typ-III-Kollagen ersetzt wird. Diese Typ-III-Kollagen Fasern haben einen kleineren Durchmesser, wodurch die parallele Faseranordnung verschwindet. Ebenfalls kommt es zu einer Randomisierung der Blutversorgung. (23)

In der Ultraschall-Untersuchung präsentiert sich eine Tendinose mit echoarmen und später inhomogenen Strukturveränderungen. Ebenfalls kommt es zu einer Dickenzunahme der Sehne. (21)

3.1.4. Fallpräsentation: Achillessehne-Tendinose

Ein 42-jähriger Patient stellt sich aufgrund von bestehenden Schmerzen der rechten Ferse zur sonografischen Untersuchung vor. In der klinischen Untersuchung zeigt sich eine deutliche Schwellung der rechten Ferse, es besteht der Verdacht auf einen Riss der Achillessehne.

In der Sonografie-Untersuchung des rechten Fußes zeigt sich kein Nachweis einer Ruptur, jedoch eine Tendinose der rechten Achillessehne mit fusiformer Auftreibung der heterogen dargestellten Achillessehne im mittleren Drittel in einer Länge von ca. 5 cm bis auf 2,5 cm in anteroposteriorer Ausdehnung. In diesem Bereich sind auch Neovaskularisationen in der Doppler-Untersuchung zu sehen.

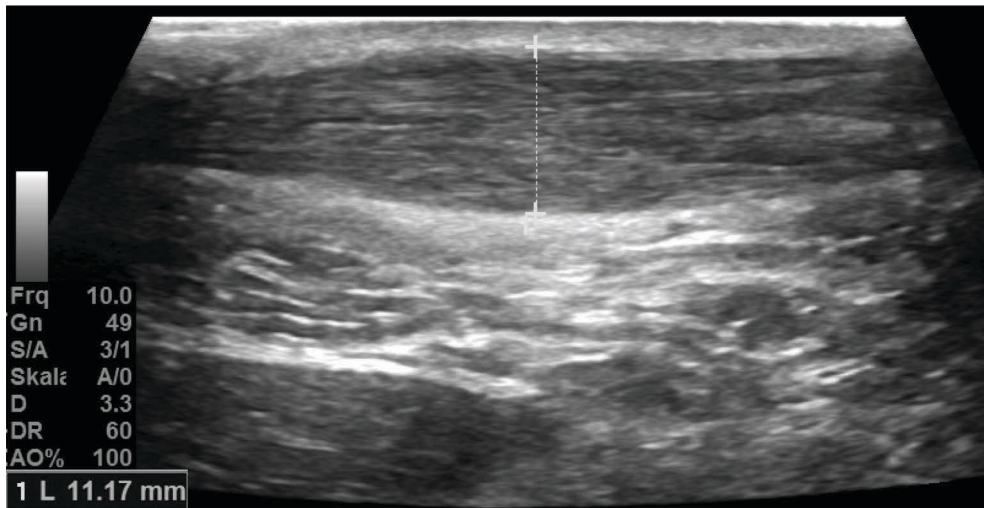


Abbildung 14: Auftreibung der Achillessehne in einer Ausdehnung von ca. 1,1 cm
Quelle: Eigene Darstellung

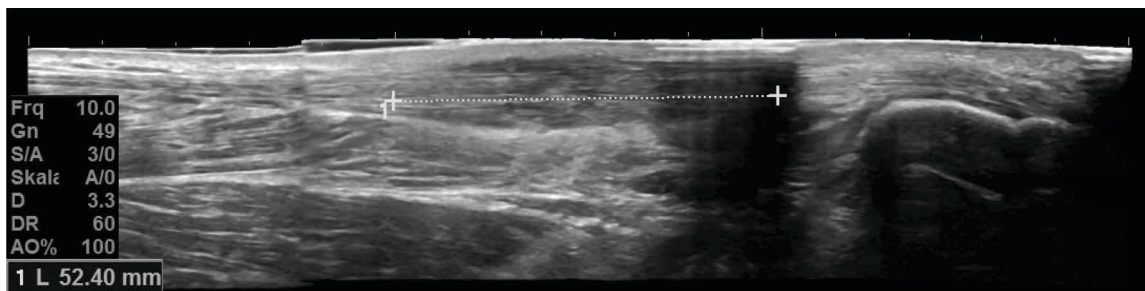


Abbildung 15: Fusiforme Auftreibung der heterogen dargestellten Achillessehne in einer Ausdehnung von ca. 5 cm
Quelle: Eigene Darstellung

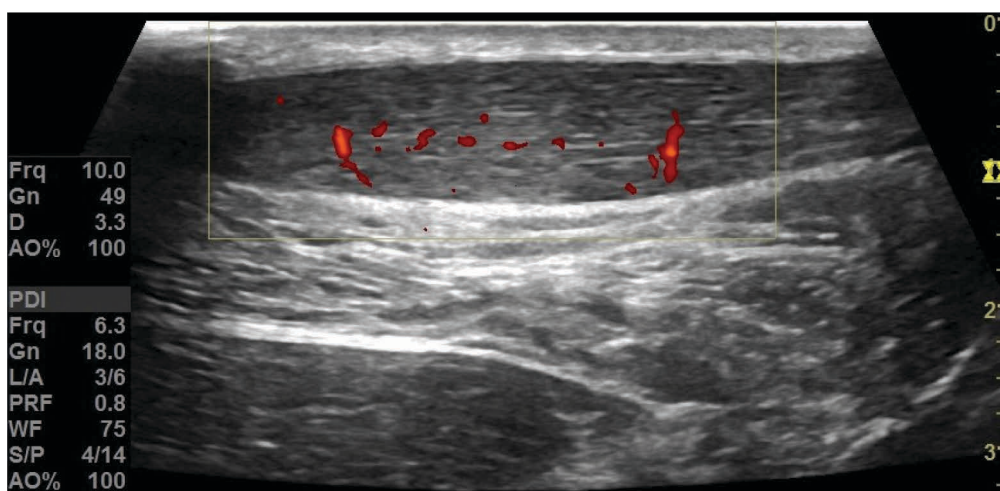


Abbildung 16: Neovaskularisationszeichen im Bereich der fusiformen Auftreibung
Quelle: Eigene Darstellung

3.1.5. Achillessehnenruptur

Obwohl die Achillessehne die stärkste und dickste Sehne im menschlichen Körper darstellt, ist sie auch jene, die am häufigsten rupturiert. (24)

Dazu ist in der Regel eine Dehnung von mehr als 8% der Sehnenlänge notwendig. Ursache ist hierfür meist eine plötzliche Krafteinwirkung auf die Sehne im Zuge einer starken Plantarflexion. Die Stelle der Ruptur befindet sich in 80% der Fälle zwischen 2 und 6 cm proximal der Ansatzstelle am Calcaneus. (20)

Die Achillessehne kann vereinfacht in 2 Regionen eingeteilt werden. Dazu gehören die distale Insertionszone und die proximale Non-Insertionszone. Ein zusätzliches Einteilungssystem lässt die Sehne in 3 Regionen unterteilen. Zu diesen zählen die Insertionszone am Calcaneus, die Präinsertionszone 2cm proximal der erstgenannten, und der Mittelteil der Sehne. (20)

3.1.6. Fallpräsentation: Akute Ruptur der Achillessehne

Ein 59-jähriger Patient wird aufgrund von Schmerzen der linken Ferse nach einem Trauma sonografisch untersucht. Es liegt der Verdacht auf eine Achillessehnen-Ruptur vor.

In der Ultraschall-Untersuchung kann eine vollständige Ruptur der Achillessehne am Übergang mittleres/distales Drittel mit Retraktion der abgerundeten Sehnenstümpfe um maximal 12 mm mit Fibrineinlagerungen im Bereich des Defektes bestätigt werden. Dynamisch sind die Stümpfe während der Plantarflexion in Kontakt. Als Nebendiagnose liegt ein Fersensporn vor und es befindet sich Flüssigkeit innerhalb des Paratenons. Weiters liegt eine ausgeprägte Tendinose der Achillessehne mit vereinzelt Verkalkungen im mittleren Drittel vor.

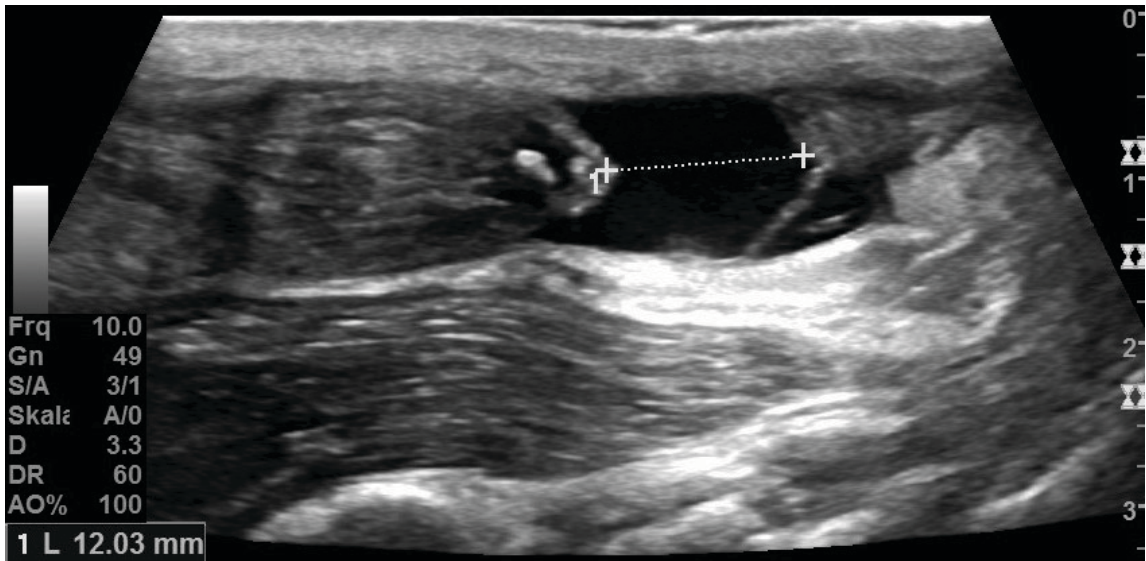


Abbildung 17: Retraktion der abgerundeten Sehnenstümpfe um max. 12 mm
 Quelle: Eigene Darstellung

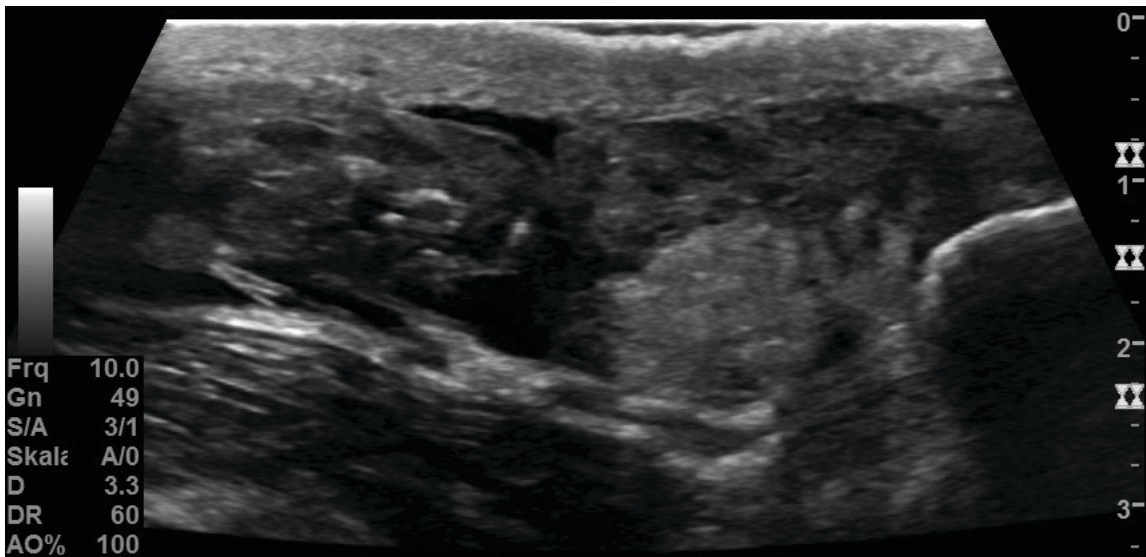


Abbildung 18: Kontakt der Sehnenstümpfe während Plantarflexion
 Quelle: Eigene Darstellung

3.1.7. Fallpräsentation: Z.n. Achillessehnenruptur

Ca. 1 Monat nach der akuten Ruptur wird eine erneute sonografische Untersuchung der Achillessehne desselben Patienten durchgeführt.

Die Sehne ist in ihrer Kontinuität erhalten, es liegt jedoch eine Deformität der Sehne im Bereich der ehemaligen Ruptur mit veränderter Faserstruktur vor. Zusätzlich besteht eine ausgeprägte Tendinose im Bereich des mittleren Drittels in einer Ausdehnung von 13 x 7x 9 mm mit signalverändertem Areal und multiplen Verkalkungen.

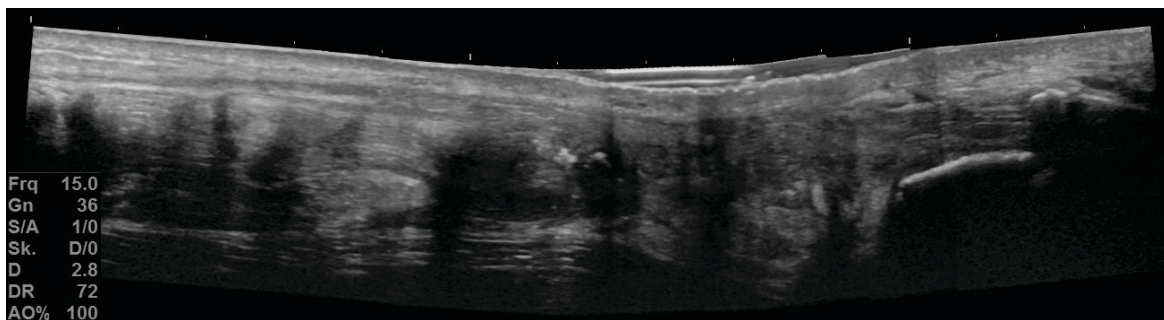


Abbildung 19: Deformität der Sehne im Bereich der ehemaligen Ruptur
Quelle: Eigene Darstellung

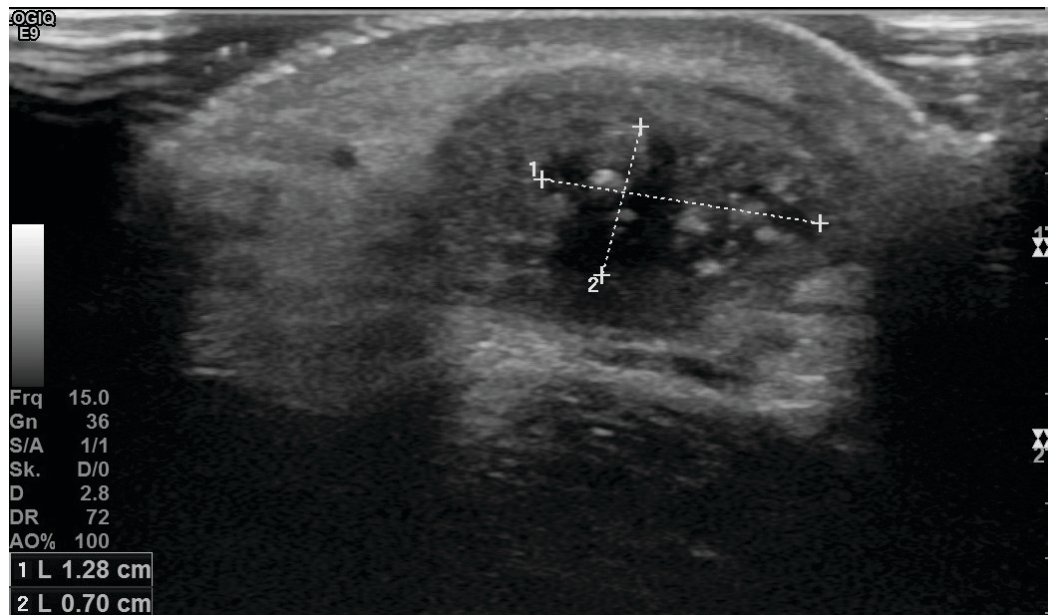


Abbildung 20: Ausgeprägte Tendinose mit signalverändertem Areal und multiplen Verkalkungen
Quelle: Eigene Darstellung

3.2. Pathologien des Sprunggelenks – Aponeurosis plantaris

3.2.1. Anatomie der Aponeurosis plantaris

Die Plantarfaszie, auch Aponeurosis plantaris genannt, ist eine Bindegewebsstruktur, die für die Aufrechterhaltung des Fußlängsgewölbes wichtig ist. Sie ist aus festem Bindegewebe aufgebaut und besteht aus drei Bündeln. Diese lassen sich in ein zentrales, ein mediales und ein laterales Bündel unterteilen und unterscheiden sich in ihrer Dicke. (25)

Einrisse der Plantarfaszie sind ungewöhnlich, können aber in unterschiedlichem Ausmaß vorkommen. Es sind Einrisse, aber auch komplette Rupturen möglich. (25)

3.2.2. Untersuchungstechnik und sonografische Darstellung

Mit Hilfe des diagnostischen Ultraschalls lässt sich vor allem das zentrale Bündel der Plantarfaszie sehr gut abbilden. Dieses ist auch am häufigsten von Pathologien betroffen. (26)

Während der Ultraschall-Untersuchung befinden sich Patienten*innen in Rückenlage, der Fuß ragt über die Patientenliege hinaus. (26)

Die Plantarfaszie präsentiert sich im Ultraschall mit einem fibrillären Muster. Dies ist auf die hyperechogen erscheinenden Typ-I-Kollagen-Faserbündel zurückzuführen, die in hypoechogener Matrix eingelagert sind. (25)

Eine Ruptur ist sonografisch durch eine komplette oder teilweise Unterbrechung der Faszie mit hypoechogenem Gewebe am Rande der Läsion charakterisiert. Diese Hypoechogenität entsteht durch eine Blutung und einem Entzündungsgeschehen. (25)

3.2.3. Fallpräsentation: Ruptur der Aponeurosis plantaris

Bei einem 38-jährigen Patienten wird eine sonografische Untersuchung der Weichteile des rechten Unterschenkels durchgeführt. Es zeigt sich ein Defekt in der Plantarfaszie dorsal rechts, der sich bei Dorsalextension in einer Länge von 3 mm präsentiert. Es liegt weiters eine geringe Auftreibung der posterior gelegenen Faszie ansatznahe vor. Es gibt keine Hinweise auf eine Hypervaskularisation bzw. auf ein Hämatom.

In einer anschließenden MRT-Untersuchung konnte eine Ruptur der Plantaraponeurose bestätigt werden.

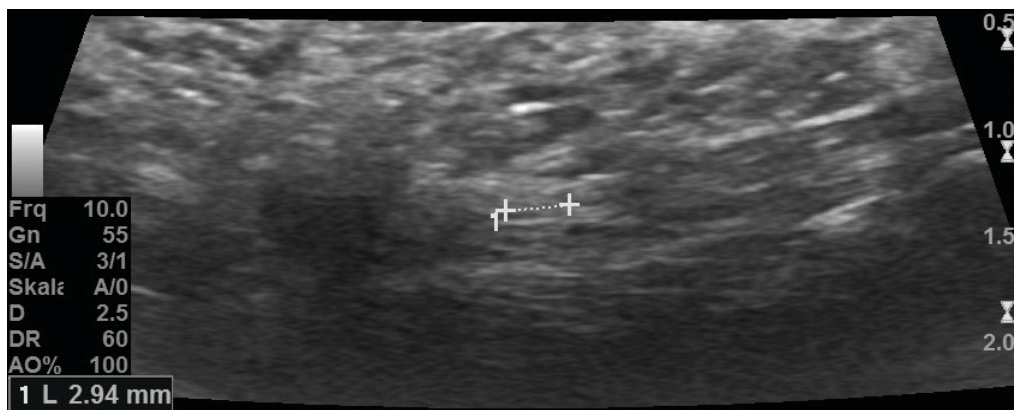


Abbildung 21: Defekt der Plantarfaszie dorsal rechts in einer Länge von 3 mm bei Dorsalextension
Quelle: Eigene Darstellung

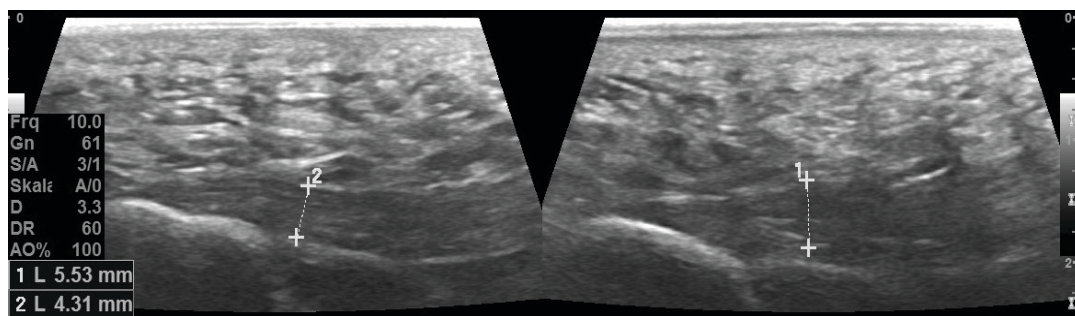


Abbildung 22: Auftreibung der posterior gelegenen Faszie ansatznahe
Quelle: Eigene Darstellung

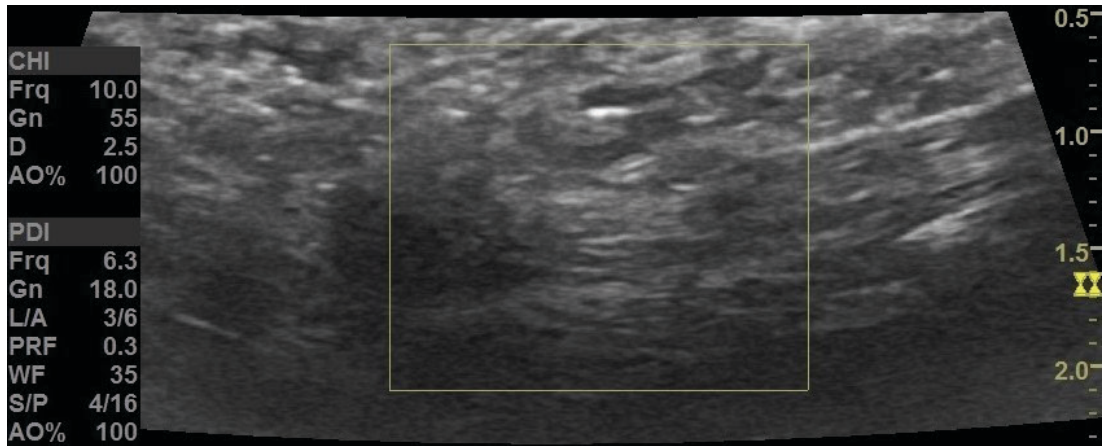


Abbildung 23: Keine Anzeichen auf eine Hypervaskularisation
Quelle: Eigene Darstellung

3.3. Pathologien des Schultergelenks

3.3.1. Anatomie des Schultergelenks

Bei der Schulter handelt es sich um ein komplexes Gelenk, das eine hohe Bewegungsfreiheit benötigt. Aus diesem Grund lasten auf diesem Gelenk hohe funktionale Anforderungen wie Kraft, Ausdauer und Flexibilität. Diese hohen Anforderungen führen häufig zu Pathologien, die sich in Beschwerden äußern. (27)

Die Knochen, die das Schultergelenk bilden, sind Scapula, Humerus, Clavicula und Sternum. (27)

Das Schultergelenk setzt sich aus 4 Gelenken zusammen. Dazu gehören *Articulatio glenohumeralis*, *Articulatio acromioclavicularis*, *Articulatio sternoclavicularis* und *Articulatio scapulothoracalis*. Beim Letztgenannten handelt es sich eigentlich nicht um ein echtes Gelenk, da es nur die Verbindung zwischen Scapula und Brustkorb darstellt. Die *Articulatio glenohumeralis* ist ein sogenanntes Kugelgelenk, wobei der Humeruskopf den Gelenkskopf, und das Glenoid, ein Teil der Scapula, die Gelenkspfanne bildet. (27)

Der Humeruskopf ist dabei deutlich größer als die Kavität des Glenoids. (28) Um das Volumen der *Fossa glenoidalis* zu erhöhen und damit das Gelenk zu stabilisieren, wird sie vom sogenannten Labrum, einem Bindegewebsring, umgeben. (27)

Zur zusätzlichen Unterstützung des Schultergelenks gibt es zahlreiche Ligamente. Dazu zählen unter anderem die *Ligamenta acromioclaviculares superior et inferior*, das *Ligamentum coracoclaviculare*, *coracoacromiale* und *coracohumerale*, sowie die *Ligamenta glenohumeralia superius, mediale, und inferius*. (28)

Damit die umfangreichen Funktionen der Schulter ausgeführt werden können, ist ein komplexes Netzwerk von verschiedenen Muskeln notwendig. Die Schulterkapsel wird von der sogenannten Rotatorenmanschette überdeckt, einer Gruppe von Muskeln, die alle von der Scapula entspringen und am Humerus inserieren. Die vier Muskeln, welche die Rotatorenmanschette bilden, sind der *M. subscapularis*, *M. supraspinatus*, *M. infraspinatus* und *M. teres minor*. Sie haben neben ihren individuellen Aufgaben im Sinne von Bewegungsausführungen auch noch eine entscheidende Rolle zur Aufrechterhaltung der dynamischen Stabilität der Schulter. (27) Denn durch die anatomische Anordnung der Rotatorenmanschetten-Muskeln und -Sehnen und mit Hilfe der langen Bizepssehne wird der Humeruskopf aktiv in die Kavität des Glenoids gepresst. (28)

Bei diesen Sehnen handelt es sich aber um dynamisches Gewebe. Das bedeutet, dass sich ihre Zusammensetzung mit dem Alter und auch mit dem Aktivitätsausmaß andauernd verändert. So kommt es zu Veränderungen in der Mikrostruktur der Sehnen, die bis zu Gewebestörungen und Degenerationen führen können. Diese Degenerationen, die durch den Altersprozess oder durch eine Überbelastung der Sehne entstehen, können so zu einem Funktionsversagen der Sehne und damit zu einer partiellen oder totalen Ruptur führen. Dadurch kann eine ausreichende Stabilität und Mobilität des Glenohumeralgelenks nicht mehr gewährleistet werden und es kommt zu abnormalen Gelenkbewegungen. (28)

3.3.2. Untersuchungstechnik und sonografische Darstellung

Bei der Durchführung einer Sonografie des Schultergelenks sollen Patienten*innen während der Untersuchung sitzen. Der Untersucher/die Untersucherin hat ebenfalls die Möglichkeit dabei zu sitzen, es ist aber auch eine stehende Position hinter den Patienten*innen möglich. Um eine für den Untersucher/die Untersucherin ergonomisch komfortable Position zu erzielen, sollte darauf geachtet werden, dass die Schulter des Untersuchers/der Untersucherin über der des Patienten/der Patientin liegt. Es sollte ein linearer Schalkopf mit hohen Frequenzen zwischen 12 und 15 MHz verwendet werden. Bei adipösen und sehr muskulösen Patienten*innen kann es notwendig sein, die Untersuchung im niedrigeren Frequenzbereich (9MHz) durchzuführen. (29)

Anisotropie stellt das häufigste Artefakt in der Schulter-Sonografie dar. Da es dabei zu einer verschwommen, hypoechogenen oder anechogenen Darstellung der Sehne kommt, weil die Schallwellen nicht senkrecht auf die Sehne treffen, kann dieses Artefakt leicht mit einer Tendinopathie oder einem Riss verwechselt werden. (29)

3.3.3. Musculus supraspinatus

Der M. supraspinatus ist Bestandteil der Rotatorenmanschette. Er entspringt am hinteren Teil der Scapula oberhalb der Spina scapulae und inseriert am Tuberculum majus des Humerus. (27)

Die Ultraschall-Untersuchung dieses Muskels sollte in einer modifizierten Crass-Position durchgeführt werden. Dabei legt der Patient /die Patientin seine Handfläche auf die ipsilaterale Seite seiner Hüfte. Die normale Supraspinatus-Sehne weist eine konvexe Oberfläche auf und erscheint fibrillär und hyperechogen. (29)

Der Raum zwischen coraco-acromialen Bogen und Humeruskopf wird subacromialer Raum genannt. Dieser Raum beinhaltet die Sehnen der Rotatorenmanschette, den langen Kopf der Bizepssehne, die Gelenkkapsel der Schulter, das Ligamentum glenohumerale, das Ligamentum coracohumerale und die subacromiale Bursa. Eine Einengung oder der Kontakt zwischen den Sehnen der Rotatorenmanschette und dem Acromion oder dem Ligamentum coracoacromiale wird als sogenanntes „Subakromiales Impingement-Syndrom“ bezeichnet. Diese Pathologie stellt den häufigsten Grund für Schulterbeschwerden dar. (30)

3.3.4. Fallpräsentation: Ansatz tendonopathie der M. supraspinatus-Sehne und Impingement-Syndrom

Bei einer 83-jährigen Patientin wird aufgrund anhaltender Schmerzen der linken Schulter eine sonografische Untersuchung durchgeführt.

In der Untersuchung imponiert die Sehne des M. supraspinatus im Bereich des Ansatzes heterogen. In diesem Bereich zeigt sich auch eine Ansatz tendonopathie. Eine partielle Ruptur der Sehne des M. supraspinatus ist nicht ausschließbar.

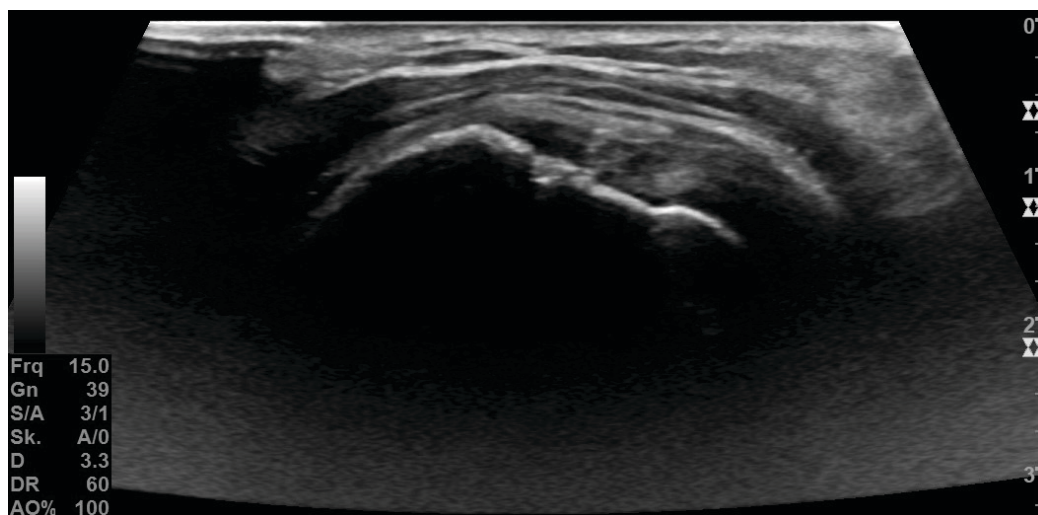


Abbildung 24: Heterogene Struktur der Supraspinatus-Sehne im Bereich des Ansatzes mit Ansatz tendonopathie.

Quelle: Eigene Darstellung

3.3.5. Fallpräsentation: Subakromiales Impingement-Syndrom der rechten Schulter

Bei einem 54-jährigem Mann wird eine sonografische Untersuchung der rechten Schulter durchgeführt. Der Patient berichtet von seit Monaten bestehenden Schulterschmerzen bei Überkopfbewegungen im seitlichen Bereich der rechten Schulter.

In der sonografischen Untersuchung zeigt sich die Supraspinatussehne mit heterogener Struktur. Bei dynamischer Untersuchung präsentiert sich eine deutlich reduzierte akromiohumorale Distanz mit Vorwölbung der Bursa subacromialis und Bursa subdeltoidea, die gemeinsam als SASD bezeichnet werden, im Sinne eines subakromialen Impingement-Syndroms.

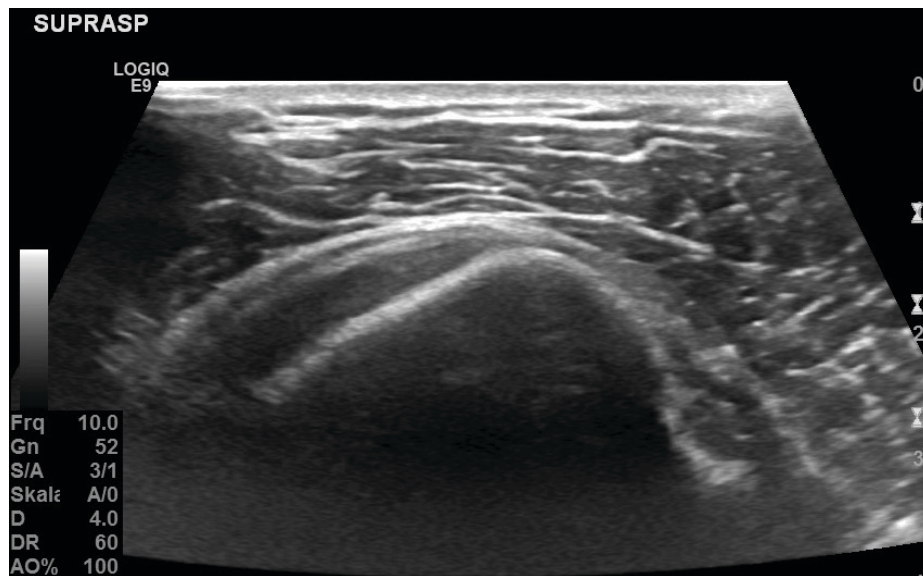


Abbildung 25: Längsschnitt der Sehne des M. supraspinatus rechts
Quelle: Eigene Darstellung

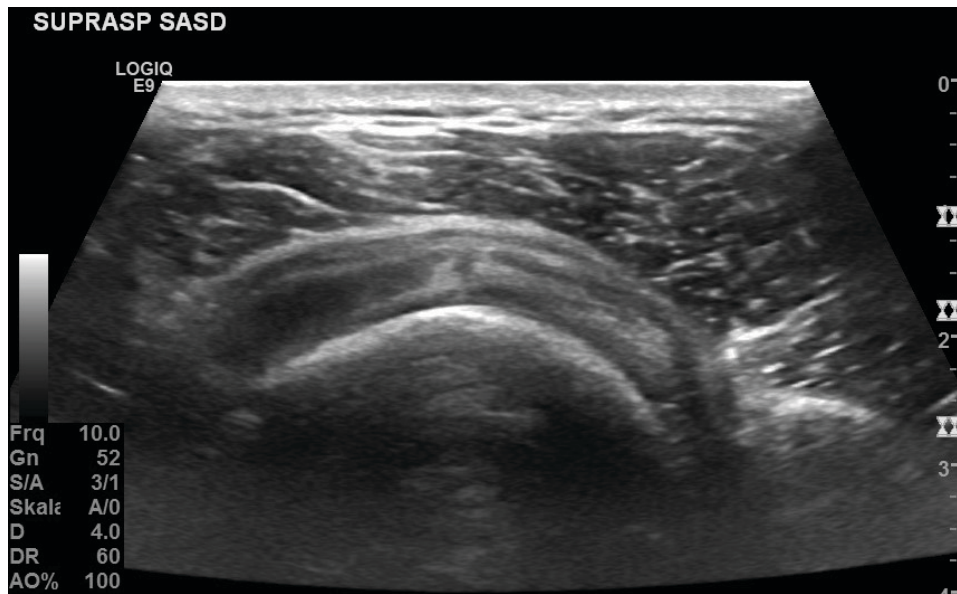


Abbildung 26: Querschnitt der Sehne des M. supraspinatus rechts
Quelle: Eigene Darstellung

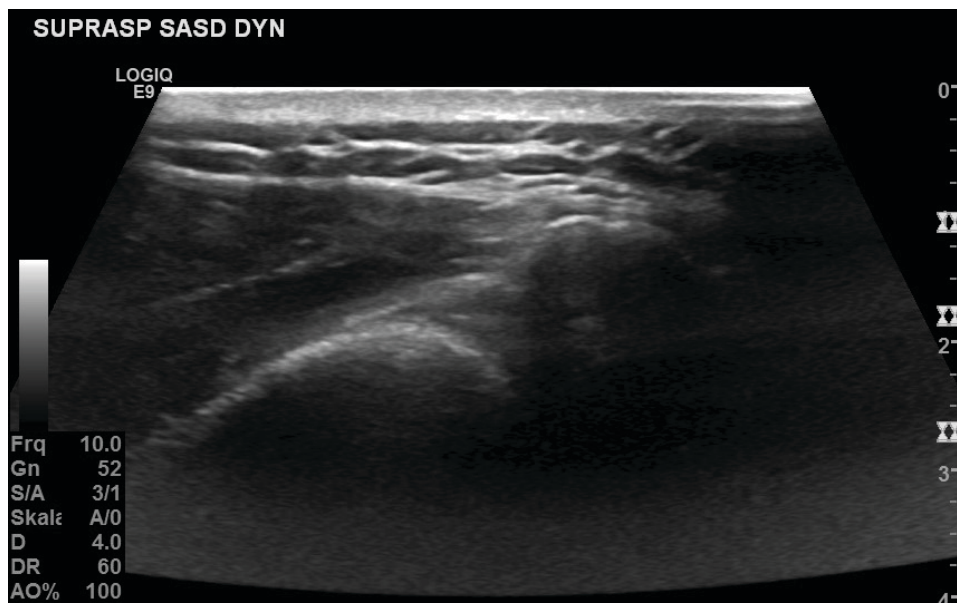


Abbildung 27: Dynamische Untersuchung: deutlich reduzierte akromiohumerale Distanz
mit Vorwölbung der SASD
Quelle: Eigene Darstellung

3.3.6. Musculus biceps brachii

Der Musculus biceps brachii besteht aus 2 Köpfen, Caput longum und Caput breve. Das Caput breve entspringt am Proc. coracoideus mit einer gemeinsamen Sehne des M. coracobrachialis. (27)

Der Sehne des Caput longum hat eine zusammenhängende Verbindung mit der Rotatorenmanschette, entspringt intrakapsulär am Tuberculum supraglenoidale und wandert nach Durchdringung der Gelenkkapsel den proximalen Humerus im Sulcus bicipitalis nach distal, bevor sie an der Tuberositas radii inseriert. (28)

In der Ultraschalluntersuchung ist es wichtig, den Sulcus bicipitalis in eine anteriore Position zu bringen. Dies wird erreicht, indem man den Unterarm des Patienten/der Patientin auf den ipsilateralen Oberschenkel ablegt und das Ellbogengelenk um 90 Grad flektiert. Die Handinnenfläche sollte dabei nach oben schauen. Um den Sulcus bicipitalis abbilden zu können, wird der Schallkopf in axialer Ebene auf die vordere Schulter positioniert. In diesem Sulcus erscheint die Sehne des langen Bizepskopfes als runde, gut erkennbare, hyperechogene und fibrilläre Struktur. Der Sulcus selbst bildet sich als glatte, halbkreisförmige kortikale Einsenkung ab. Anschließend kann die Sehne in ihrer gesamten Länge dargestellt werden. (29)

3.3.7. Fallpräsentation: Sehnenruptur des M. biceps brachii

Zur Sonografie der rechten Schulter stellt sich ein 53-jähriger Patient mit Schmerzen der rechten Schulter bzw. des rechten Oberarmes vor.

In der sonografischen Untersuchung präsentiert sich eine vollständige Ruptur der langen Bizepssehne am myotendinösen Übergang mit Retraktion der Sehne nach kranial und des Muskelbauches nach kaudal mit einem Defekt in einer Ausdehnung von ca. 1,8 cm. Soweit sonografisch einsehbar ist jedoch die Sehnenhülle in ihrer Kontinuität erhalten. Die Sehne liegt im Sulcus bicipitalis humeri orthotop. Es gibt keine Hinweise auf ein Hämatom oder auf einen Sehnen-scheidenerguss. Die Muskelstruktur der miterfassten Muskulatur erscheint regelrecht.



Abbildung 28: Vollständige Ruptur der langen Bizepssehne am myotendinösen Übergang mit Retraktion von Sehne und Muskelbauch und einem Defekt von ca. 1,8cm
Quelle: Eigene Darstellung

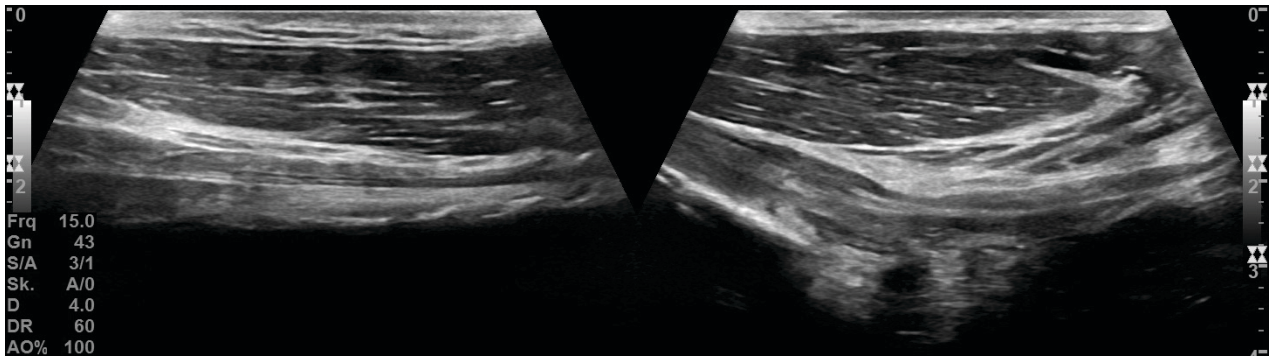


Abbildung 29: Vergleich linke Bizepssehne in Kontinuität erhalten vs. rechte Bizepssehne mit Totalruptur
Quelle: Eigene Darstellung

3.4. Pathologien des Hüftgelenks

3.4.1. Anatomie des Hüftgelenks

Beim Hüftgelenk handelt es sich um ein klassisches Kugelgelenk. Die Gelenkspfanne, die in diesem Gelenk Acetabulum genannt wird, wird gemeinsam von Os ilium, Os ischium und Os pubis gebildet. Der Femurkopf stellt den Gelenkskopf dar. Das Gelenk wird von einer starkem ligamentösen Gelenkscapsel umgeben. Die Hüftmuskulatur hat neben einer stabilisierenden Aufgabe ebenfalls die Funktion, die Kräfte bereitzustellen, die für die zahlreichen Bewegungsmöglichkeiten benötigt werden. (31)

3.4.2. Untersuchungstechnik und sonografische Darstellung

Bei einer Ultraschalluntersuchung der Hüfte müssen anteriore, mediale, laterale und posteriore Strukturen beurteilt werden. Da die anterioren und lateralen Strukturen sehr oberflächlich liegen, sollten hohe Frequenzen verwendet werden. Die posterioren Muskeln und Sehnen liegen unter einer dicken Schicht aus subkutanem Bindegewebe und Muskelanteilen, die dem M. gluteus maximus angehören. Daher sollten hier niedrigere Frequenzen mit einem etwas erhöhten Druck durch den Schallkopf angewendet werden.

Zur Beurteilung der vorderen Hüftstrukturen befinden sich Patienten*innen in Rückenlage. Damit können der distale Teil des M. iliopsoas mit Sehne, der M. rectus femoris, die kurzen Sehnen des M. sartorius und M. tensor fasciae latae, sowie das femorale Gefäß-Nervenbündel mit N. femoralis, A. und V. femoralis communis, dargestellt werden. Um die lateralen Strukturen, zu denen der Trochanter majus mit dazugehörigen Pathologien, der M. gluteus medius und der M. gluteus minimus gehören, zu evaluieren, wird die sonografische Untersuchung in Seitenlage durchgeführt. Zu den medialen Hüftstrukturen zählt der Großteil der Adduktorenmuskulatur mit M. adductor longus, M. gracilis, M. adductor brevis und M. adductor magnus. Um diese Strukturen ideal darstellen zu können, wird der Oberschenkel abduziert, nach außen rotiert und das Kniegelenk gebeugt. Die posterioren Hüftstrukturen werden in Bauchlage untersucht. Somit können M. gluteus maximus, M. semimembranosus, M. semitendinosus, langer Kopf des M. biceps femoris und N. ischiadicus optimal abgebildet werden (32)

3.4.3. Morel-Lavallée – Läsion

Eine Morel-Lavallée-Läsion entsteht durch ein stumpfes Trauma, bei dem tangentielle Scherkräfte wirken. Dadurch kommt es zu einer Auftrennung der Hypodermis von der darunterliegenden Faszie. Dies führt zu Destruktionen von vaskulären und lymphatischen Gefäßen, die den entstandenen Raum mit Blut und Lymphe füllen. Die Pathologie wurde nach ihrem erstmaligen Beschreiber, Maurice Morel-Lavallée, benannt. Diese Läsionen können Schmerzen bereiten, in manchen Fällen verlaufen sie aber auch asymptomatisch. Die Ultraschalluntersuchung ist eine gute Methode, um eine Morel-Lavallée Läsion zu diagnostizieren. In der Untersuchung zeigt sie sich als gut umschriebene, anechogene Struktur, die einem verflüssigtem Hämatom entspricht. In der Wand der Läsion können Fettreste in Form von hyperechogenen Knötchen zu sehen sein. (33)

Morel Lavallée-Läsionen sind selten und können mit Hämatomen oder Tumoren verwechselt werden. Um ein Wegdrücken des Ergusses aus dem Field of view zu verhindern und damit eine falsch-negative Untersuchung zu vermeiden, sollte nicht zu viel Druck mit dem Schallkopf während der Untersuchung ausgeübt werden. (32)

3.4.4. Fallpräsentation: Morel-Lavallée – Läsion

Ein 64-jähriger Patient wird zur Durchführung einer sonografischen Untersuchung der rechten Hüfte bei Zustand nach Verkehrsunfall (Moped gegen Auto) vor 3 Wochen vorstellig.

In der Untersuchung zeigt sich eine kraniokaudal 12,1 x anterioposterior 12,0 x 2,2cm große hypoechogene Flüssigkeitsformation epifaszial subkutan an der rechten Flanke im Sinne einer Morel-Lavallée Läsion. Nach 3 Tagen wurde eine erneute Sonografie-Untersuchung durchgeführt. Hier zeigte sich eine deutliche Größenregredienz der Läsion.

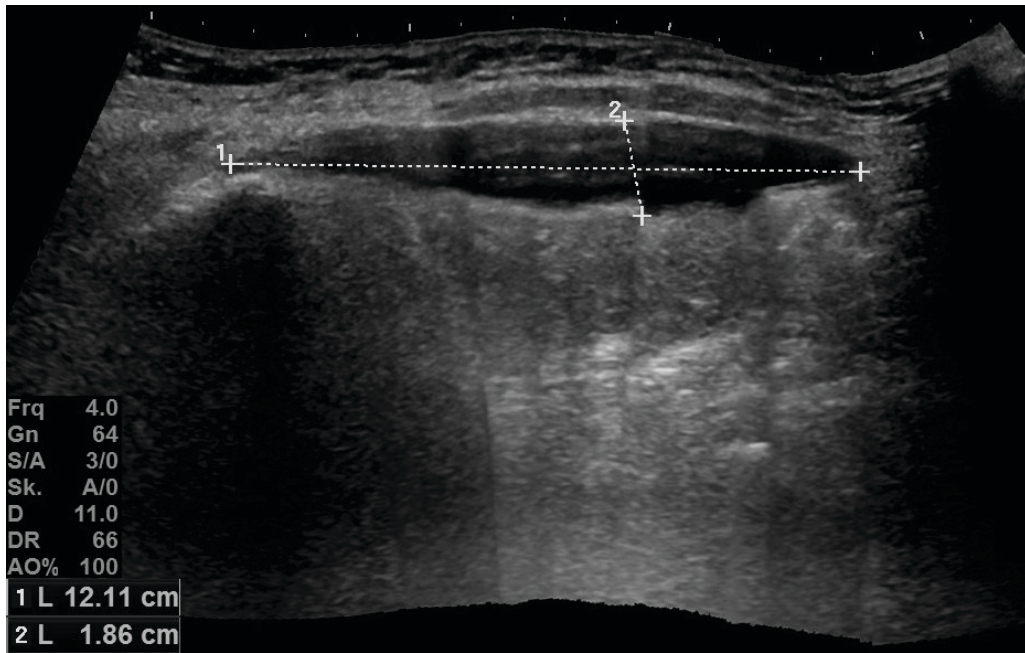


Abbildung 30: Hypoechogene Flüssigkeitsformation erstreckt sich kraniokaudal auf 12,1cm
 Quelle: Eigene Darstellung

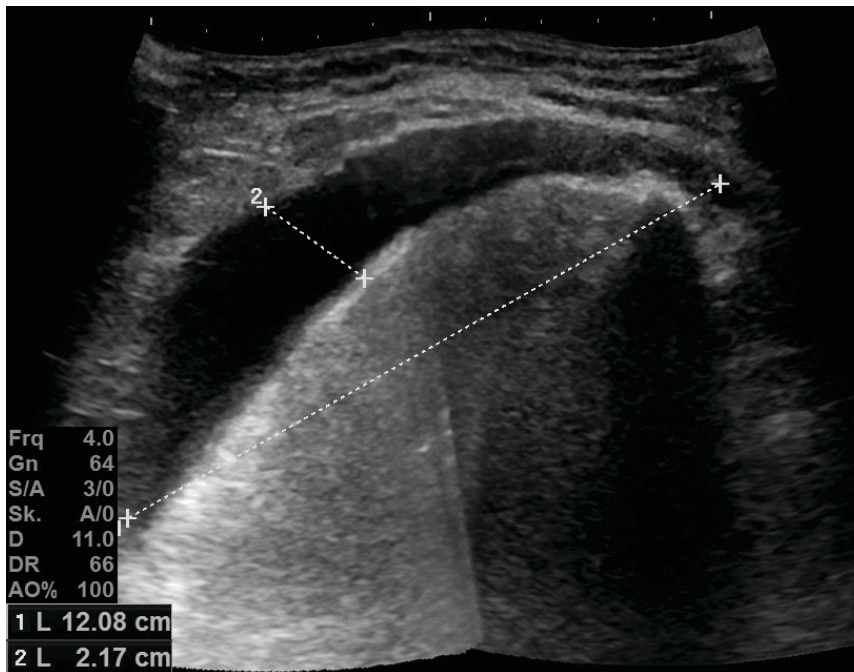


Abbildung 31: Von anterior nach posterior erreicht die Läsion eine Länge von 12,1 cm
 Quelle: Eigene Darstellung

3.4.5. Fallpräsentation: Sportverletzung der Hüfte

Eine Ultraschalluntersuchung der Weichteile des Oberschenkels wird bei einem 27-jährigen Patienten aufgrund einer Sportverletzung vor 4 Wochen durchgeführt.

In der sonografischen Untersuchung zeigt sich im distalen M. iliopsoas, auf Höhe des Hüftgelenkes, eine ca. 3,5 x 2,4 x 1,1 cm große, peripher verkalkt imponierende, mäßig hypervaskularisierte Struktur mit Zerstörung der Muskelarchitektur. Der Befund ist vereinbar mit einer Myositis ossificans. Die Differentialdiagnose lautet: Verkalktes Hämatom in Organisationsphase.

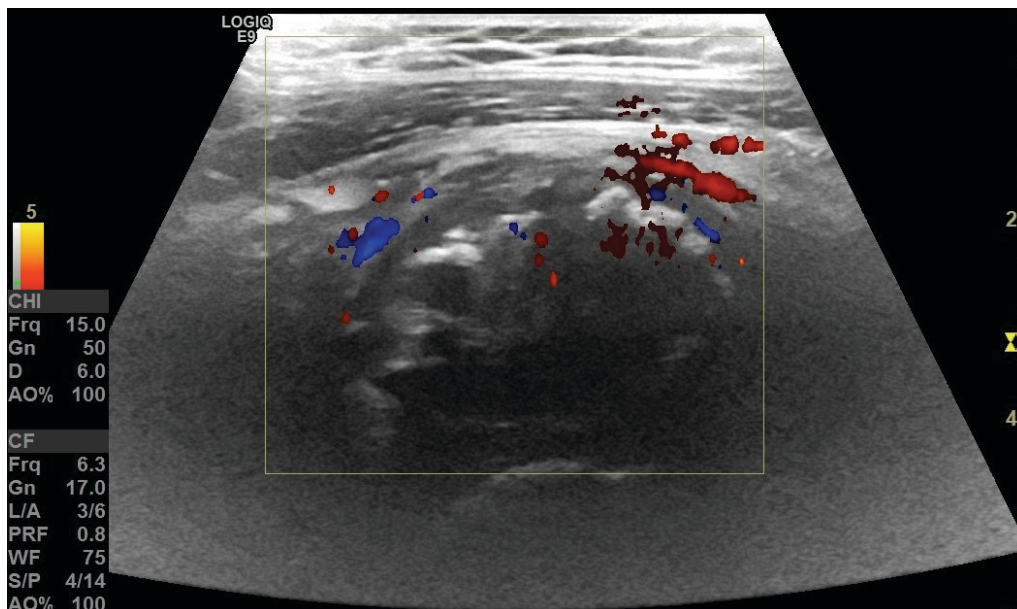


Abbildung 32: Die Läsion zeigt eine mäßige Hypervaskularisation
Quelle: Eigene Darstellung

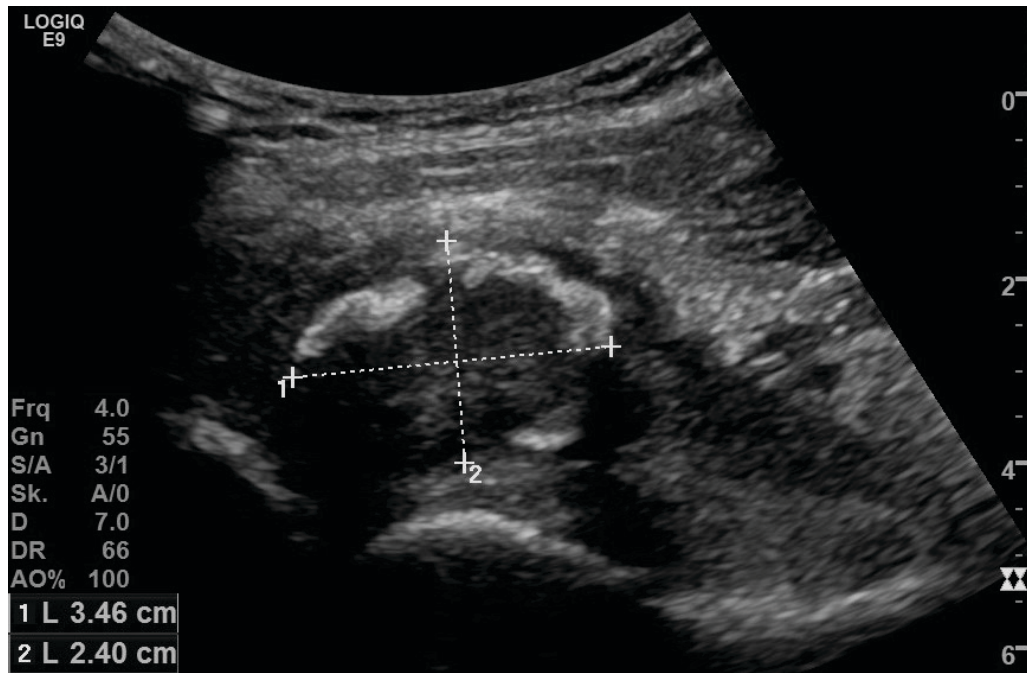


Abbildung 33: 3,5 x 2,4 cm große, peripher verkalkte Läsion mit Zerstörung der Muskelarchitektur
Quelle: Eigene Darstellung

3.5. Pathologien des Kniegelenks

3.5.1. Anatomie des Kniegelenks

Das Kniegelenk gehört zu jenen Gelenken des menschlichen Körpers, das am besten für eine sonografische Untersuchung zugänglich ist. Dies ist zum einen dadurch erklärbar, dass jene Strukturen, die beurteilt werden müssen, hauptsächlich oberflächlich liegen. Zusätzlich gibt es nur wenige Strukturen, die eine adäquate Abbildung der eigentlichen Zielstruktur stören könnten. Dennoch stellt die MRT-Untersuchung den Goldstandard zur Beurteilung von Kniegelenks-Pathologien dar. (34)

3.5.2. Untersuchungstechnik und sonografische Darstellung

Da die zu beurteilbaren Strukturen zum größten Teil sehr oberflächlich liegen, werden hauptsächlich hohe Frequenzen für die Untersuchung verwendet. Lediglich für die tiefer liegenden Strukturen, dazu zählen die Poplitealregion und die Kreuzbänder, werden niedrigere Frequenzen benötigt. (34)

Während der Untersuchung sollte sich der Patient/die Patientin in Rückenlage befinden. Um eine Anisotropie zu verhindern, kann man ein Kissen unter die Fossa poplitea legen, da dadurch der Streckmechanismus verstärkt wird. Außerdem sollte die Untersuchung ebenfalls in Flexionshaltung sowie in Bauchlage durchgeführt werden, um die Poplitealregion abbilden zu können. (34)

3.5.3. Fallpräsentation: Bandläsionen des Kniegelenks & Bakerzyste

Ein 38-jähriger Patient wird nach einer Fußballverletzung zur sonografischen Untersuchung des linken Kniegelenks vorstellig.

In der Untersuchung zeigt sich am femoralen Ansatz des Ligamentum collaterale laterale eine hyperechogene Struktur mit irregulär erscheinender Corticalis, vereinbar mit einer Bandläsion. Ebenfalls zeigt sich eine ca. 4,2 x, 6,9 x 2,1 cm große Bakerzyste mit partiell hyperechogenem Inhalt und verdickter Wand sowie ein suprapatellärer Kniegelenkserguss. Die anderen beurteilbaren Strukturen, dazu zählen Quadricepssehne, Lig. patellofemorale mediale, Bursa präpatellaris, Patellasehne, Lig. collaterale mediale, Bizepssehne und der

posteriore Anteil des hinteren Kreuzbandes, erscheinen regelrecht dargestellt und weisen keine sichtbaren Auffälligkeiten, die auf eine Pathologie hinweisen könnten, auf. Das vordere Kreuzband kann in der sonografischen Untersuchung nicht abgebildet und somit nicht beurteilt werden.

Am gleichen Tag wurde eine MRT-Untersuchung durchgeführt. Der MRT-Befund bestätigte eine Diskontinuität des Bandes am femoralen Ursprung des Lig. collaterale laterale sowie die Bakerzyste. Jedoch präsentierte sich eine vollständige Konturunterbrechung des vorderen Kreuzbandes im proximalen Drittel mit einer Dehiszenz der Bandstümpfe von ca. 4 mm, vereinbar mit einer Bandruptur. Ebenfalls zeigte sich ein posttraumatisch bedingtes Bone-Bruise-Areal am lateralen Tibiakondyl dorsalseitig und eine Diskontinuität der meniskopoplitealen Faszikel auf Höhe des vorbeschriebenen Bone-Bruise-Areals, vereinbar mit einem Faszikelriss.

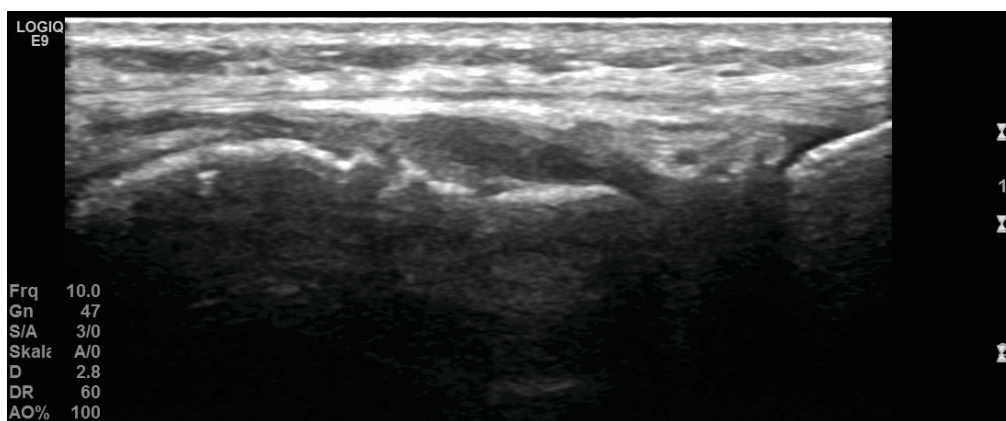


Abbildung 34: In der Darstellung des Lig. collaterale laterale zeigt sich eine hyperechogene Struktur mit inhomogen erscheinender Corticalis
Quelle: Eigene Darstellung

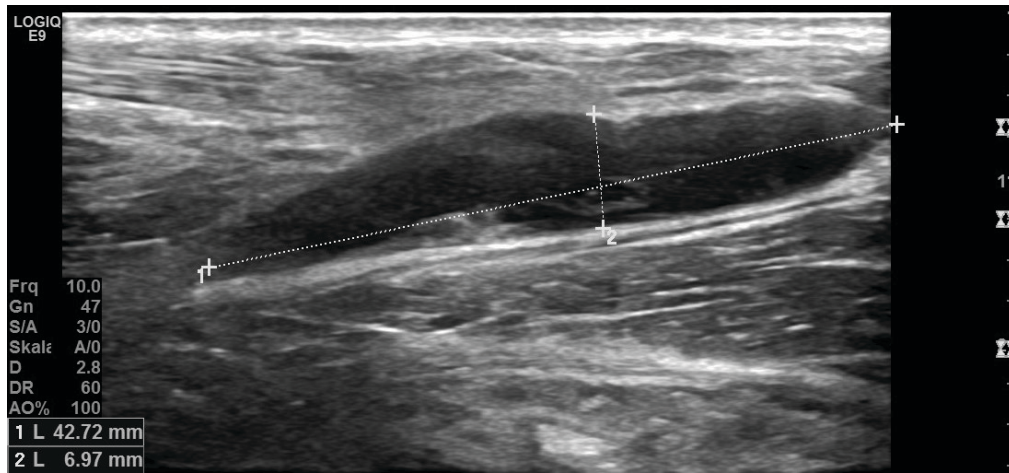


Abbildung 35: Bakerzyste mit einer Größe von 4,2 x 0,6 x 2,1 cm mit partiell hyperechogenem Inhalt und verdickter Wand
Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 36: In der MRT-Untersuchung zeigte sich deutlich eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes im proximalen Drittel sowohl in koronarer (links), als auch in sagittaler Schnittebene (rechts)
Quelle: Eigene Darstellung

3.6. Pathologien des Ellenbogengelenks

3.6.1. Anatomie des Ellenbogengelenks

Das Ellenbogengelenk stellt ein kompliziertes Gelenk dar, das sich aus 3 einzelnen Gelenken zusammensetzt. Eines davon ist die *Articulatio ulnohumeralis*, ein Scharniergelenk, das hauptsächlich für die Stabilität verantwortlich ist und wodurch die Flexion und Extension im Ellenbogengelenk gewährleistet wird. Die anderen beiden Gelenke, *Articulatio radiohumeralis* und *Articulatio radioulnaris* sind Zapfengelenke, die eine axiale Rotation des Unterarmes und dadurch die Pronations- und Supinationsbewegungen im Gelenk zulassen. (35)

3.6.2. Untersuchungstechnik und sonografische Darstellung

Die Ultraschalluntersuchung des Ellbogengelenks sollte an sitzenden Patienten*innen mit einem hochfrequenten Schallkopf erfolgen. Um die Untersuchung zu erleichtern, kann man das Gelenk in 4 anatomische Kompartimente, nämlich in einen anterioren, medialen, lateralen und posterioren Ellenbogen, unterteilen. Im anterioren Ellenbogen können als Strukturen die distale Bizepssehne und distale Anteile des Bizepsmuskels, der *Musculus brachialis*, der *Nervus medianus* und der anteriore Recessus abgebildet werden. Im lateralen Ellenbogenkompartiment sind der gemeinsame Ursprung der Extensoren-Muskeln, der Radiuskopf und Recessus annularis, der *Nervus radialis* und der laterale Kollateralbandkomplex zu finden. Der anteriore Anteil des ulnaren Kollateralbandes und der gemeinsame Ursprung der Flexoren können im medialen Ellenbogen untersucht werden. Zu den im posterioren Ellenbogen gehörenden Strukturen zählen die Trizepssehne und distale Anteile des Trizepsmuskels, der *Nervus ulnaris*, der posteriore Recessus und die *Bursa olecrani*. (36)

3.6.3. Fallpräsentation: Pathologie der Bursa olecrani

Die Bursa olecrani ist eine oberflächlich gelegene Bursa, deren Boden auf dem Olecranon und der Trizepssehne liegt und deren Dach schwach mit dem darüber liegenden Gewebe verbunden ist. Neben der Bursa präpatellaris stellt die Bursa olecrani die häufigste klinisch relevante Bursa dar, da sie aufgrund ihrer Lokalisation häufig Infektionen aufweist. Grund dafür sind meistens Traumata oder prolongierter Druck, der auf den Schleimbeutel ausgeübt wird, was zu einer akuten Bursitis führen kann. Auch chronische Entzündungen durch systemische Regulationsstörungen, wie bei rheumatoiden Arthritiden, sind möglich. Letztendlich kann auch eine septische Bursitis, beispielsweise durch den Eintritt von Erregern durch eine Hautläsion, entstehen. (37)

Zu einer Ultraschalluntersuchung des rechten Ellenbogengelenkes wird ein 51-jähriger Patient mit Schmerzen und einer Schwellung im Bereich des Ellenbogens vorgestellt.

In der Untersuchung zeigt sich eine ca. 1 x 3,5 x 0,9 cm große distendierte und subseptierte Bursa olecrani rechts ohne Hypervaskularisationszeichen. Während der Untersuchung liegt kein Hinweis auf eine Superinfektion vor.

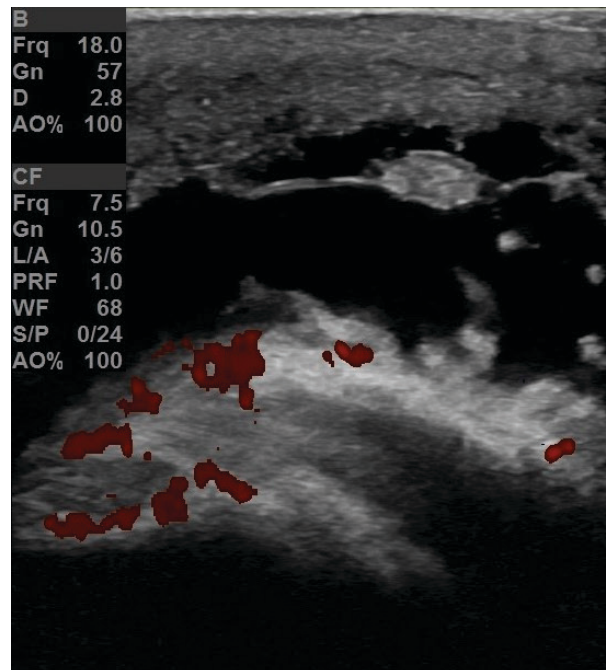


Abbildung 37: In der Doppler-Untersuchung zeigen sich keine Hypervaskularisationszeichen
Quelle: Eigene Darstellung

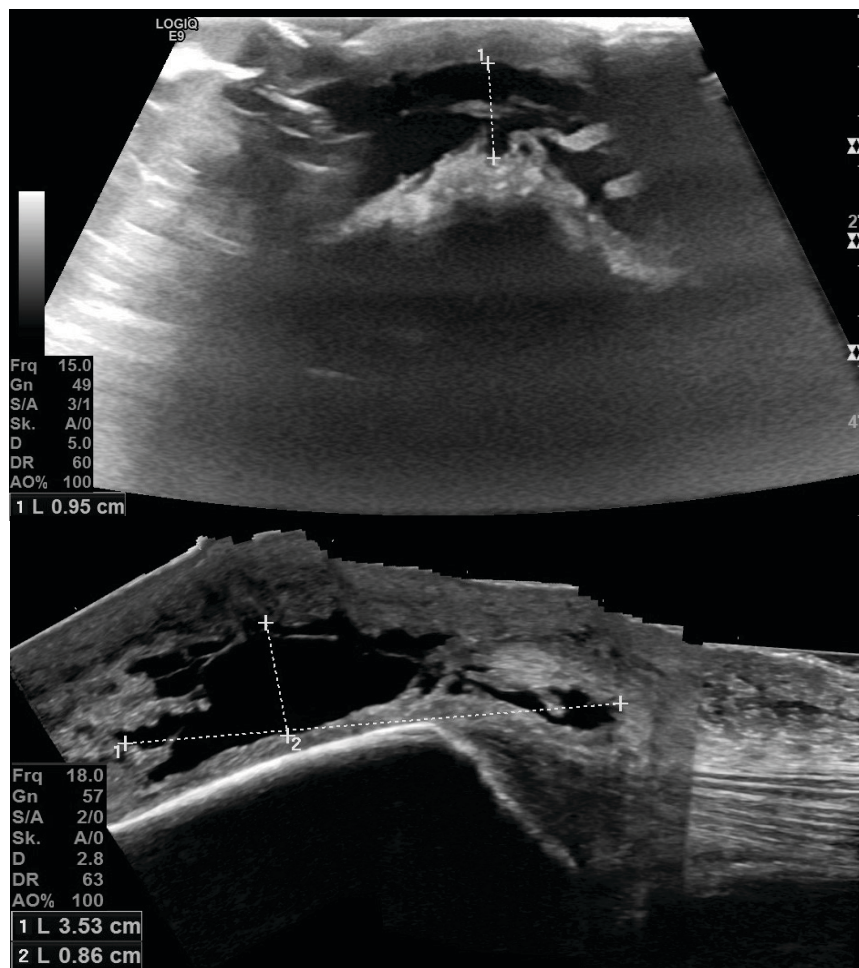


Abbildung 38: Distendierte und subseptierte Bursa olecrani mit einer Größe von ca. 1 x 3,5 x 0,9 cm
Quelle: Eigene Darstellung

3.7. Pathologien des Handgelenks

3.7.1. Anatomie des Handgelenks

Das Handgelenk setzt sich aus dem distalen Ende von Radius und Ulna, den proximalen Basen der fünf Metakarpalknochen und den dazwischenliegenden acht Handwurzelknochen zusammen. Diese Handwurzelknochen werden in eine distale und in eine proximale Reihe eingeteilt. An der proximalen Reihe inserieren keine Ligamente und ihre Bewegungen entstehen ausschließlich durch die mechanischen Kräfte der Artikulationen in ihrer Umgebung. Die Knochen, welche die distale Reihe bilden, sind fest durch interkarpale Ligamente miteinander verbunden. (38)

Der Karpaltunnel beschreibt einen Raum zwischen dem konkaven Bogen, den die Handwurzelknochen bilden, und dem Ligamentum carpi transversum (Retinaculum flexorum). Durch den Karpaltunnel verlaufen zehn Strukturen: vier Sehnen des M. flexor digitorum superficialis, vier Sehnen des M. flexor digitorum profundus, die Sehne des M. flexor pollicis longus und der Nervus medianus, der die am meisten oberflächlich gelegene Struktur des Karpaltunnels darstellt. (39)

3.7.2. Untersuchungstechnik und sonografische Darstellung

Um eine ausführliche Untersuchung der Handgelenks-Strukturen durchführen zu können, sind eine hohe Auflösung (≥ 12 Mhz) und ein linearer Schallkopf mit einer großen Bandbreite notwendig. (40)

Während der Untersuchung sitzen sich Patient*in und Untersucher*in gegenüber und die zu untersuchende Hand soll auf einer ebenen Fläche abgelegt werden. Um die jeweiligen anatomischen Strukturen besser abbilden zu können, kann bei einer Untersuchung der volaren Strukturen eine milde Dorsalflexion und bei einer Untersuchung der palmaren Strukturen eine milde Palmarflexion notwendig sein. Durch das Verwenden einer großzügigen Menge an Ultraschall-Gel lassen sich die Weichteilstrukturen des Handgelenks optimal darstellen. (40)

3.7.3. Karpaltunnelsyndrom

Das Karpaltunnelsyndrom ist definiert durch eine Kompression des N.medianus, während dieser durch den Karpaltunnel wandert. Dies führt in der Regel zu Parästhesien und Schmerzen in jenen Regionen, die der betroffene Nerv innerviert. Diese Regionen beinhalten jeweils die Palmarseite des Daumens, des Zeigefingers und des Mittelfingers sowie die radiale Hälfte des Ringfingers. Die Symptome können aber auch zusätzlich im Handgelenk oder an der gesamten Hand auftreten, ebenfalls sind eine Ausstrahlung in den Unterarm und selten in die Schulter möglich. Betroffene Patient*innen wachen oftmals mit den Beschwerden auf und erreichen eine Linderung durch Ausschütteln der Hand. (41)

Das Karpaltunnelsyndrom ist unter den peripheren Nervenkompressions-Syndromen das häufigste und wird vor allem durch die charakteristische Klinik und durch Nervenleitgeschwindigkeitstests diagnostiziert. Bei diesen Tests kommt es jedoch häufig zu falsch negativen und falsch positiven Ergebnissen. Weiters sind sie im Vergleich mit einer Ultraschalluntersuchung teurer, zeitaufwändiger sowie invasiv und damit für Patienten*innen unangenehmer. Außerdem kann man auf diese Weise nicht unterscheiden, ob es sich um ein primäres oder sekundäres Karpaltunnelsyndrom handelt. Sekundäre Karpaltunnelsyndrome können durch Knochendeformitäten, Sehnenscheidenentzündungen der Flexoren, Ganglionzysten oder Tumoren verursacht werden. (42)

Mit der Hilfe von Ultraschall lassen sich sowohl der Karpaltunnel als auch der Nervus medianus gut abbilden, beurteilen und es können auch sekundäre Ursachen bestätigt oder ausgeschlossen werden. Es gibt verschiedene Parameter, die auf die Diagnose eines Karpaltunnelsyndroms hinweisen könnten. Die meisten Studien sind der Annahme, dass die sogenannte cross-sectional area (CSA), die Querschnittsfläche des Nervus medianus, den besten Parameter zur Diagnosestellung darstellt. Dieser Wert kann entweder proximal des Karpaltunnels (CSAp) oder im Karpaltunnel (CSAd) gemessen werden. Die Cut-off-Werte für den CSAp sind in durchgeführten Studien unterschiedlich, variieren jedoch zwischen 10-14 mm². Auch die Cut-off-Werte für den CSAd variieren in unterschiedlichen Studien. Dies ist dadurch erklärbar, dass zum einen die Größe des N. medianus von der Körpergröße der Patient*innen abhängig ist um zum anderen eine anlagebedingte, physiologische Variabilität bezüglich des Querschnittsdurchmessers besteht. Weitere Parameter, die auf das Vorliegen eines KTS hinweisen könnten, sind die flattening ratio (FR) des Nervs, wobei hier auf die Abflachung des Nervs im Ultraschallbild geachtet wird,

das Volumen des Karpaltunnels, die Echogenität und Durchblutung des Nerves und das sogenannte palmar retinacular bowing (BR), die Wölbung des Retinaculum flexorum manus. (42)

3.7.4. Fallpräsentation: Karpaltunnelsyndrom

Zur Sonografie der linken Hand stellt sich ein 42-jähriger Patient mit dem Verdacht auf ein Karpaltunnelsyndrom-Rezidiv vor. Ein KTS links wurde erstmalig vor 3 Jahren diagnostiziert und es wurde anschließend bei fehlendem Ansprechen auf konservative Maßnahmen in einem chirurgischen Eingriff die Durchtrennung des Lig. carpi transversum durchgeführt. Dies führte zu einer kompletten Beschwerdefreiheit, nun bestehen aber wieder KTS-typische Symptome seit ca. 3 Monaten. In der Patientengeschichte ist auch ein Diskusprolaps C5/C6 vorbekannt. Um Seitendifferenzen zu erkennen, wurde auch die beschwerdefreie rechte Hand sonografisch untersucht.

In der Untersuchung zeigt sich im Seitenvergleich eine Asymmetrie des Querschnittsareals des N. medianus (CSA) links vs. rechts mit 11mm^2 vs. 9mm^2 . Der N. medianus rechts imponiert in der sagittalen Darstellung in seinem gesamten Verlauf hyperechogen mit erhaltenen Binnenechos und verdicktem Perineum. Der linke N. medianus erscheint in der sagittalen Abbildung hypoechogen, weist einen Sagittaldurchmesser von 2,3 mm auf und imponiert damit chronisch neuropathisch verändert. In der Darstellung des durchtrennten Lig. carpi transversum (max. 3 mm breiter Defekt sichtbar) ist nur wenig, bis an die Haut reichendes, Narbengewebe sichtbar. Der linke N. medianus wird somit nicht durch das von der Operation entstandene Narbengewebe komprimiert, es zeigen sich jedoch kleine Konturirregularitäten des Perineums. Es liegt kein Nachweis einer Ganglionzyste vor.

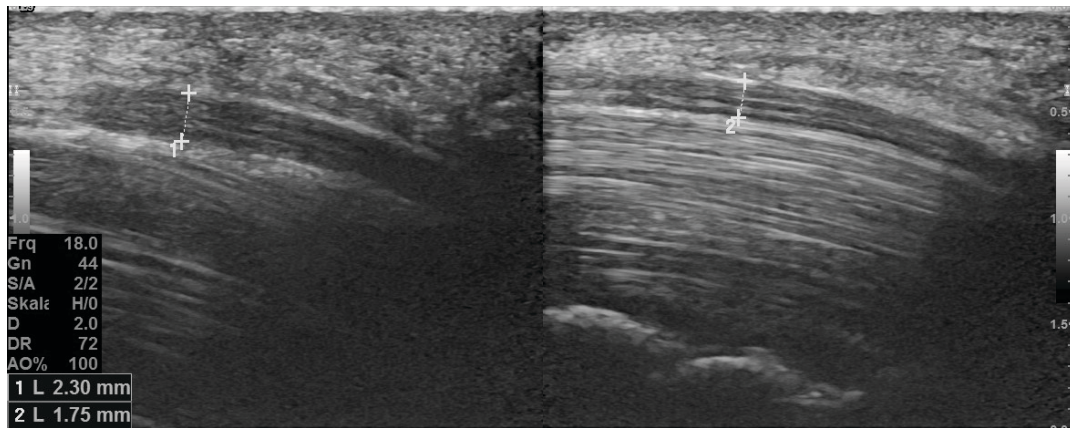


Abbildung 39: Vergleich sagittale Darstellung des N. medianus links vs. rechts
Quelle: Eigene Darstellung

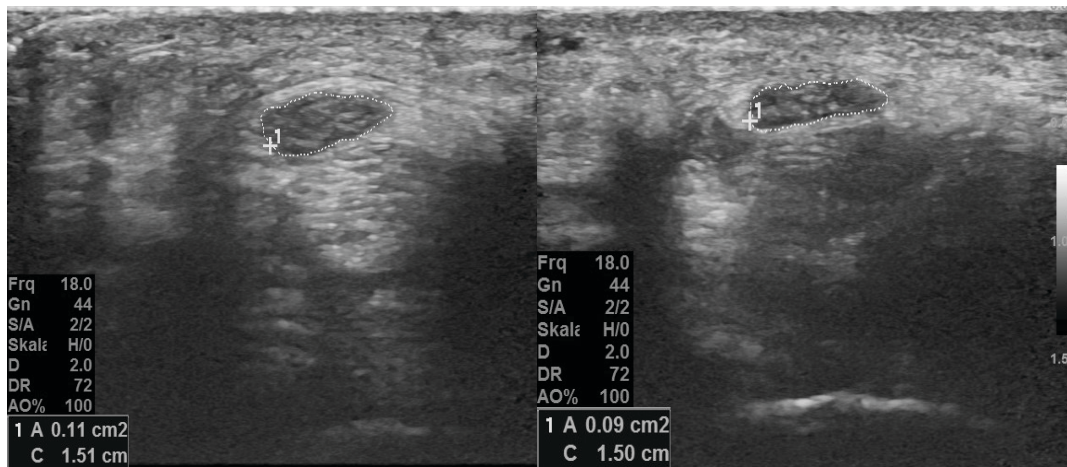


Abbildung 40: Vergleich CSA N. medianus links vs. rechts
Quelle: Eigene Darstellung

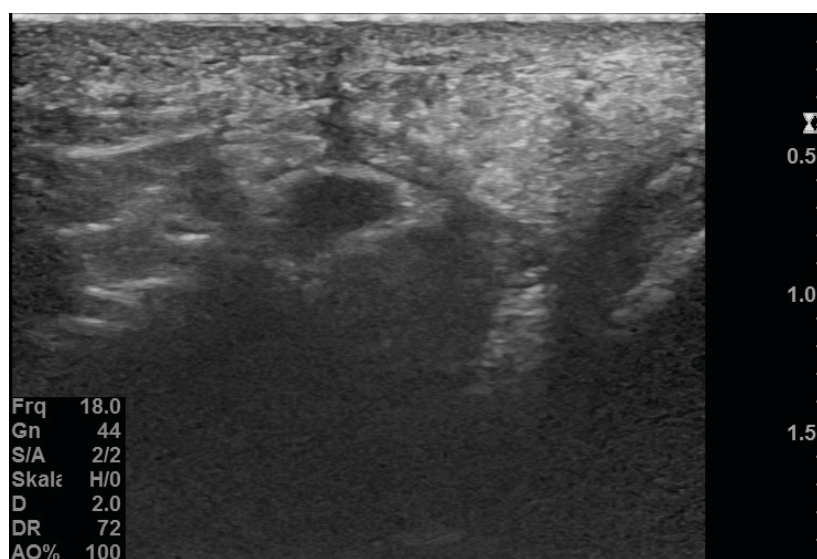


Abbildung 41: Gespaltenes Lig. carpi transversum mit wenig Narbengewebe -
dadurch ist eine Komprimierung des Nervs durch das Narbengewebe nicht gegeben
Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenfassung: Sonografisch liegen in erster Linie Zeichen einer chronischen Neuropathie des N. medianus links mit anamnestisch bekanntem Zustand nach Prolaps der Bandscheibe C5/C6 links vor. Der linke N. medianus imponiert mit einem CSA-Wert von 11 mm² verdickt, es zeigt sich jedoch sonografisch kein eindeutiger Rezidivnachweis eines KTS.

In einer anschließenden Elektromyographie-Untersuchung lässt sich ein leichtgradiges Karpaltunnelsyndrom links nachweisen.

Elektrophysiologische Untersuchungen liefern aber in bis zu 15% der Fälle falsch positive Ergebnisse. (42)

Es lässt sich sagen, dass die Sonografie in Bezug auf Patientenkomfort, Verfügbarkeit und im Erkennen von sekundären Ursachen eines KTS einer EMG-Untersuchung deutlich überlegen ist. Dennoch müssen die diagnostischen Kriterien optimiert werden, um die Sonografie als primäres Untersuchungsverfahren in der Diagnostik des Karpaltunnelsyndroms etablieren zu können. Zurzeit scheint die Kombination aus dem Vorliegen von KTS-typischen Symptomen und einer positiven EMG-Untersuchung die akkurateste Diagnose eines Karpaltunnelsyndroms zu liefern. (42)

3.8. Muskuloskeletale Tumore

3.8.1. Guidelines der European Society of Musculoskeletal Radiology (ESSR)

Weichteiltumore stellen eine vielfältige Gruppe von verschiedenartigen Entitäten dar und zählen zu den seltenen Tumorerkrankungen. Eine frühe und genaue Diagnosestellung und eine angemessene Therapie sind für Verlauf und Prognose essenziell. Hierfür wurden die „European Society of Musculoskeletal Radiology (ESSR) Guidelines“ erstellt, um Radiologen*innen in diagnostischen Entscheidungen zu unterstützen. Diese Guidelines werden regelmäßig überarbeitet und beinhalten verschiedene diagnostische Strategien. (43)

Für den Untersucher/die Untersucherin sind Vorerkrankungen der Patienten*innen in Form von einer gezielten Anamnese zu erheben. Dazu sollten folgende Informationen erhoben werden:

- Hat ein Trauma stattgefunden?
- Werden blutgerinnungshemmende Medikamente eingenommen?
- Wann wurde die verdächtige Läsion erstmalig bemerkt? Ist sie in ihrer Größe zunehmend? Wenn ja, wie schnell?
- Verändert sich die Läsion in ihrer Größe? (z.B. bei Positionsveränderungen, Muskelkontraktion/Muskelrelaxation)
- Gab es onkologische Erkrankungen in der Patientengeschichte? (Maligne Erkrankungen, Chemotherapie oder Strahlentherapie)
- Wurden an der Stelle der Läsion bereits Operationen durchgeführt? (43)

Ebenfalls sollte vor der primären Bildgebung eine Palpation durchgeführt und die klinischen Symptome des Patienten/der Patientin evaluiert werden. In der Palpation ist zu beurteilen, ob die Läsion hart oder weich imponiert, ob sie gegen die Haut und dem sich darunter befindenden Gewebe verschieblich ist, ob Hautveränderungen oder pathologische Gefäßzeichnungen im Bereich der Läsion ersichtlich sind und ob es eventuell weitere Läsionen gibt. Während der Palpation ist außerdem zu erfragen, ob Schmerzen während der Untersuchung auftreten. Eine klinisch auf Malignität suspekta Läsion ist durch die

Merkmale „tief, hart, mit der Haut bzw. dem darunter liegenden Gewebe fixiert, und Größe über 5 cm“ charakterisiert. (43)

Suspektierte Weichteiltumore kommen im klinischen Alltag häufig vor, sollten aber dennoch in den meisten Fällen in einem bildgebenden Verfahren diagnostisch abgeklärt werden. Die am besten geeignete Modalität stellt hierfür eine Ultraschall-Untersuchung dar, sollte eine Abbildung der Läsion sonografisch möglich sein. Untersucher*innen sollen viel Erfahrung in der sonografischen Beurteilung von Weichteilläsionen haben. Das Vorliegen eines Weichteiltumors kann somit bestätigt werden, das Erkennen von charakteristischen Merkmalen ist jedoch eingeschränkt. Auch eine intraartikuläre oder ösäre Mitbeteiligung kann nicht zuverlässig nachgewiesen werden. Obwohl mit einer sonografischen Diagnostik auch kleine Läsionen exzellent abgebildet werden können, ist das Übersehen von Läsionen in tief liegenden Geweben möglich. Zusätzlich bietet diese Untersuchungsmodalität aufgrund ihrer hohen Verfügbarkeit, den geringen Kosten und der fehlenden Strahlenbelastung weitere Vorteile. Das Vorhandensein von hoch-auflösenden Schallköpfen und Farb- bzw. Power Doppler zählt zu den vorausgesetzten Standards in der Diagnostik von Weichteiltumoren (43).

Folgende Eigenschaften der zu untersuchenden Läsion sollen im Ultraschall beschrieben werden:

1. Lage des Tumors im Verhältnis zur Faszie (oberflächlich/tief) mit exakter anatomischer Lokalisation und der Nahebeziehung sowie Infiltration zu Gefäßen und Nerven
2. Größe der Läsion in drei Dimensionen gemessen
3. Morphologie des Tumors: solide, zystisch, Form, Ränder, Vaskularisation, Vorhandensein von Nekrosen, Blutungen, Artefakte wie Schallschattenartefakte (43)

Kriterien für eine benigne Läsion:

- Einfache Zyste, Bursa, Synoviale Zyste (Ganglionzyste): rein zystische, gut begrenzte, anechogene Läsion mit posteriorer Schallverstärkung ohne solide Komponenten oder intraläsionaler Vaskularisation
- Superfizielles Lipom: homogene, gekapselte, gut begrenzte und komprimierbare Läsion ohne klinische Auffälligkeiten und nachgewiesener Größenstabilität mittels Sonografie (Verlaufskontrolle für mindestens 6 Monate)

- Vaskuläre Malformation ohne klinische Beschwerden und nachgewiesener Größenstabilität mittels Sonografie (Verlaufskontrolle für mindestens 6 Monate)
- Fremdkörpergranulom mit vereinbarer Patientenhistorie
- Superfizielle Fibromatose: z.B. Palmar- oder Plantarfibromatose
- Muskelhernien
- Morton Neurom
- Periphere Nervenscheidentumoren nur bei bestätigter Neurofibromatose zur Detektion und zur Überwachung von typischen Neurofibromen. Bei Schmerzen sollen zusätzliche Untersuchungen durchgeführt werden. (43)

Kriterien für sonografische Verlaufskontrollen:

- Vermutliche posttraumatische Hämatome oder Verlaufskontrollen bei Muskelrissen (Intervall größenabhängig, ca. 3-6 Wochen)
- Verlaufskontrolle oder präoperative Einstufung einer Weichteilmasse, die zuvor in einer MRT-Untersuchung beschrieben wurde. (43)

Kommt es in der Ultraschall-Untersuchung zu auffälligen Ergebnissen, sollte eine MRT-Untersuchung zur weiteren Diagnostik durchgeführt werden. Auffälligkeiten, die diese Maßnahme erfordern, sind Tumore mit einer Lokalisation unterhalb der superfiziellen Faszie oder superfiziell gelegene Tumore, bei denen ein Überschreiten der superfiziellen Faszie nicht ausgeschlossen werden kann, Tumore mit einer Größe von über 5cm, Tumore, die nicht eindeutig in der Sonografie als benigne beurteilt werden können oder nicht eindeutig abgebildet werden können sowie Läsionen, die sich an Stellen befinden, an denen zuvor bereits eine Exzision durchgeführt wurde. Sollte klinisch bereits ein dringender Verdacht auf Malignität vorhanden sein, kann auch bereits initial eine MRT-Untersuchung veranlasst werden. Außerdem stellt die MRT bei abdominalen, pelvinen, retroperitonealen und paravertebralen Weichteiltumoren die am besten geeignete Untersuchungsmodalität dar. Liegt eine Kontraindikation für eine MRT vor, soll stattdessen eine CT-Untersuchung durchgeführt werden. (43)

Die Biopsie einer verdächtigen Läsion ist dann indiziert, wenn sie in den vorherigen bildgebenden Untersuchungen nicht genau bestimmt werden konnte oder die Möglichkeit einer Malignität besteht. Die Durchführung sollte in Sarkomzentren durchgeführt werden, in denen auch eine mögliche definitive Therapie im Falle einer Malignität

angeboten werden kann. In den meisten Fällen ist die geschlossene bildgestützte Biopsie der Standard. Diese Biopsieform ist minimal invasiv, genau und benötigt keine Vollnarkose und keinen stationären Krankenhausaufenthalt. Die Unterstützung mit Hilfe von Ultraschall wird hierzu, vor allem bei superfiziell gelegenen, homogenen und kleinen Läsionen, vorgeschlagen. Bei intrathorakal, intraabdominellen oder pelvinen Läsionen sollte die Biopsie MRT- oder CT-gezielt durchgeführt werden.

Um vitales Tumorgewebe im Ultraschall zu erkennen, sollte die Biopsie mit Hilfe einer Farbdoppler-Sonografie durchgeführt werden. In der ESSR-Guideline wird eine Biopsie-Nadelgröße von 14G – 16G und die Entnahme von mehr als drei oder vier Gewebeprobe empfohlen. Die Biopsie sollte von trainierten Radiologen*innen durchgeführt werden. (43)

3.8.2. Fallpräsentation: Lipome (ohne Biopsie)

Bei einem 64-jährigen Patienten wird eine Sonografie des Beckens beidseits aufgrund von 2 vorbeschriebenen, in erster Linie subkutan gelegenen Läsionen, durchgeführt. In der Untersuchung zeigen sich zwei subkutan gelegene, hyperechogene, gut vom umgebenden Gewebe abgrenzbare Läsionen auf Höhe der Spina iliaca beidseits mit einer Ausdehnung von 12 x 3 x 8 mm links und 9 x 3 x 5 mm rechts ohne Hypervaskularisationszeichen intraläsional, in erster Linie Lipomen entsprechend.

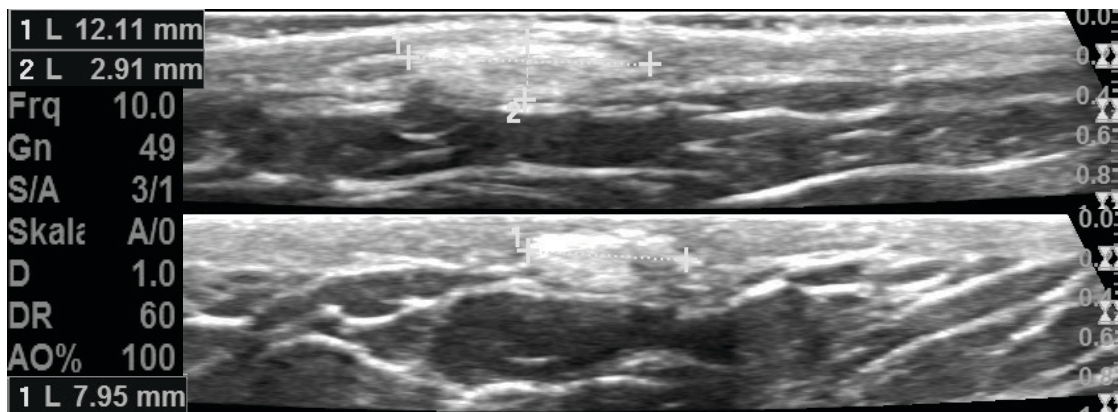


Abbildung 42: Läsion links mit einer Länge bzw. Breite von ca. 12 x 3 x 8mm.
Quelle: Eigene Darstellung

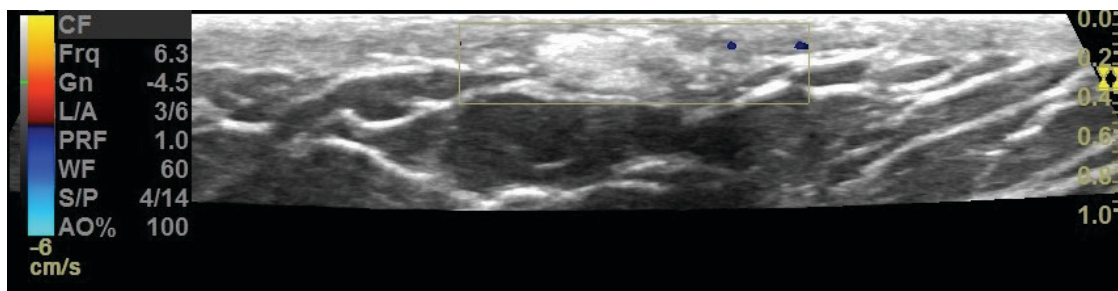


Abbildung 43: Keine Hypervaskularisationszeichen
Quelle: Eigene Darstellung

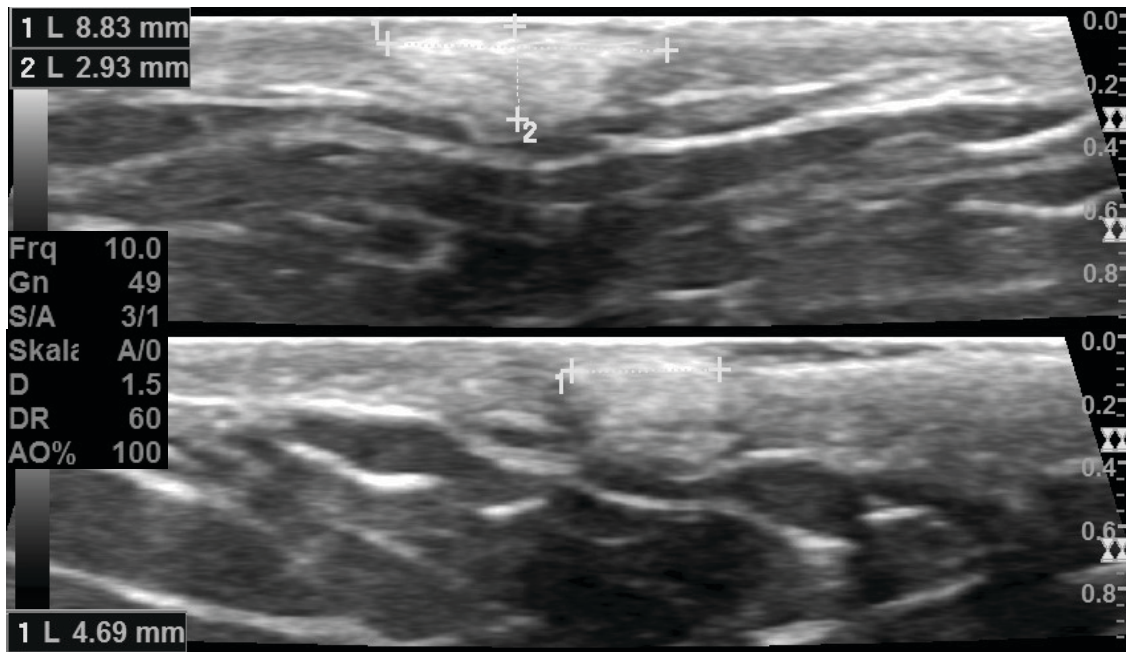


Abbildung 44: Hyperechogene, gut abgrenzbare und subkutan gelegene Läsion mit einer Größe von ca. 9 x 3 x 5 mm

Quelle: Eigene Darstellung



Abbildung 45: Keine Hypervaskularisationszeichen

Quelle: Eigene Darstellung

Empfehlung: Bei klinischer Relevanz und Größenzunahme der Läsionen ist eine weiterführende Abklärung mittels MRT-Untersuchung bzw. Histologie empfohlen.

3.8.3. Fallpräsentation: Lipom mit Biopsie

Eine Ultraschall-Untersuchung der rechten Schulter wird bei einem 48-jährigen Patienten aufgrund eines seit längerer Zeit bestehenden Weichteiltumors durchgeführt. In der Untersuchung zeigt sich eine über der rechten Scapula gelegene, fettige Expansion, die lediglich 3 mm unter der Hautoberfläche in der Subcutis liegt. Diese Lage macht die Durchführung einer Ultraschall-gezielten Biopsie der Läsion technisch möglich.

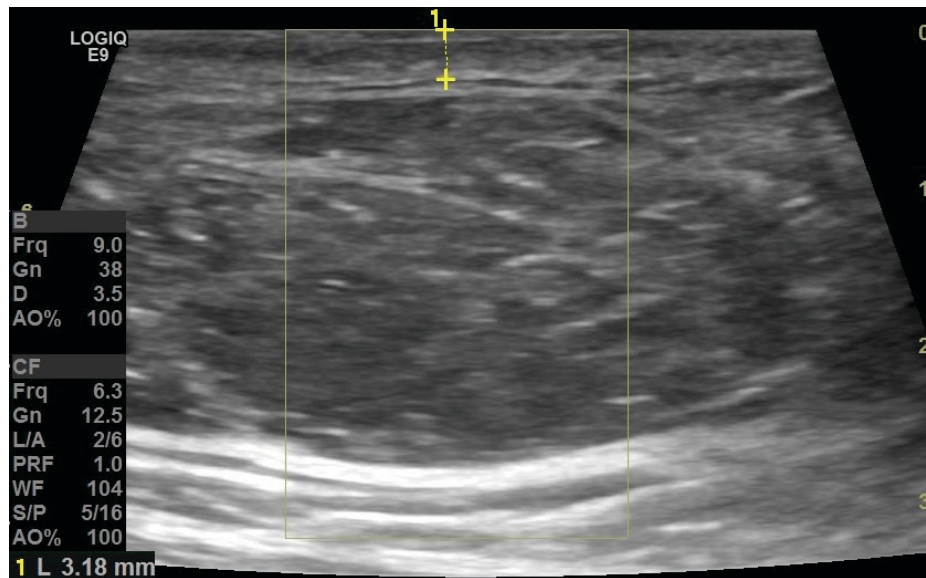


Abbildung 46: Darstellung Schulter rechts: Lage der Läsion lediglich 3 mm unter der Hautoberfläche

Quelle: Eigene Darstellung

2 Wochen später wird eine komplikationslose Ultraschall-gezielte Biopsie der fetthaltigen Läsion ohne solide Anteile durchgeführt. Es werden 4 Gewebeproben entnommen. Nach dem Eingriff ist kein Hämatom nachweisbar.

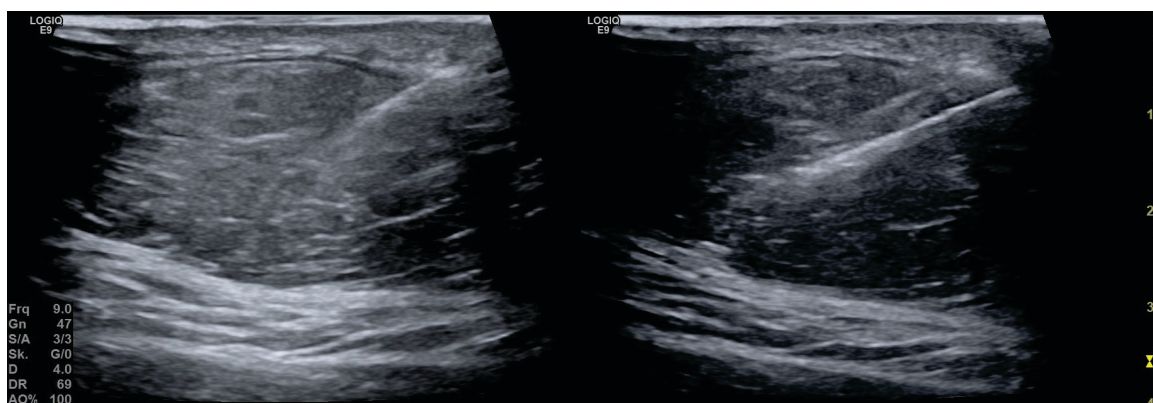


Abbildung 47: Darstellung Schulter rechts: Probeentnahme mittels Ultraschall-gezielter Biopsie

Quelle: Eigene Darstellung

Histopathologischer Befund: Stanzbiopsiezyylinder mit Fettgewebnsnekrosen, grundsätzlich vereinbar mit einem Lipom. An der vorliegenden Stanze kein Hinweis auf einen atypischen lipomatösen Tumor.

3.8.4. Fallpräsentation: Liposarkom

Bei einem 69-jährigen Patienten wurde in einer MRT-Untersuchung eine fettige Expansion des rechten Oberarms abgebildet. Es besteht der Verdacht auf ein Liposarkom. In der Ultraschalluntersuchung zeigt sich eine heterogene, scharf abgrenzbare, lediglich 4 mm unter der Hautoberfläche befindliche Läsion mit einer Größe von ca. 3,6 x 2,7 cm und einer kraniokaudalen Ausdehnung von ca. 22 cm ohne Hypervaskularisationszeichen. Eine Ultraschall-gezielte Biopsie ist technisch möglich.

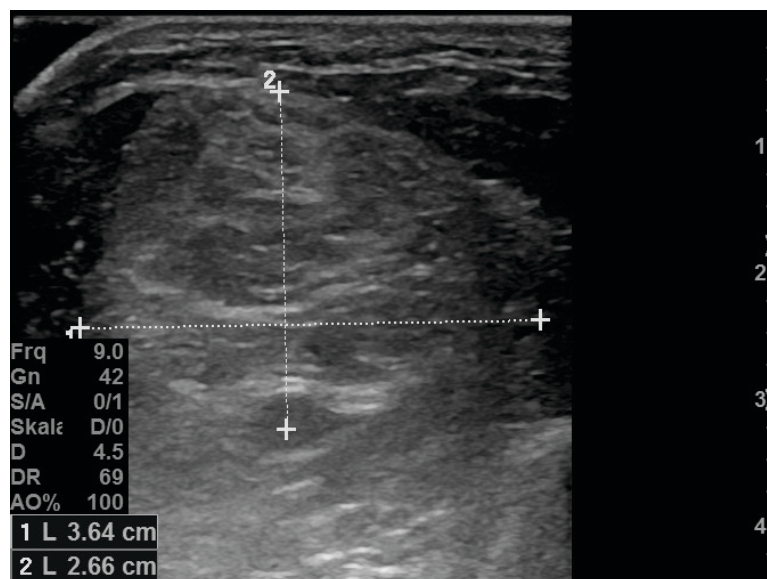


Abbildung 48: Darstellung distaler Oberarm rechts: heterogene, scharf begrenzte Läsion mit 3,6 x 2,7 cm
Quelle: Eigene Darstellung

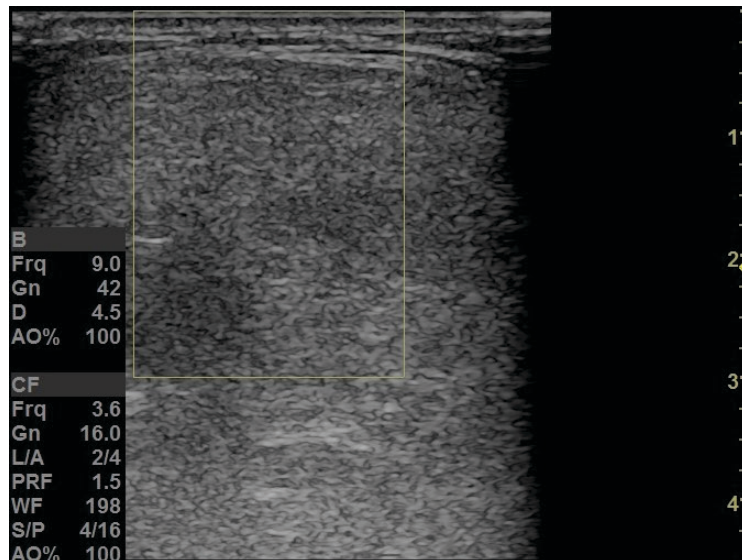


Abbildung 49: Darstellung distaler Oberarm rechts: Die Läsion zeigt keine Hypervaskularisationszeichen
 Quelle: Eigene Darstellung

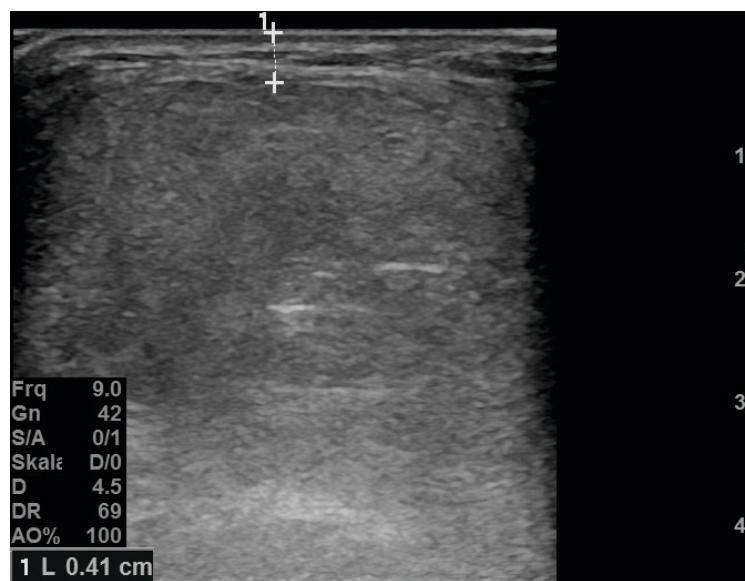


Abbildung 50: Darstellung distaler Oberarm rechts: Die Läsion liegt nur 4 mm unterhalb der Hautoberfläche
 Quelle: Eigene Darstellung

Ca. 2 Wochen später wird eine komplikationslose Biopsie der fetthaltigen Läsion ohne solide Anteile durchgeführt. Nach dem Eingriff ist kein Hämatom nachweisbar.

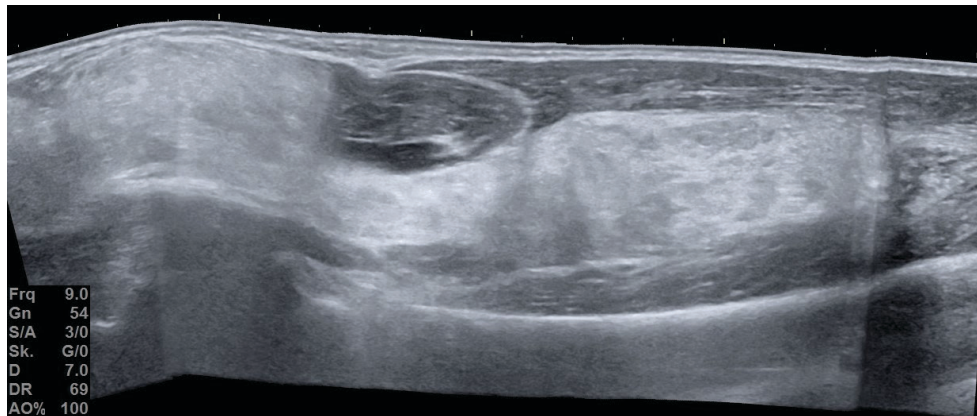


Abbildung 51: Darstellung distaler Oberarm rechts: Kraniokaudale Ausbreitung der Läsion

Quelle: Eigene Darstellung.

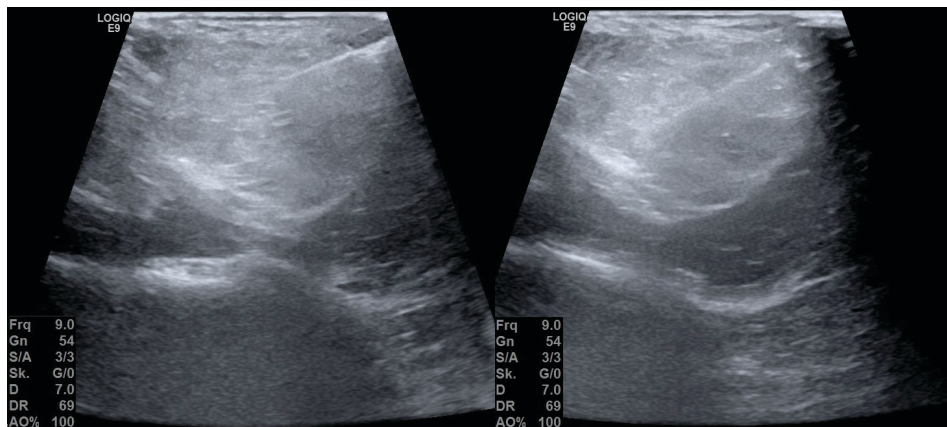


Abbildung 52: Darstellung distaler Oberarm rechts: Probeentnahme mittels Ultraschall-gezielter Biopsie

Quelle: Eigene Darstellung

Histopathologischer Befund: Stanzbiopsiezylinder mit lipomatösem Tumorgewebe mit fokalen zytologischen Atypien sowie Einzelzellen mit MDM2-Amplifikation – in erster Linie einem Liposarkom entsprechend.

3.8.5. Fallpräsentation: Sarkom

Bei einer 59-jährigen Patientin fiel in einer Kontrolluntersuchung bei St.p. Oberschenkelamputation links 2005 aufgrund eines epitheloidzelligen Sarkoms eine suspektere Läsion inguinal links auf. Es wird eine Sonografie der Inguinalregion links mit anschließender Ultraschall-gezielter Biopsie der Läsion durchgeführt.

Es zeigt sich eine ca. 2,4 x 1,6 cm große, echoarme Läsion ohne Hypervaskularisationszeichen, die sich ca. 1,8 cm unter der Hautoberfläche befindet. Ein Gewebezylinder wird zur histopathologischen Aufarbeitung über einen Zugang von links ventral entnommen.

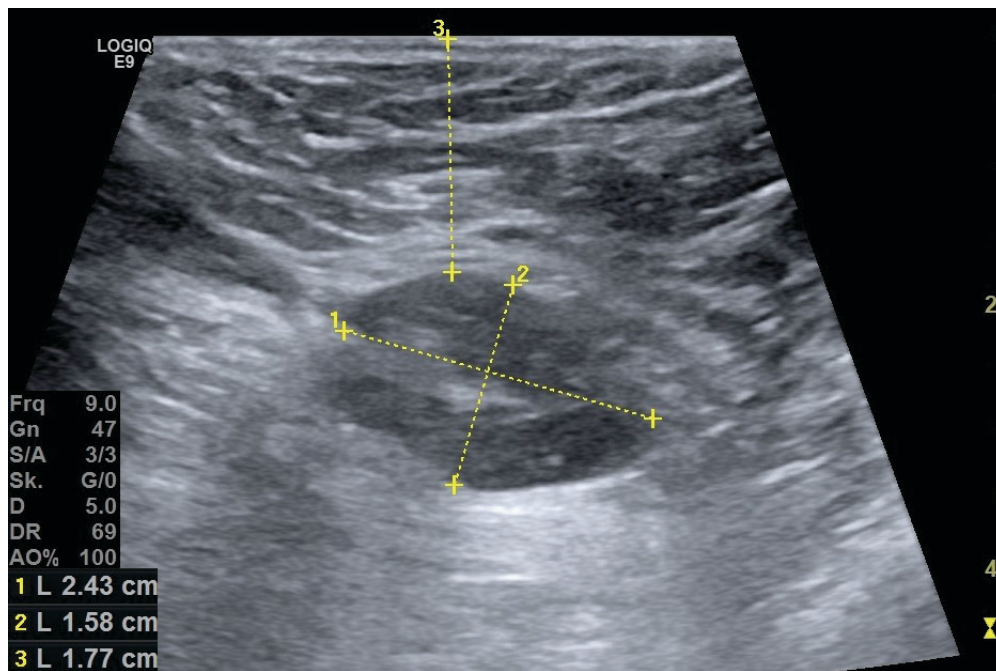


Abbildung 53: Darstellung Inguinalregion links: Die suspektere, hypoechoene Läsion weist eine Größe von ca. 2,4 x 1,6 cm auf und befindet sich ca. 1,8 cm unter der Hautoberfläche
Quelle: Eigene Darstellung

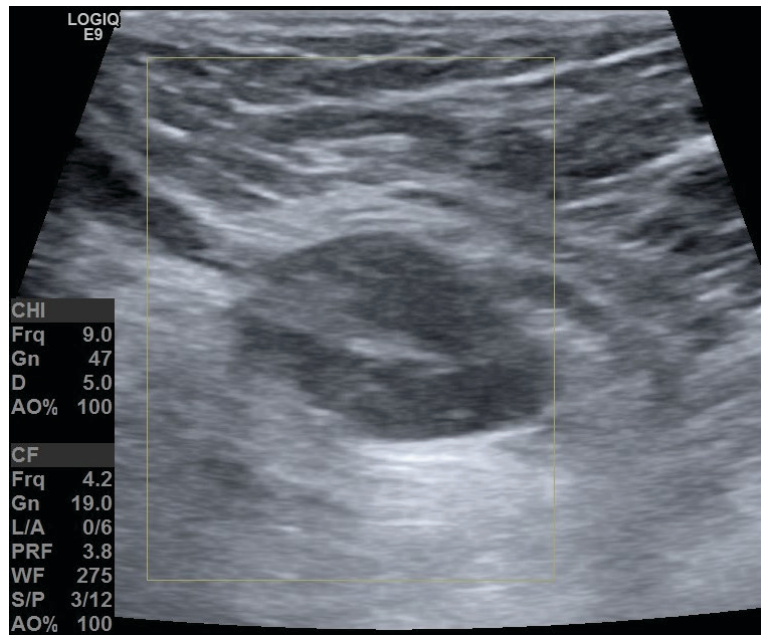


Abbildung 54: Die Läsion weist keine Hypervaskularisationszeichen auf
Quelle: Eigene Darstellung

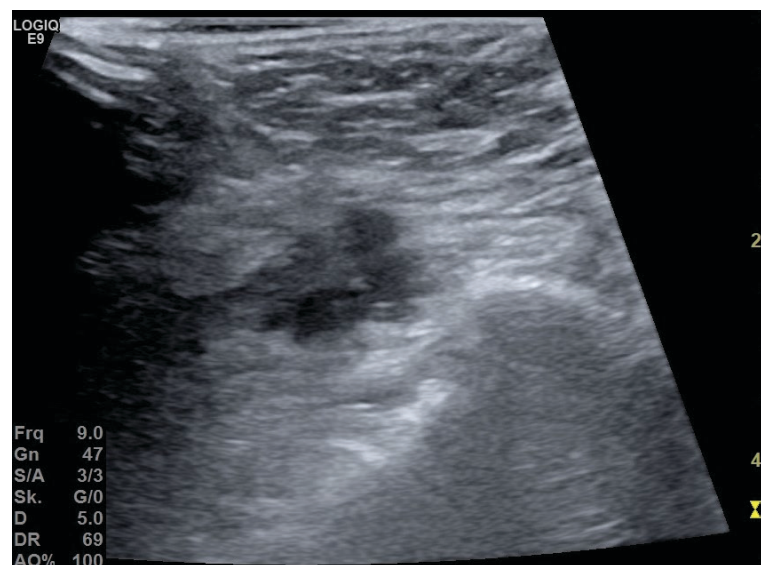


Abbildung 55: Darstellung Inguinalregion links: Probeentnahme mittels Ultraschall-gezielter Biopsie
Quelle: Eigene Darstellung

Histopathologischer Befund: Stanzbiopsiezylinder mit einem äußerst winzigen Fokus eines teils spindelzelligen, teils epitheloiden Tumors. Unter Einbezug der Vorbefunde ist das Tumorgewebe vereinbar mit einer nicht näher klassifizierbaren, überwiegend epitheloidzelligen, teils spindelzelligen Neoplasie, vereinbar mit einem Sarkom G2.

3.8.6. Fallpräsentation: Ewing Sarkom-Rezidiv

Bei einer 23-jährigen Patientin wird bei Verdacht auf das Vorliegen eines erneuten Ewing-Sarkom-Rezidivs eine Ultraschall-Untersuchung der Schädelweichteile durchgeführt. Bei der Patientin wurde ein Ewing-Sarkom des Femurs rechts mit Acetabulum-Beteiligung und Weichteilexpansion diagnostiziert. Es bildete sich ein Frührezidiv okzipital mit ausgedehntem, intrakraniellm Anteil, woraufhin eine Exzision des Tumors inklusive Entfernung der knochenbeteiligten Areale und der vom Tumor durchwachsenen Dura mater inklusive Sinus durchgeführt wurde.

In der Ultraschalluntersuchung zeigt sich ein bekanntes okzipitales Liquorkissen perifokal der Palakoplastik bei St.p. osteoplastischer Kraniotomie. Im Bereich der tastbaren Raumforderung stellt sich eine ca. 2,6 x 0,8 x 0,6 cm große Weichteilläsion mit Vaskularisation dar. Es besteht der Verdacht auf das Bestehen von einzelnen Gefäßen, die von intrakraniell ausgehen, dringend verdächtig auf ein erneutes Tumorrezidiv.

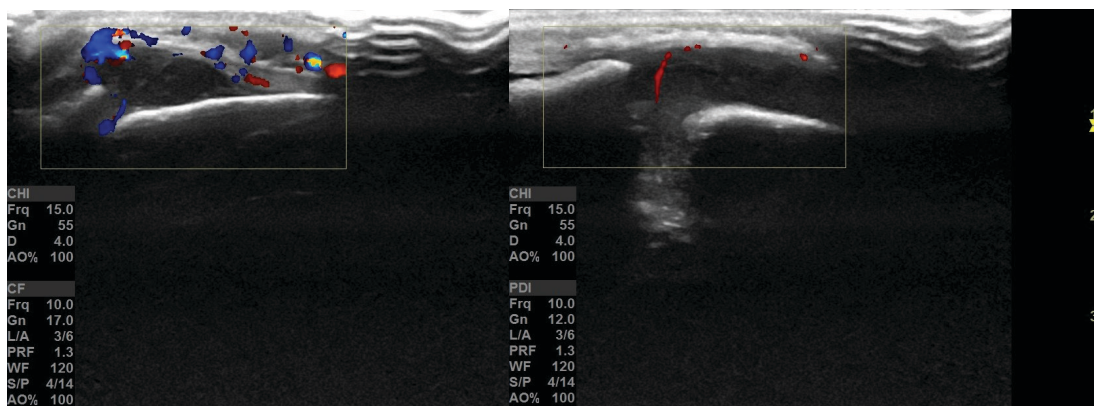


Abbildung 56: Vaskularisation der neu aufgetretenen Läsion

Quelle: Eigene Darstellung

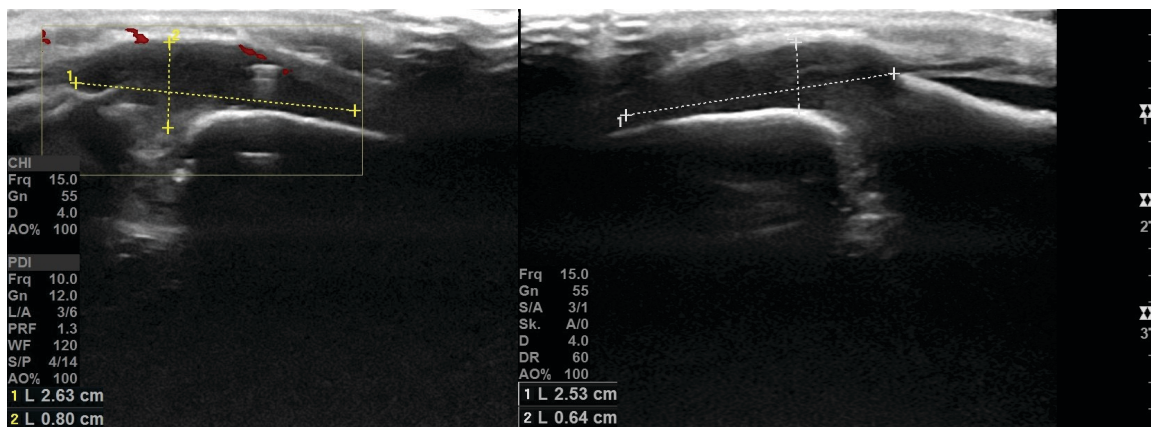


Abbildung 57: Darstellung occipital links: Die hypoechogene Läsion weist eine Größe von ca. 2,6 x 0,8 x 0,6 cm auf

Quelle: Eigene Darstellung

Aufgrund des bestehenden Verdachts auf das Vorliegen eines erneuten Tumorrezidivs eines Ewing-Sarkoms wird eine zusätzliche MRT-Untersuchung dringend empfohlen.

3.8.7. Fallpräsentation: Angiosarkom

Bei einem 71-jährigen Patienten wird aufgrund eines palpablen Weichteiltumors im lumbosakralen Übergang eine sonografische Untersuchung durchgeführt. Es wird in erster Linie das Vorliegen eines chronischen Hämatoms vermutet, daher lautet die Fragestellung, ob eine Punktion notwendig sei.

Es zeigt sich eine solid-zystische Raumforderung im Rückenbereich auf Höhe des lumbosakralen Übergangs rechtsbetont in einer Gesamtausdehnung von ca. 17 x 7 x 24 cm ohne Hypervaskularisationszeichen bis in die Subkutis reichend. Es wird entschieden, eine Ultraschall-gezielte Biopsie der Läsion durchzuführen.

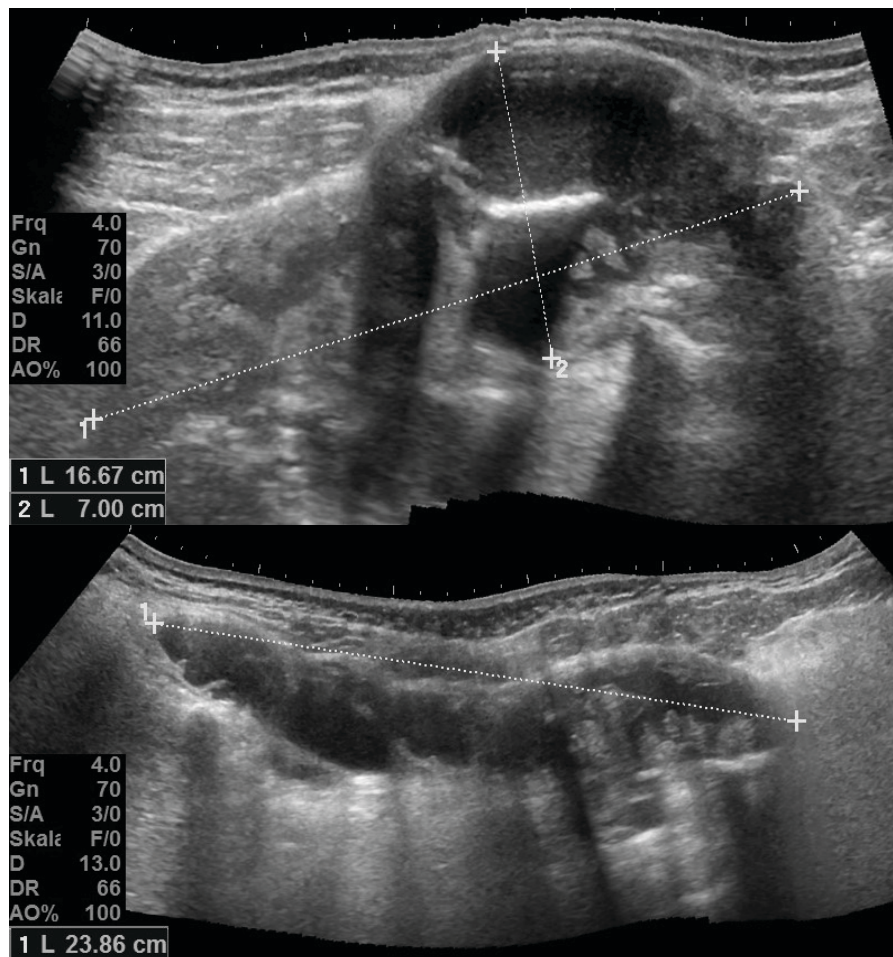


Abbildung 58: Darstellung lumbosakraler Übergang rechts: Die Läsion hat eine Größe von ca. 17 x 7 x 24 cm
Quelle: Eigene Darstellung

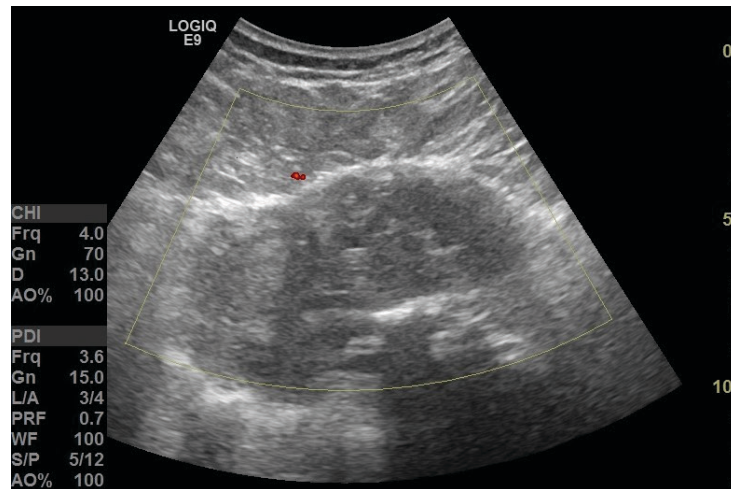


Abbildung 59: Darstellung lumbosakraler Übergang rechts: Die Läsion weist keine Hypervaskularisationszeichen auf
Quelle: Eigene Darstellung

Es wird 2 Tage später unter sterilen Bedingungen eine komplikationslose Ultraschallgezielte Biopsie der solid-zystischen Läsion mit 4 Probeentnahmen durchgeführt. Nach der Intervention ist kein Hämatom nachweisbar.

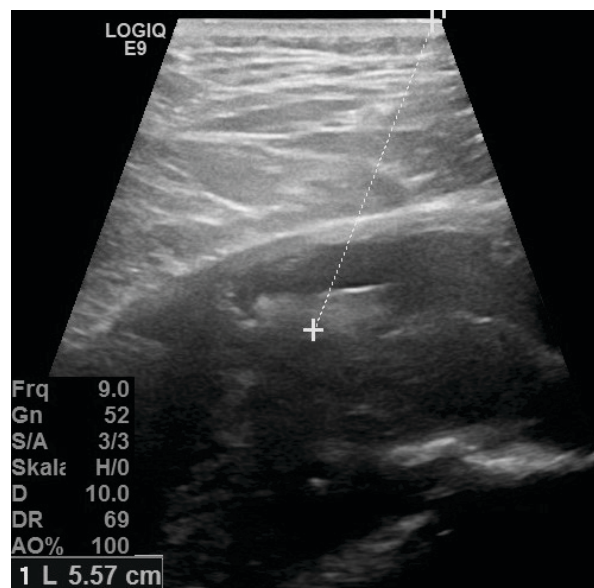


Abbildung 60: Darstellung lumbosakraler Übergang rechts: Es wird die Tiefe des Stichkanals bemessen. Diese beträgt ca. 5,6 cm
Quelle: Eigene Darstellung

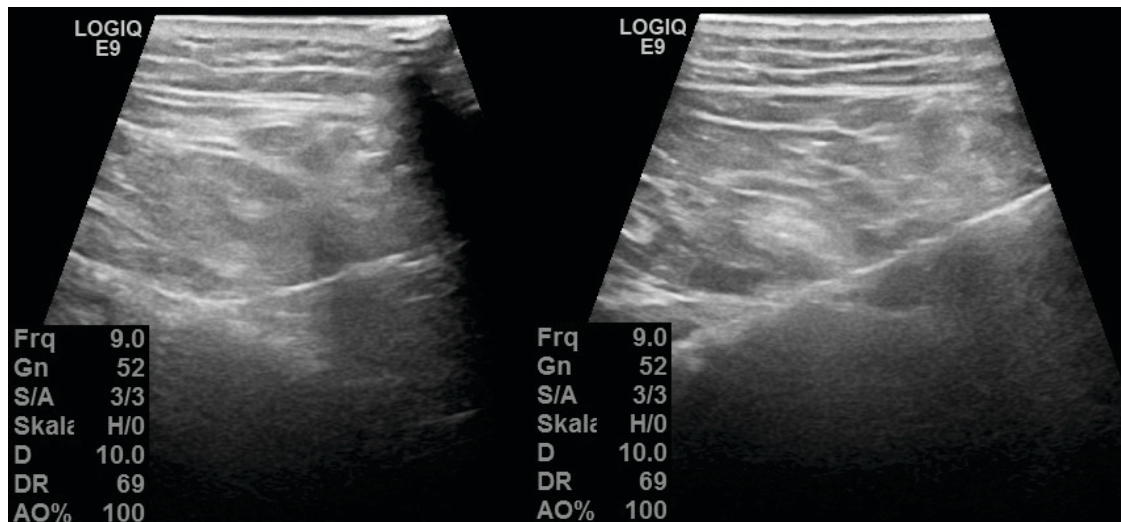


Abbildung 61: Darstellung lumbosakraler Übergang rechts: Probeentnahme mittels Ultraschall-gezielter Biopsie
 Quelle: Eigene Darstellung

Histopathologischer Befund: Stanzbiopsiezylinder mit fast ausschließlich nekrotischem Gewebematerial, miterfasst sind spärlich kollagenreiches Gewebe, Blut und Fibrin. Kein Hinweis auf vitales Tumorgewebe.

Ungefähr 3 Wochen nach der Ultraschall-gezielten Biopsie wurde ein verdächtiger Pleuraerguss des Patienten punktiert. Es wurde histopathologisch ein epitheloides Angiosarkom diagnostiziert. In einer darauffolgenden Pleurabiopsie wurde das Vorliegen eines epitheloiden Hämangiosarkoms mit Infiltration des Fettgewebes bestätigt.

4. Diskussion

4.1. Muskuloskelettale Pathologien des Sprunggelenks

Achillessehne

In den durchgeführten sonografischen Untersuchungen konnten eindeutig verschiedene Pathologien der Achillessehne nachgewiesen und schließlich diagnostiziert werden. Dazu zählen Tendinopathien, Tendinosen und Rupturen der Achillessehne. Somit stellt die Sonografie in der Detektion muskuloskelettaler Pathologien der Achillessehne eine effektive Untersuchungsmodalität dar.

Aponeurosis plantaris

Eine Läsion der Plantaraponeurose konnte in der Ultraschall-Untersuchung abgebildet werden. Diese Läsion wurde in einer darauffolgenden MRT-Untersuchung in Form einer Ruptur der Aponeurosis plantaris bestätigt. Die Sonografie ist demnach für das Erkennen von Pathologien der Plantaraponeurose geeignet.

4.2. Muskuloskelettale Pathologien des Schultergelenks

Musculus supraspinatus

Die durchgeführte sonografische Untersuchung zeigt, dass es nicht immer möglich ist, Teilrupturen der Sehne des M. supraspinatus zu bestätigen oder auszuschließen. Dennoch zeigt sich vor allem in der dynamischen Untersuchung die Stärke der Sonografie beim Erkennen eines subakromialen Impingement-Syndroms.

Musculus biceps humeri

Es wird gezeigt, dass eine Totalruptur der langen Bizepssehne mit Retraktion der Sehnen- bzw. Muskelstümpfe eindeutig nachgewiesen und abgebildet werden kann.

4.3. Muskuloskelettale Pathologien des Hüftgelenks

Mit Hilfe von Ultraschall lässt sich eine Morel-Lavallée Läsion des Hüftgelenks eindeutig nachweisen. Ebenfalls ist die Sonografie für Verlaufskontrollen dieser Läsionen durch ihre präzise sonografische Messbarkeit der Pathologie-Ausdehnung geeignet.

4.4. Muskuloskelettale Pathologien des Kniegelenks

Mit Hilfe der Sonografie lassen sich verschiedene Pathologien des Kniegelenks abbilden. Eine Bandläsion des Ligamentum collaterale laterale, eine Bakerzyste und ein suprapatellarer Kniegelenkserguss konnten sonografisch diagnostiziert und in einer am selben Tag durchgeführten MRT-Untersuchung bestätigt werden. Die anderen beurteilbaren Strukturen, dazu zählen Quadrizepssehne, Lig. patellofemorale mediale, Bursa präpatellaris, Patellasehne, Lig. collaterale mediale, Bizepssehne und der posteriore Anteil des hinteren Kreuzbandes, waren in beiden bildgebenden Untersuchungsmodalitäten unauffällig.

Das vordere Kreuzband konnte in der sonografischen Untersuchung nicht abgebildet und somit nicht beurteilt werden, jedoch präsentierte sich in der MRT-Untersuchung eine vollständige Konturunterbrechung des vorderen Kreuzbandes im proximalen Drittel vereinbar mit einer Bandruptur. Dadurch wird gezeigt, dass die Sonografie einen Nachteil in der Diagnostik von Läsionen des Lig. cruciatum anterius im Vergleich mit einer MRT-Untersuchung aufweist.

4.5. Muskuloskelettale Pathologien des Ellenbogengelenks

Eine Pathologie der Bursa olecrani konnte in einer sonografischen Untersuchung des Ellenbogengelenks nachgewiesen und somit diagnostiziert werden.

4.6. Muskuloskelettale Pathologien des Handgelenks

In der durchgeführten Untersuchung zeigte sich ein im Querdurchmesser verdickter N. medianus links mit einem CSA-Wert von 11 mm², es zeigte sich jedoch sonografisch kein eindeutiger Rezidivnachweis eines KTS.

In einer anschließenden Elektromyographie-Untersuchung wurde ein leichtgradiges Karpaltunnelsyndrom links nachgewiesen.

4.7. Muskuloskelettale Tumore

Ultraschall stellt in der Diagnostik muskuloskelettaler Tumore eine wichtige Untersuchungsmodalität dar. Lässt sich jedoch die Malignität einer Läsion sonografisch nicht eindeutig ausschließen, ist eine anschließende MRT-Untersuchung notwendig.

Biopsien von suspekten Läsionen lassen sich Ultraschall-gezielt sehr gut planen und durchführen.

4.8. Conclusio und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Sonografie zu einem wertvollen bildgebenden Verfahren im Bereich von muskuloskelettalen Pathologien entwickelt hat. Durch ihre Nicht-Invasivität, ihre Sicherheit und ihren Vorteil in der Durchführung dynamischer Untersuchungen wird sie zu einer unverzichtbaren Methode für die Diagnose und Behandlung von verschiedenen Erkrankungen des Bewegungsapparates. Die Abbildung von Weichteilen, Muskeln, Sehnen, Bändern, Nerven, Gefäßen und Gelenken hilft bei der Identifikation, Charakterisierung und Überwachung verschiedenster Pathologien. Zusätzlich ermöglicht ihre Zugänglichkeit und Vielseitigkeit auch die Durchführung von Ultraschall-gezielten Biopsien und die Beurteilung von Gelenkbewegungen. Da die Technologie bildgebender Modalitäten immer weiter voranschreitet, wird die Sonographie zweifellos ein wichtiger Bestandteil in der Diagnostik muskuloskelettaler Pathologien bleiben.

Literaturverzeichnis

1. Kane D, Grassi W, Sturrock R, Balint P V. A brief history of musculoskeletal ultrasound: "From bats and ships to babies and hips." *Rheumatology*. 2004;43(7).
2. Primack SJ. Past, Present, and Future Considerations for Musculoskeletal Ultrasound. Vol. 27, *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*. 2016.
3. Newman PG, Rozycki GS. The history of ultrasound. *Surg Clin North Am*. 1998;78(2).
4. McNally EG. The development and clinical applications of musculoskeletal ultrasound. Vol. 40, *Skeletal Radiology*. 2011.
5. Smith J, Finnoff JT. Diagnostic and Interventional Musculoskeletal Ultrasound: Part 1. Fundamentals. *PM R*. 2009;1(1).
6. Martinoli C. Musculoskeletal ultrasound: technical guidelines. *Insights Imaging*. 2010;1(3).
7. Khoury V, Cardinal E, Bureau NJ. Musculoskeletal sonography: a dynamic tool for usual and unusual disorders. Vol. 188, *AJR. American journal of roentgenology*. 2007.
8. Shriki J. Ultrasound physics. Vol. 30, *Critical Care Clinics*. 2014.
9. Aldrich JE. Basic physics of ultrasound imaging. Vol. 35, *Critical Care Medicine*. 2007.
10. McDonald S, Fredericson M, Roh EY, Smuck M. Basic appearance of ultrasound structures and pitfalls. Vol. 21, *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*. 2010.
11. Kossoff G. Basic physics and imaging characteristics of ultrasound. Vol. 24, *World Journal of Surgery*. 2000.
12. Nazarian LN. The top 10 reasons musculoskeletal sonography is an important complementary or alternative technique to MRI. *Am J Roentgenol*. 2008;190(6).
13. Forney MC, Delzell PB. Musculoskeletal ultrasonography basics. Vol. 85, *Cleveland Clinic Journal of Medicine*. 2018.
14. Hangiandreou NJ. B-mode US: Basic Concepts and New Technology. Vol. 23, *Radiographics*. 2003.
15. Snoj Ž, Wu CH, Taljanovic MS, Dumić-Čule I, Drakonaki EE, Klauser AS.

- Ultrasound Elastography in Musculoskeletal Radiology: Past, Present, and Future. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2020;24(2).
16. Davis LC, Baumer TG, Bey MJ, Holsbeeck M van. Clinical utilization of shear wave elastography in the musculoskeletal system. *Ultrasonography.* 2019;38(1).
 17. Eagle M. Doppler ultrasound--basics revisited. Vol. 15, *British journal of nursing* (Mark Allen Publishing). 2006.
 18. Smith E, Azzopardi C, Thaker S, Botchu R, Gupta H. Power Doppler in musculoskeletal ultrasound: uses, pitfalls and principles to overcome its shortcomings. *J Ultrasound.* 2021;24(2).
 19. Lin J, Fessell DP, Jacobson JA, Weadock WJ, Hayes CW. An illustrated tutorial of musculoskeletal sonography: Part I, introduction and general principles. *Am J Roentgenol.* 2000;175(3).
 20. Dederer KM, Tennant JN. Anatomical and Functional Considerations in Achilles Tendon Lesions. Vol. 24, *Foot and Ankle Clinics.* 2019.
 21. Grechenig W, Clement H, Bratschitsch G, Fankhauser F, Peicha G. Sonographische Achillessehendiagnostik. *Orthopade.* 2002;31(3).
 22. Lopez RGL, Jung HG. Achilles tendinosis: Treatment options. *CiOS Clin Orthop Surg.* 2015;7(1).
 23. Hess GW. Achilles Tendon Rupture: A Review of Etiology, Population, Anatomy, Risk Factors, and Injury Prevention. Vol. 3, *Foot & Ankle Specialist.* 2010.
 24. Doral MN, Alam M, Bozkurt M, Turhan E, Atay OA, Dönmez G, et al. Functional anatomy of the Achilles tendon. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2010;18(5).
 25. Draghi F, Gitto S, Bortolotto C, Draghi AG, Ori Belometti G. Imaging of plantar fascia disorders: findings on plain radiography, ultrasound and magnetic resonance imaging. Vol. 8, *Insights into Imaging.* 2017.
 26. Kani K, Porrino J, Dahiya N, Taljanovic M, Mulcahy H, Chew F. Visualization of the Plantar Aponeurosis. *PM R.* 2017;9(4).
 27. Bakhsh W, Nicandri G. Anatomy and Physical Examination of the Shoulder. Vol. 26, *Sports Medicine and Arthroscopy Review.* 2018.
 28. Huegel J, Williams AA, Soslowsky LJ. Rotator Cuff Biology and Biomechanics: A Review of Normal and Pathological Conditions. *Curr Rheumatol Rep.* 2015;17(1).
 29. Gupta H, Robinson P. Normal shoulder ultrasound: Anatomy and technique. *Semin*
-

- Musculoskelet Radiol. 2015;19(3).
30. Dhillon KS. Subacromial impingement syndrome of the shoulder: A musculoskeletal disorder or a medical myth? *Malaysian Orthop J.* 2019;13(3).
 31. Byrne DP, Mulhall KJ, Baker JF. *Anatomy & Biomechanics of the Hip.* *Open Sport Med J.* 2014;4(1).
 32. Tagliafico A, Bignotti B, Rossi F, Sconfienza LM, Messina C, Martinoli C. Ultrasound of the Hip Joint, Soft Tissues, and Nerves. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2017;21(5).
 33. Li H, Zhang FJ, Lei GH. Morel-lavallee lesion. Vol. 127, *Chinese Medical Journal.* 2014.
 34. Paczesny Ł, Kruczyński J. Ultrasound of the Knee. *Semin Ultrasound, CT MRI.* 2011;32(2).
 35. Tomsick SD, Petersen BD. Normal anatomy and anatomical variants of the elbow. Vol. 14, *Seminars in Musculoskeletal Radiology.* 2010.
 36. Jäschke M, Weber MA. Ultrasound of the elbow—standard examination technique and normal anatomy. Vol. 58, *Radiologe.* 2018.
 37. Reilly D, Kamineni S. Olecranon bursitis. Vol. 25, *Journal of Shoulder and Elbow Surgery.* 2016.
 38. Kijima Y, Viegas SF. Wrist Anatomy and Biomechanics. *J Hand Surg Am.* 2009;34(8).
 39. Rotman MB, Donovan JP. Practical anatomy of the carpal tunnel. Vol. 18, *Hand Clinics.* 2002.
 40. Gitto S, Draghi F. Normal sonographic anatomy of the wrist with emphasis on assessment of tendons, nerves, and ligaments. Vol. 35, *Journal of Ultrasound in Medicine.* 2016.
 41. Wipperman J, Goerl K. Carpal tunnel syndrome: Diagnosis and management. *Am Fam Physician.* 2016;94(12).
 42. Ng AWH, Griffith JF, Lee RKL, Tse WL, Wong CWY, Ho PC. Ultrasound carpal tunnel syndrome: additional criteria for diagnosis. *Clin Radiol.* 2018;73(2).
 43. Noebauer-Huhmann IM, Weber MA, Lalam RK, Trattng S, Bohndorf K, Vanhoenacker F, et al. Soft Tissue Tumors in Adults: ESSR-Approved Guidelines for Diagnostic Imaging. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2015;19(5).